

Horas de frío y sumas térmicas en la predicción del inicio de la etapa reproductiva en plantas de olivo (*Olea europea* L.).

Mormeneo, I

Departamento de Agronomía – UNS

Introducción

El proceso del desarrollo que conduce a la finalización de la dormancia de las yemas, activándose de esta manera el inicio del crecimiento de árboles de zonas templadas, está regulado principalmente por la temperatura (Jato *et al.*, 2004). Según estos autores esta regulación es de tal modo que, un período de vernalización seguido por un período con temperaturas más elevadas, induce la brotación de las yemas. Sarvas (1974) separa a la dormancia en dos períodos: “rest” (descanso) y “quiescence” (dormancia), definiendo “rest” como el período cuando las yemas están inactivas debido a las condiciones fisiológicas y “quiescence” como el período cuando las yemas permanecen inactivas debido a las condiciones ambientales desfavorables. El conocimiento y pronóstico de la floración provee información útil en el pronóstico de producción de frutos del olivo (Fornaciari *et al.*, 2002). La fenología estudia las fechas del desarrollo floral como fenómeno periódico biológico, las causas de las fechas de ocurrencia de la floración en relación con los factores bióticos y abióticos y la interrelación entre las fases de las mismas especies (Lieth, 1974; Pascale, 1975; Planchuelo-Ravelo, 1988; Pascale, y Damario, 2004). A partir de la década del '90 se comenzó a estudiar el vínculo entre la floración y la producción de frutos incluyéndose al polen como nueva variable (Besselat and Cour, 1990; Candau *et al.*, 1998; Sáenz Lanín *et al.*, 2003). Hartmann and Whisler (1975) mostraron que el olivo si no está expuesto al frío durante el invierno no desarrolla yemas florales y por tanto no florece.

La fenología de la flor del olivo se caracteriza por un ciclo anual que incluye la formación de yemas en el verano previo, la dormancia durante el período frío, el inicio de la brotación terminando el invierno, y el desarrollo de la estructura floral desde la brotación hasta la floración en primavera. Por lo tanto, el olivo tiene un ciclo reproductivo de 2 años: en el primer año se forman las yemas, y el proceso de producción se completa en el segundo año. Como ya se

mencionó, el olivo (*Olea Europea* L.) requiere de la acumulación de horas de frío durante el invierno para inducir la diferenciación de las yemas florales (Hartmann and Porlingis, 1957; Rallo and Martín, 1991; Orlandi *et al.*, 2006). En cambio, el crecimiento vegetativo se produce satisfactoriamente sin horas de frío en el invierno. Los inviernos con baja acumulación de horas de frío pueden determinan atrasos en el comienzo de la floración en los frutales criófilos. La variabilidad climática puede inducir al acortamiento del período de descanso de los frutales con requerimientos de horas de frío, pudiéndose producir, entre otros, daños por heladas, tanto en las yemas florales como en el inicio de la floración. La predicción del inicio del período de crecimiento de los cultivos es esencial para estimar su duración. La extensión de este período está relacionado con el balance de energía y el intercambio neto de CO₂ y por lo tanto con el potencial de rendimiento y el uso del agua (Cesaraccio *et al.*, 2006).

Es dificultosa la observación experimental de los fenómenos morfológicos, biológicos y/o químicos en relación a los requerimientos de vernalización debido a que la diferenciación de las yemas florales está ligada a la primera acumulación de calor (Barranco *et al.*, 1998). El específico momento es casi imposible de determinar debido a que la yema floral, una vez lista para comenzar la primera fase de desarrollo, necesita de un cierto aporte térmico para continuar desarrollando luego del estado de latencia, el cual será determinado por las condiciones ambientales.

Los requerimientos calóricos de las plantas en las primeras fases de desarrollo generalmente han sido expresados como acumulación de temperaturas utilizando diversos términos como unidades calóricas (UC) o grados día de crecimiento (GDD). Su conocimiento resulta una herramienta útil para una mejor comprensión del desarrollo de la fase de floración y para estimar la fecha de ocurrencia. La determinación de la temperatura base más satisfactoria por medio de la acumulación de GDD, ha sido estudiada por diversos autores (Zinder *et al.*, 1999; Spano *et al.*, 1999).

