

LA FLORACIÓN DEL ALMENDRO EN MALLORCA: ESTUDIO DE DOS SERIES FENOLOGICAS

José A. GUIJARRO
INM - Centro Meteorológico Territorial en Illes Balears
jaguijarro@inm.es

RESUMEN

Se han estudiado dos series de fechas de floración del almendro de 25 años de longitud (1981-2005), de sendas estaciones de Mallorca. Las tendencias observadas apuntan a un adelanto de 2 y 4 días por década, pero la acusada variabilidad de los valores anuales hace que no sean estadísticamente significativas. Las fechas de floración no parecen depender de las temperaturas de los días anteriores, sino que se correlacionan positivamente (atraso) con las horas-frío acumuladas. La acumulación de grados-día de calor, que no resulta significativa en la correlación simple, sí que mejora la explicación de varianza cuando interviene en un modelo lineal de regresión múltiple conjuntamente con las horas-frío, aunque con signo contrario al esperado.

Palabras clave: fenología, floración, almendro, cambio climático, temperaturas, Mallorca.

ABSTRACT

Two 25 year long (1981-2005) almond flowering date series from Majorca have been studied. Observed trends point to an advance of 2 and 4 days per decade, but the high variability of the yearly values prevent them from being statistically significant. Flowering dates seem not to depend on the temperatures of previous days, but are positively correlated (delay) with the accumulated cold-hours. The summation of heat degree-days, non significant in simple correlations, is able to improve the explanation of variance when included in a multiple regression linear model jointly with cold-hours, though with a sign opposite to the expected influence.

Key words: phenology, flowering, almond, climatic change, temperatures, Majorca.

1. INTRODUCCIÓN

La fenología estudia las fechas de fenómenos naturales recurrentes, especialmente en relación con el clima. Suele tratarse de fenómenos biológicos, como la floración o fructificación de plantas, migración de animales, etc, pero también pueden estudiarse fenómenos abióticos, como la congelación del agua de una bahía, río o lago.

La relación entre las fechas de estos fenómenos (fenofases) y las variables climáticas (particularmente la temperatura) ha hecho que se hayan empleado en un intento de mejorar la cartografía espacial del clima, usando como referencia alguna especie vegetal

de amplia distribución, como por ejemplo *Asphodelus aestivus* Brot. en Mallorca (MOREY y GUIJARRO, 1988), pero los resultados son difíciles de interpretar por la diferente respuesta que una misma especie puede presentar de unas subespecies o variedades a otras, e incluso entre genotipos diferentes (no distinguibles por su aspecto externo) que han podido adaptarse al clima local en que se desarrollan. Además, aunque la temperatura suele ser la variable climática que más condiciona que una fenofase sea temprana o tardía (salvo valores muy anómalos de precipitación u otras variables que condicionen el suceso estudiado), la respuesta de estos fenómenos biológicos no tiene por qué estar ligada a un sólo elemento climático, sino que viene a ser una síntesis de varios de ellos (WIEGOLASKI, 1974).

Recientemente se ha renovado el interés por los estudios fenológicos en relación con la problemática del cambio climático, puesto que los ecosistemas parecen estar ya respondiendo a la progresiva elevación de las temperaturas medias (PEÑUELAS y FILELLA, 2001). Así, COTTON (2003) ha referido un adelanto medio de 8 días en 30 años en la llegada de 20 especies de aves migratorias a Inglaterra y, en estudios sobre la floración de las plantas, FITTER y FITTER (2002) encuentran un adelanto de 4,5 días en los años 90 respecto a las décadas anteriores (sobre un promedio de 385 especies, también en Gran Bretaña), y ROBERTS *et al.* (2004) obtienen una tendencia de adelanto de un día al año en Escocia, con una correspondencia de una semana por cada grado centígrado de incremento en la temperatura media anual. En la zona mediterránea, PEÑUELAS *et al.* (2002) muestran adelantos en la floración de entre una y diez semanas en 50 años, según las especies.