El modelo pretende analizar la acumulación de horas de frío en relación con la interrupción del descanso y la acumulación de unidades calóricas para sobreponerse a la dormancia.

Dada la actual importancia económica que está tomando el olivo en el sudoeste bonaerense debido a la calidad del aceite extra-virgen, el objetivo de este trabajo es proveer un modelo local utilizando la acumulación de horas de frío (H_f) o el método de unidades de frío (U_f) que pueda ser

usado en la planificación de estrategias agronómicas y económicas en relación con el inicio de la etapa reproductiva en plantas de olivo, en la zona de Coronel Dorrego.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la Finca Olivícola Rumaroli (80 has), situada sobre km 593 de la ruta nacional n° 3, en Coronel Dorrego, SW de la provincia de Buenos Aires, a unos 30 km de la costa. El clima presenta elevada humedad relativa (60-70%) y una pluviometría anual media de 721 mm, irregularmente distribuida. La experiencia se desarrolló durante la campaña 2005-2008 sobre cuatro parcelas de 20 ha c/u. Junto a la plantación se instaló una estación meteorológica automática para la medición de las variables meteorológicas. Para este estudio se obtuvo y procesó información meteorológica cada 30 minutos.

Las observaciones fenológicas se realizaron semanalmente sobre 10 plantas de las variedades Arbequina, Nevadillo y Frantoio, según Saénz Lanin *et al.*, (2003) y Mormeneo (Resultados preliminares). Para este trabajo se analizó sólo la primera fase fenológica reproductiva del olivo “B”, (yema floral hinchada) desde el estado de yema floral en reposo (“A”), hasta la fase “C”, (cuando el racimo ha quedado totalmente formado, dado que según diversos investigadores las siguientes fases están poco influenciadas por el aporte calórico (Colbrant and Fabre, 1975; Fornaciari, 2001).

Tanto las horas de frío (H_f) como las unidades de frío (U_f) son utilizadas en la predicción del quiebre de la dormancia. Las horas de frío se determinaron como: 1) número de horas con temperaturas por debajo de 7°C; 2) número de horas con temperaturas entre 7 y 0°C; 3) número de horas entre 12,5 y 7°C. La acumulación de horas de frío comienza terminando el verano o cuando las temperaturas comienzan a descender por debajo de 7 o 12,5°C y se acumulan hasta la hinchazón de las yemas florales. Luego, la acumulación media de horas de frío o de unidades de frío (U_f), se utilizan en la predicción del comienzo de la fase “B” en futuros años.

En el caso de utilizar las unidades de frío (U_f), las horas están evaluadas en función de la temperatura por la efectividad al momento del rompimiento del descanso (“rest”). Las altas temperaturas neutralizan o contrarrestan los efectos positivos del frío aplicándose unidades de frío (U_f) negativas cuando las temperaturas exceden un nivel térmico determinado (Richardson *et al.*, 1974), retrasando la acumulación de (U_f).

Para el cálculo de las unidades de frío (U_f) se utilizó el método Utah (U_T , Richardson *et al.*, 1974). En este método, sólo dentro del rango de 1,5 a 12,4 °C de temperatura, produce unidades de frío positivas. Para la cuantificación de las horas de frío, de las unidades de frío y de las sumas térmicas se utilizó el programa “HFYST” (Mormeneo, resultados preliminares).

Las sumas de los valores diarios de Σ_T , de U_f y de H_f , fueron determinadas desde tres fechas de comienzo: a) 1 de junio; b) 1 de julio y c) 1 de agosto, en todos los casos hasta la misma fecha final, fecha de la primera fase fenológica “B”, de la variedad Arbequina.

Las sumas térmicas, Σ_T , se calcularon considerando una temperatura base (T_b), donde si $T \leq T_b$, $GDD=0$ (Ring *et al.*, 1983). Se trabajó con $T_b=12,5$ °C para los años considerados.

Las observaciones fenológicas se realizaron en forma semanal sobre 10 muestras (plantas) de cada variedad. Las fechas seleccionadas corresponden a la plenitud del estado fenológico, el que se producía cuando el 50% de la muestra se encontraba en ese estado.

Para caracterizar estas sumas (de U_f o de H_f), los valores medios de sumas térmicas, horas de frío y unidades de frío se analizaron con el desvío estándar y el coeficiente de variación.

Resultados y Discusión

Las observaciones de la variedad Arbequina en el período de estudio, los valores fenológicos y sus promedios se observan en la Tabla 1. De la misma forma se muestrearon las otras 2 variedades, cuyos resultados no se presentan en este trabajo..

En la Figura 1 se muestra la tendencia desarrollada por la variedad Arbequina. Las curvas representan los valores fenológicos promedio (Tabla 1) de las cinco fechas de observación. La fecha en que fue alcanzada la primer fase fenológica “B”, en cada año se indica con una barra donde la curva intercepta la línea horizontal de la fase fenológica “B”.

En la Figura 2 se puede ver la curva acumulativa de las (U_f) utilizando el modelo U_T .. La fecha de comienzo no produce efecto sobre los requerimientos de las unidades de frío hasta tanto no se observen U_f positivas después de la fecha de comienzo. El requerimiento de frío (U_R) es la diferencia entre las U_f acumuladas a la fecha de yema hinchada (“B”), y el mayor valor negativo sobre la curva acumulada de U_f .

Tabla 1. Observaciones fenológicas de la variedad Arbequina (2006-2007). 0 yema reproductiva de invierno “A” en dormancia; 1 comienzo de hinchazón de la yema en fase ”B”; 2 fase en la que el racimo floral queda totalmente formado ”C”.

planta	Fases fenológicas variedad Arbequina									
	2006					2007				
	15 Sep	22 Sep	28 Sep	04 Oct	09 Oct	20 Sep	27 Sep	05 Oct	11 Oct	18 Oct
1	1	1	1	1	2	0	1	1	2	2
2	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
3	0	0	1	1	2	0	1	1	2	2
4	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2
5	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0
6	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2
7	0	1	1	1	2	0	1	1	2	2
8	0	0	0	0	1	0	1	1	1	2
9	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
media	0,2	0,5	0,6	0,6	1,3	0,2	0,8	0,9	1,2	1,5

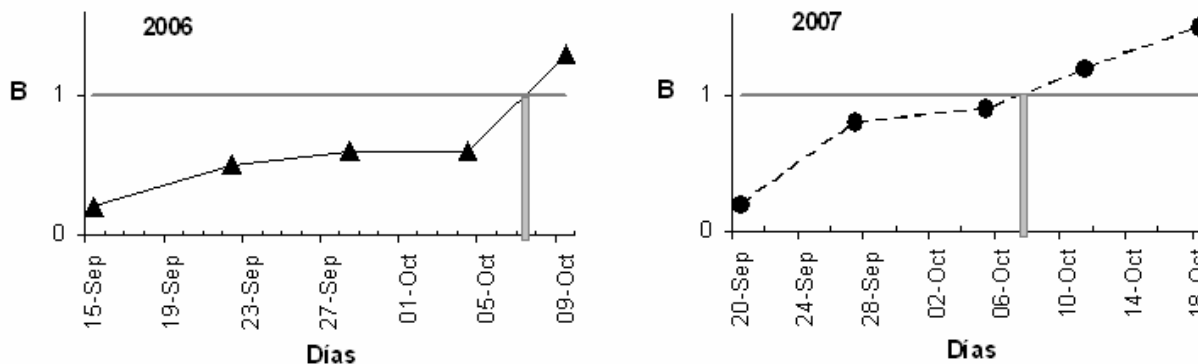


Figura 1. Tendencia desarrollada en la variedad Arbequina para la fecha de la primera fase fenológica (“B”) en 2006 y 2007.