Para este trabajo se ha elegido la floración del almendro, *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb (sin. *Prunus amygdalus* Batsch, *Amygdalus communis* L.) por su elevado interés paisajístico, que hace que incluso se ofrezcan paquetes turísticos especializados, bajo denominaciones del tipo "Mallorca en flor", para la semana que incluye el día 1 de febrero (M. Grimalt, com. pers.)



Fig. 1: Almendro en flor (Mallorca)

El almendro es originario de las regiones montañosas de Asia central, y se cultiva en los países mediterráneos desde la antigüedad, por su adaptabilidad a terrenos relativamente pobres y resistencia a la sequía (GRASSELLY, 1984). Su floración (figura 1) es muy temprana, de las primeras del año, y parece estar determinada sobre todo por la temperatura (en Inglaterra, SPARKS *et al.*, 2000, han establecido que un incremento de 1°C en la temperatura media anual produce un adelanto de 8,9 días en la floración del almendro), aunque no hay un consenso claro sobre el tipo de relación. Así, por un lado cabe esperar, como en otras especies frutícolas de la misma familia (Rosáceas: albaricoquero, melocotonero, manzano, peral, etc), que necesite un periodo de vernalización (acumulación de frío invernal) antes del comienzo de un nuevo ciclo vegetativo, mientras que después precisaría que las temperaturas alcanzasen un cierto nivel para inducir la floración (unos 8°C de media durante siete u ocho días según LÓPEZ, 1972), que es previa a la salida de las hojas. En cualquier caso, se ha visto que las necesidades de frío invernal y posterior elevación de las temperaturas difieren mucho de unas variedades a otras (TABUENCA *et al.*, 1972).

En este trabajo se estudian en primer lugar la variabilidad y tendencias de las fechas de floración del almendro de las dos series más largas de Mallorca, y posteriormente se investiga la influencia de las temperaturas en dicha variabilidad.

2. METODOLOGÍA

Se han escogido las dos series más largas de floración del almendro que obran en el archivo del Centro Meteorológico Territorial en Illes Balears (dependiente del Instituto Nacional de Meteorología), que contienen datos desde 1981. Una de ellas es también estación termopluiométrica, pero la otra no registra datos termométricos, por lo que para estudiar la relación de las fechas de floración con la temperatura ha habido que recurrir a una estación termométrica próxima. Los nombres y ubicaciones de estas estaciones figuran en la Tabla 1.

Datos	Indicativo	Nombre	X (km)	Y (km)	Z (m)
PF	B056	Binibassí	477,2	4403,2	120
PT	B062	Sa Vinyassa	477,9	4402,2	50
PTF	B273	Sa Cabaneta	478,8	4385,8	152

Tabla 1: NOMBRES Y COORDENADAS UTM (HUSO 31) DE LAS ESTACIONES OBJETO DE ESTUDIO. TIPOS DE DATOS: P=PLUVIOMÉTRICOS; T=TERMOMÉTRICOS; F=FENOLÓGICOS.

Atendiendo a las normas con que se provee a los colaboradores que realizan observaciones fenológicas (INM, 1989), las fechas de floración se asignan cuando "al menos en la tercera parte de la planta" y (tratándose de un conjunto) en "por lo menos la mitad de los individuos" (almendros en este caso) del entorno de la estación, "presenten bien abiertas sus flores con sus estambres o pistilos visibles".

Una vez recopiladas las fechas de floración (FF) de ambas estaciones, se han computado los siguientes parámetros termométricos:

- TA5: Promedio de las temperaturas máximas de los 5 días anteriores a la floración.
- T5: Promedio de las temperaturas medias de los 5 días anteriores a la floración.
- HFA: Horas frío por debajo de 7°C acumuladas hasta el día anterior a la floración. Como sólo se disponía de temperaturas extremas diarias, se utilizó la fórmula de Crossa-Reinaud, con la que las horas frío (H_f) de cada día se calculan mediante:

$$H_f = 24 (T_u - T_n) / (T_x - T_n)$$

siendo T_u la temperatura umbral (7°C en este caso), T_x la temperatura máxima, y T_n la mínima. Esta fórmula se aplicará únicamente cuando la temperatura umbral esté comprendida entre la máxima y la mínima del día, puesto que si la temperatura mínima es superior a la umbral, tendremos 0 horas frío, y cuando la temperatura máxima sea inferior a la umbral, las horas frío serán 24.

- GDA: Grados día, por encima de 7°C, acumulados desde el 1 de noviembre hasta el día anterior a la floración: Se consideran únicamente los días en que la temperatura media es superior a 7°C (lo contrario sería excepcional en las localidades estudiadas), computando la diferencia ($T - 7$).
- GDB: Como el anterior, pero realizando la acumulación desde el 1 de diciembre.

El análisis de todos estos datos se ha realizado con el paquete estadístico "R".

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se presentan los datos recopilados para ambas localidades, correspondientes al periodo 1981-2005. Las fechas de floración están expresadas como día del año correspondiente, adoptando un valor negativo cuando la floración tiene lugar en diciembre del año anterior, como ocurrió en Sa Cabaneta en 1990. Esta misma estación reportó dos fechas de floración en 1981; en este caso, para el análisis de tendencias se han unificado en un valor medio (el 20 de enero).

3.1. Variabilidad y tendencias de las fechas de floración

En la figura 2 se han representado las series temporales de floración de las dos estaciones estudiadas. Se observa una acusada variabilidad en ambas localidades y, curiosamente, no parecen estar relacionadas entre sí ($r=0,094$). Las tendencias que se obtienen al correlacionar ambas series con el tiempo son de +0.069 días por año en B056 y -0.209 en B273, pero su elevada variabilidad hace que ninguna de las tendencias sea estadísticamente significativa.

La tendencia de Binibassí (B056) es particularmente curiosa porque, aun con un valor absoluto muy pequeño, indica un atraso de la floración en lugar del adelanto que cabría esperar. Esto puede ser debido al efecto de los tres primeros años, que no parecen homogéneos respecto de la serie de Sa Cabaneta (B273), puesto que sus fechas de floración son muy similares, mientras que en los demás años (exceptuando 1995) la floración en Binibassí es más tardía, como corresponde a una localidad más fría. Si exceptuamos esos tres años, se obtiene una tendencia de -0.404 días/año, más acorde con lo esperado, aunque tampoco alcanza significación estadística.

	B056-Binibassí / B062-Sa Vinyassa						B273-Sa Cabaneta					
	FF	TA5	T5	HFA	GDA	GDB	FF	TA5	T5	HFA	GDA	GDB
1981	28	--	--	--	--	--	15	107	67	370	305	93
1981b	--	--	--	--	--	--	25	162	119	379	351	139
1982	5	--	--	--	--	--	10	200	150	23	500	262
1983	20	--	--	--	--	--	27	149	96	219	395	188
1984	36	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1985	41	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1986	32	175	110	194	215	427	3	146	112	139	311	145
1987	30	126	83	385	190	414	15	108	81	171	345	135
1988	30	185	126	163	321	515	10	140	116	49	410	215
1989	29	194	145	405	156	368	10	140	116	49	410	215
1990	36	168	113	215	332	597	-6	165	130	0	444	180
1991	29	184	120	322	149	338	18	127	89	199	340	146
1992	33	142	90	547	123	308	10	142	106	71	356	153
1993	46	155	94	492	224	432	15	151	114	120	431	183
1994	31	156	86	345	200	367	10	141	98	42	381	188
1995	34	190	120	277	243	491	33	169	128	192	555	281
1996	28	183	125	--	--	--	5	177	147	8	517	241
1997	26	167	131	119	298	535	10	120	91	66	447	200
1998	24	210	167	190	228	458	6	173	137	12	455	206
1999	34	111	83	372	206	381	20	142	105	105	416	221
2000	29	166	103	311	154	302	20	140	98	166	403	219
2001	17	130	74	95	269	466	2	139	106	19	420	197
2002	--	--	--	--	--	--	15	153	113	149	365	165
2003	16	149	94	111	225	468	6	179	145	8	491	241
2004	30	145	97	131	220	456	7	149	101	71	420	164
2005	41	135	88	505	204	374	10	146	75	96	398	203

Tabla 2: FECHAS DE FLORACIÓN (FF, EN DÍAS DEL AÑO) DEL ALMENDRO EN LAS DOS LOCALIDADES ESTUDIADAS, Y PARÁMETROS TERMOMÉTRICOS ASOCIADOS (EN °C).