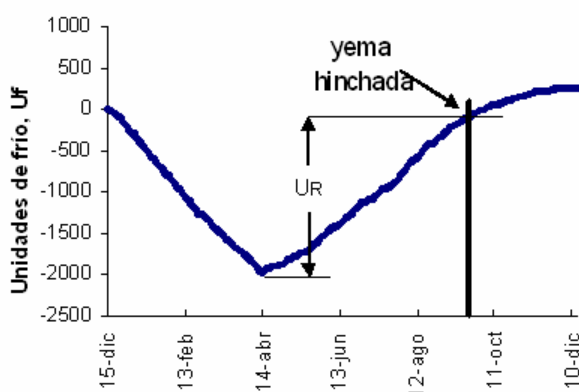


Figura 2. Curva acumulada de unidades de frío (U_f) por el modelo U_T donde se ve el requerimiento de unidades de frío (U_R) para la fecha de la primera fase el ciclo 2005-06.

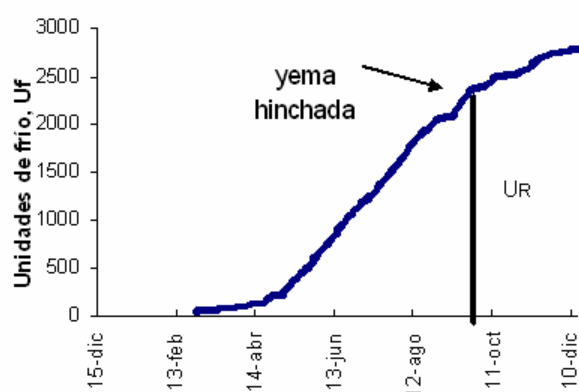


Figura 3. Curva acumulada de unidades de frío (U_f) por el modelo de unidades de frío Positivas y (U_R) para el fecha de la primera fase en el ciclo 2006-07.

En la Figura 3 se puede ver por ejemplo, la curva acumulada por el modelo de los valores positivos de U_f (modelo en el que sólo se acumulan los valores positivos), para el caso del ciclo 2006-2007. El total acumulado hasta la fecha de la fase “B” determinaría el requerimiento de unidades de frío U_R .

Tabla 2. Desvío estándar (σ) y Coeficiente de variación (CV) de los valores medios de las Horas de frío (H_f) calculadas para tres fechas de comienzo hasta la fecha de la fase “B” en el período 2005-2007, para la variedad Arbequina.

	Fechas de comienzo de Horas de frío		
	1 de junio	1 de julio	1 de agosto
σ	238,12	177,75	119,34
CV (%)	22,1	22,8	22,8

Tabla 3. Desvío estándar (σ) y Coeficiente de variación (CV) de los valores medios de las tres sumas de unidades de frío (U_f) calculadas para tres fechas de comienzo hasta la fecha de la fase “B” en el período 2005-2007, para la variedad Arbequina aplicando el Método U_T

	Fechas de comienzo de Unidades de frío		
	1 de junio	1 de julio	1 de agosto
σ	125,1	134,6	73,1
CV (%)	8,9	13,3	11,7

Como puede observarse en las Tablas 2 y 3, los resultados del cómputo de las H_f y U_f del 1 de agosto como fecha de comienzo, presentaron el menor desvío y un bajo CV, para Arbequina. Cuando se analizó la variación de H_f entre años para cada nivel térmico considerado (Tabla 3), la menor variación se obtuvo para $0 < T < 12,5^\circ\text{C}$, con sólo un 3,9% de variación entre los tres años, y la mayor variación (21,7%), se obtuvo con $T < 7^\circ\text{C}$.

Para U_f , Tabla 3, el 1 de agosto como fecha de comienzo, resultó con el menor desvío estándar ($73,1 U_f$) entre las sumas de los tres años para esa fecha. En las tres fechas de comienzo el CV se mantuvo bajo, variando de 8,9 a 13,3%.