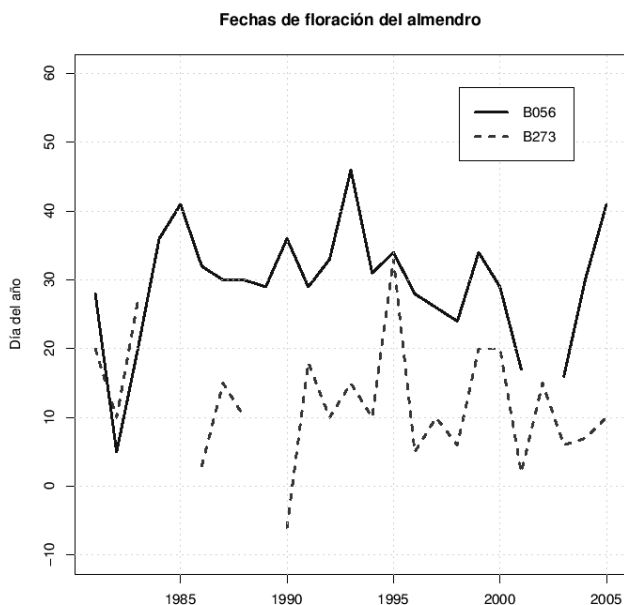


Fig. 2: Evolución temporal de las fechas de floración del almendro.

3.2. Influencia de las temperaturas en las fechas de floración

Se han confeccionado sendos histogramas con los promedios de temperaturas medias (T5) y máximas (TA5) en los cinco días anteriores a la floración, y se observa (figura 3) que presentan un rango de valores bastante grande, de unos 10°C. Esta amplitud de valores no es consistente con la hipótesis de que la floración venga inducida por un cierto nivel termométrico en los días anteriores. Podría argumentarse que el número de días escogido (cinco) no es el más adecuado, pues hay autores que establecen en 7 u 8 días el periodo de influencia, pero no cabe esperar que el añadir 2 o 3 días al cálculo de la media haga cambiar tanto los valores obtenidos como para reducir su rango a dos o tres grados.