Tabla 4. Desvío estándar (σ) y Coeficiente de variación (CV) de los valores medios de las Horas de frío (H_f) calculadas para tres niveles térmicos en el período 2005-2007, para la variedad Arbequina.

	Niveles térmicos para las Horas de frío		
	$0 < T < 12,5^\circ\text{C}$	$0 < T < 7^\circ\text{C}$	$T < 7^\circ\text{C}$
σ	84,29	155,97	209,05
CV (%)	3,9	17,1	21,7

A modo de ejemplo se calcularon las sumas térmicas ΣT , en base a $12,5^\circ\text{C}$ para las tres fechas consideradas. (Ring *et al*, 1983) Los resultados mostraron una baja variación de los valores medios de ΣT entre los tres años considerados (Tabla 5).

Tabla 5. Desvío estándar (σ) y Coeficiente de variación (CV) de los valores medios de las sumas térmicas (ΣT) calculadas para tres fechas de comienzo hasta la fecha de la fase “B” en el período 2005-2007, para la variedad Arbequina aplicando el Método de temperaturas efectivas por encima de una temperatura base ($T_b = 12,5^\circ\text{C}$).

	Fechas de comienzo de Sumas térmicas		
	1 de junio	1 de julio	1 de agosto
σ	10,5	14,6	14,6
CV (%)	9,8	15,5	18,6

Debido al corto período analizado es difícil asignar un valor de predicción de horas de frío o de unidades de frío para la variedad Arbequina en la zona de Coronel Dorrego. Sin embargo, pareciera factible utilizar cualquiera de los dos parámetros analizados dada la baja variabilidad

presentada en estos tres años. Es necesario profundizar más sobre la utilización de los cómputos ya mencionados en el texto en relación a la separación de la dormancia en dos períodos.

La implicancia práctica del conocimiento de los requerimientos bioclimáticos del olivo, reside en poder predecir con determinada precisión la fecha de floración de un monte de olivos para mejorar su adaptabilidad, el control de posibles riesgos de daños por heladas, el manejo fitosanitario, estudios de concentración de polen atmosférico, etc.

Conclusiones

Basándose en los primeros resultados, y tratándose de un corto período, se consideró importante continuar la investigación, enfocada a un modelo de aplicación regional, utilizando los conceptos mencionados por Sarvas (1974); Zinder *et al.*, (1999); Spano *et al.*, (1999; Cesaraccio *et al.*, 2006) entre otros, relacionando los requerimientos de frío y las unidades calóricas o Grados-Día, que permita hacer estimaciones de los requerimientos de horas de frío y de sumas térmicas del olivo en esta y otras áreas.

Bibliografía

- Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, L. 1998. "El cultivo del olivo". Junta de Andalucía. Ediciones Mundi Prensa, Madrid.
- Besselat, B.; Cour, P. 1990. « La prevision de la production viticole à l'aide de la technique de dosage pollinique de l'atmosphère ». l'O.I.V . 63(715-716) p. 721-740
- Candau, P.; González Minero, F.J.; Morales, J.; Tomas, C. 1998. "Forecasting olive (*Olea europaea* L) crop production by monitoring airborne pollen". *Aerobiología*, 14:185-190.
- Cesaraccio et al, 2006. "Improvement of chilling and forcing model to predict bud-burst". 17th Conference on Biometeorology and Aerobiology.
- Colbrant, P.; Fabre, P. 1975. "Stades reperes de l'oliver". In: Maillard R (ed) L'oliver. INVUFLEC, Paris, pp 24-25.
- Fornaciari, M.; Pieroni, L.; Orlandi, F.; Romano, B. 2002. "A new approach to consider the pollen variable in forecasting yield models". *Economic Botany*. 56(1):66-72.

Fornaciari, M.; Orlandi, F.; Romano, B. 2000. "Phenological and aeropalynological survey in an olive orchard in Umbria (Central Italy)". *Grana*, 39:246-251.

Hartmann, H.T.; Porlingis, I. 1957. "Effect of different amount of winter chilling on fruitfulness of several olive varieties". *Botanical Gazette*, 119(2):102-104. The University of Chicago Press.

Hartmann, H.T.; Whisler, J.E. 1975. "Flower production in olive as influenced by various chilling temperature regimes". *J. Am. Soc Hort. Sci.* 100:670-674.

Jato, V.; Rodríguez-Rajo, F.J., Dacosta, N; Aira, M.J. 2004. "Hit and chill requirements of *Fraxinus flowerinf* in Galicia (NW Spain)". *Grana* 43:217-223. ISSN 0017-3134.

Lieth, H. 1974. "Purpose of phenology book". Lieth, H. (Ed). *Phenology and seasonality modeling* Berlin, Springer-Verlag, pp. 3-19.

Orlandi, F.; Lanari, D.; Romano, B.; Fornaciari, M. 2006. "New model to predict the timing of olive (*Olea europaea*) flowering: a case of study in central Italy. *New Zeland Journal of Crop and Horticultural Science*, 34:93-99.

Pascale, A. J. 1975. *Biometeorología y Bioclimatología agrícolas*". Traducción del ingles del capítulo 'Agricultural Biometeorology and Bioclimatology' de 'Progress in Bioclimatology'. Division C. *Progress in Plant Bioclimatology (The effect of weather and climate on plant)*. Vol. 1, period 1963-74, Ed. L.P. Smith. Chapter 3. Section 1: 182-212, Swets & Zeitlinger, B. V. Amsterdam.

Pascale, A. J.,; Damario, E.A. 2004. "*Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología*". Ed. Fac. Agronomía, UBA, 550 págs.

Planchuelo-Ravelo, Pascale, A. J.,; Damario, E.A. 2004A.M. 1988. "Sistemas de observaciones fenológicas y fenométricas, para la calibración de modelos fisiológicos de rendimiento". *Rev. Facultad de Agronomía*, 9(1-2):99-108.

Rallo, L; Martin, G.C. 1991. "The role of chilling in releasing olive floral buds from dormancy". *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 116(6):1058-1062.

Richardson, E.A.; Seeley, S.D.; Walker, D.R. 1994. A model for estimationthe completionof rest for "Redhaven"and "Elberta" peach trees. *HortScience* 9:331-332.

Ring, B.R.; Harris, M.K; Hakmann, J.K.; Mesón, J.L. 1983. A Fortran computer program for determining start date and base temperature for degree-day models". *Bull MP-1537*. Texas Agric. Exp. St. Texas Univ. Systems, College Station TX.

- Sáenz Lanín, C.; Gutiérrez Bustillo, M.; Alcolado Sánchez-Mateo, V. 2003. "Fenología, Aerobiología y Producción del olivar en Almodóvar del Campo (Castilla La Mancha)". *Anales Jardín Botánico de Madrid*, 60(1):73-81.
- Sarvas, R. 1974. "Investigation on the annual cycle of development of forest trees. II. Autumn dormancy and winter dormancy". *Commun. Inst. For. Fenn.* 84: 1-101.
- Snyder, R.L.; Spano, D.; Cesaraccio, C.; Duce, P. 1991. "Determining degree-day threshold from field observation". *Int. J Biometeorol.* 42:177-182.
- Spano, D.; Cesaraccio, C.; Duce, P.; Zinder, R.L. 1999. "Phenological stages of natural species and their use as climate indicators". *Int. J Biometeorol.* 42:124-133.
- Yang, S.; Logan, J.; Coffey, D.L. 1995. "Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree-days". *Agric. For Meteorol.* 75:61-74.
- Zalom, F.G.; Goodell, P.B.; Wilson, L.T.; Barnett, W.W; Bentley, W.J. 1983. "Degree-days: the calculation and use of hit units in pest management". Leaflet 21373. DANR UC, Davis, CA.