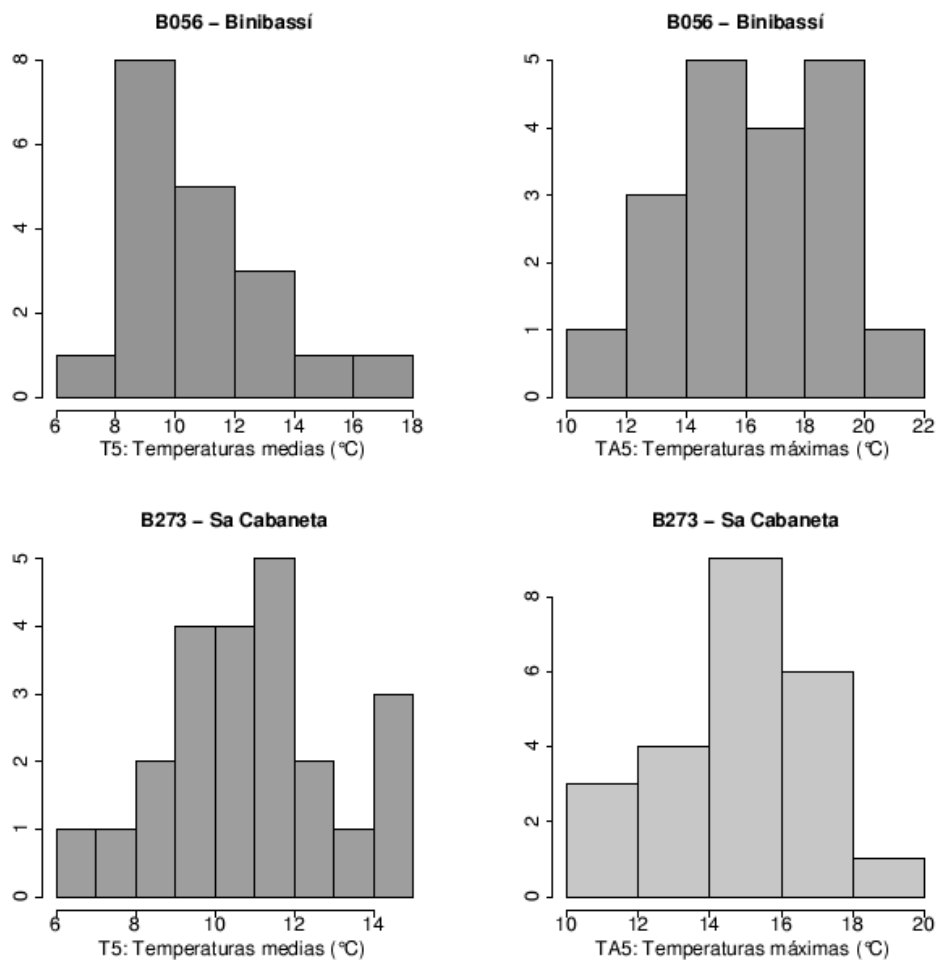


Fig. 3: Frecuencias de los promedios de temperaturas medias y máximas en los cinco días anteriores a la floración.

En la tabla 3 podemos ver la matriz de correlaciones de las fechas de floración y los parámetros termométricos calculados en este trabajo, para las dos estaciones estudiadas (los valores de la semimatriz inferior izquierda corresponden a B056/B062-Binibassí, y los de la superior derecha, a B273-Sa Cabaneta).

Las fechas de floración presentan correlaciones muy bajas con los parámetros termométricos, con la notable excepción de las horas frío acumuladas (HFA), con valores muy similares en ambas estaciones ($r=0,696$ en B056 y $r=0,692$ en B273).

	FF	HFA	GDA	GDB	TA5	T5
FF	--	0,692	-0,033	0,071	-0,133	-0,240
HFA	0,696	--	-0,544	-0,552	-0,414	-0,493
GDA	-0,084	-0,633	--	0,902	0,696	0,700
GDB	-0,130	-0,655	0,939	--	0,666	0,630
TA5	-0,081	-0,235	0,119	0,202	--	0,903
T5	-0,128	-0,249	0,160	0,261	0,901	--

Tabla 3: MATRIZ DE CORRELACIONES (DE PEARSON) DE LAS VARIABLES DE LA TABLA 2. (B056-B062 EN LA MITAD INFERIOR IZQUIERDA, Y B273 EN LA SUPERIOR DERECHA).

Lo más sorprendente de estos coeficientes de correlación es su signo, pues implica que un mayor número de horas-frío invernal produce un atraso en la floración en lugar de un adelanto, que sería lo lógico si el almendro tuviera que completar cierto número de horas-frío para comenzar un nuevo ciclo vegetativo. KUMAR y UPPAL (1990) señalan los bajos requerimientos de frío invernal del almendro respecto a otras especies de frutales de la misma familia, pero aún así los cifran en 250-400, mientras que en este trabajo tenemos el caso del año 1990 en Sa Cabaneta en que, con un invierno muy suave (0 horas-frío acumuladas) el almendro floreció en la fecha más temprana de la serie (el 26 de diciembre de 1989, día -6 de 1990). En cualquier caso ya se ha comentado que esas posibles necesidades de frío son muy variables de unas variedades a otras, y los agrónomos las establecen teniendo en cuenta principalmente la producción de frutos, mientras que aquí únicamente estamos considerando la fecha del inicio de la floración.

Para buscar un modelo estadístico que relacione las fechas de floración con los parámetros termométricos considerados se realizaron sendos análisis de regresión múltiple paso a paso (uno para cada estación), resultando seleccionados los siguientes modelos:

$$\begin{aligned} \text{B056:} \quad & \text{FF} = -1,3 + 0,0535 * \text{HFA} + 0,0741 * \text{GDA} & (R^2_{\text{aj}}=0,657) \\ \text{B273:} \quad & \text{FF} = -13,7 + 0,0861 * \text{HFA} + 0,158 * \text{GDB} - 0,0931 * \text{TA5} & (R^2_{\text{aj}}=0,774) \end{aligned}$$

En Binibassí (B056) el ajuste explica un menor porcentaje de varianza (65,7%) que en Sa Cabaneta (77,4%). Ello podría ser debido a que, con una orografía compleja como la del entorno de esa estación, las temperaturas pueden presentar una gran variabilidad espacial (son frecuentes las calmas nocturnas con inversiones térmicas), y no teniendo medidas de temperatura in situ, sino en una estación próxima pero con una diferencia de altitud de 70 m, las temperaturas pueden no ser suficientemente representativas, a pesar de la escasa distancia horizontal (1,22 km).

En ambos modelos intervienen como variables independientes las horas-frío acumuladas y una de las acumulaciones de grados-día, aunque en Binibassí ha resultado

seleccionada la que comienza el 1 de noviembre y en Sa Cabaneta la acumulada desde el 1 de diciembre. En cualquier caso, estas variables (GDA y GDB) están muy correlacionadas entre sí, como puede verse en la tabla 3 ($r > 0,9$ en ambas estaciones). Resulta sorprendente el signo positivo de las acumulaciones de grados-día en las expresiones obtenidas, que indica un atraso de la floración cuando estas acumulaciones son mayores, es decir, cuanto más elevadas son las temperaturas medias desde noviembre o diciembre (según la localidad) hasta la floración, aun cuando estos coeficientes se puedan interpretar como una corrección a las fechas de floración determinadas por las acumulaciones de horas-frío, mucho mejor correlacionadas con las fechas de floración como ya se ha discutido.

En Sa Cabaneta el proceso automático de selección ha retenido también la media de las temperaturas máximas en los 5 días anteriores a la floración, pero con una significación estadística bastante modesta ($\alpha=0,1002$). Si prescindimos de esta variable, el modelo queda:

$$\text{B273:} \quad \text{FF} = -22,2 + 0,0874 * \text{HFA} + 0,129 * \text{GDB} \quad (R_{aj}^2=0,751)$$

Con lo que la varianza explicada pasa del 77 al 75%, una disminución perfectamente asumible que nos permite simplificar la expresión. En la figura 3 se observa la relativa concordancia entre las fechas de floración observadas y las calculadas con este nuevo modelo y el de Binibassí, con errores típicos de 4,4 y 4,2 días respectivamente.

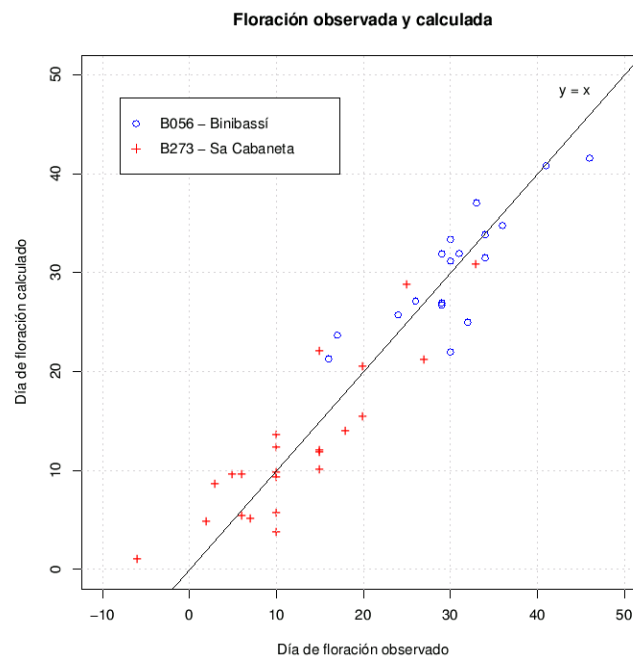


Fig. 4: Fechas de floración observadas y calculadas con el ajuste a dos parámetros termométricos (horas-frío y grados-día).

Estos modelos son una primera aproximación a la relación entre las fechas de floración en estas localidades y las temperaturas. Podrían realizarse análisis más exhaustivos, incluyendo promedios de temperatura de un número variable de días antes de la

floración, o acumulaciones de horas-frío y grados-día para otros umbrales diferentes al utilizado aquí (7°C), pero en cualquier caso las expresiones halladas no serían exportables a otras localidades, donde pueden crecer otras variedades de almendro con diferentes respuestas a las temperaturas.

4. CONCLUSIONES

Las fechas de floración del almendro en las dos localidades estudiadas tienden a adelantarse a razón de 2 y 4 días por década. Estas tendencias concuerdan con las referenciadas en otros trabajos sobre flora en general, pero la elevada variabilidad de las series invalida su significación estadística.

Las fechas de floración estudiadas no parecen depender de un cierto nivel termométrico en los días anteriores, sino que están asociadas principalmente a la acumulación de horas-frío, y también a los grados-día de calor acumulados desde noviembre o diciembre.

La dependencia con ambos parámetros en las ecuaciones de regresión múltiple es directa, lo que implica una tendencia al atraso de la floración cuanto mayores son las acumulaciones tanto de horas-frío como de grados-día de calor.

5. AGRADECIMIENTOS

Debo agradecer a mis compañeras Pilar Bestué y Aina M^a Genovard, ya jubiladas, su gran ayuda en la selección y recopilación de las series estudiadas, y a los colaboradores de estas estaciones climatológicas (Julián Coll en Binibassí, Joan Puigserver en Sa Vinyassa y Antonia Capó en Sa Cabaneta), y de todas en general, por convertir su perseverante afición en una inestimable fuente de datos para el estudio de los climas locales.

6. REFERENCIAS

- COTTON, P.A. (2003): "Avian migration phenology and global climate change". *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 100, pp. 12219-12222.
- FITTER, A.H. y FITTER, R.S.R. (2002): "Rapid Changes in Flowering Time in British Plants". *Science*, 296, pp. 1689-1691.
- GRASSELLY, C. (1984): *El almendro*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 465 pp.
- INM (1989): *Normas e instrucciones para las observaciones fenológicas*. INM C-43, Min. de Transportes, T. y Com., Madrid, 23 pp.
- KUMAR, K. y UPPAL, D.K. (1990): "Performance of almond (*Prunus amygdalus* Batsch.) selections in the subtropics". *Acta Hort.* (ISHS) 279, pp. 199-208.
- LÓPEZ, P.J. (1972): *El almendro y su cultivo*. Ediciones Mundi-Prensa. Tercera edición. Madrid, España.
- MOREY, M. y GUIJARRO, J.A. (1988): La fenología de *Asphodelus aestivus* Brot. como indicadora de condiciones macro y microclimáticas. *Avances sobre la Invest. en Bioclim.*, IX Reunión de Bioclim. (Almería, 1985), C.S.I.C., pp. 361-368.

- PEÑUELAS, J. y FILELLA, I. (2001): "Phenology: Responses to a Warming World." *Science*, 294, pp. 793-795.
- PEÑUELAS J., FILELLA I. y COMAS P. (2002): "Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region." *Global Change Biology*, 8, pp. 531-544.
- ROBERTS, A.M.I., LAST, F.T. y KEMPTON, E. (2004): *Preliminary analyses of changes in the first flowering dates of a range of plants between 1978 and 2001*. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 035 (ROAME No. F01NA04).
- SPARKS T.H., JEFFREE E.P. y JEFFREE, C.E. (2000): "An examination of the relationship between flowering times and temperature at the national scale using long-term phenological records from the UK." *Int. Jour. Biometeorol.*, 44, pp. 82-87.
- TABUENCA, M.C., MUT, M. y HERRERO, J. (1972): "Influencia de la temperatura en la época de floración de variedades de almendro." *Anales de la Estación Experimental del Aula Dei*, 11, pp. 378-395.
- WIEGOLASKI, F.E. (1974): Phenology in agriculture. En LIETH H. (Ed.), *Phenology and Seasonality Modeling*. Chapman&Hall, Springer-Verlag, pp. 369-381.