

III. 1. *THYMUS HYEMALIS*.

A pesar del importante contenido fenólico que puede presentar su aceite esencial, *Th. hyemalis* no se cultiva habitualmente con fines comerciales, siendo su recolección en el monte la principal fuente de este tomillo en el mercado de las plantas aromáticas, lo que supone una dificultad a la hora de asegurar la calidad del producto presentado, debido a la gran variabilidad que presenta esta especie. Dado su potencial interés económico, se han establecido cultivos experimentales previos de esta labiada por parte de Sánchez Gómez *et al.* (1989) y Sotomayor (1998), ambos en condiciones de secano; y Sotomayor *et al.* (2001), en regadío.

En el presente ensayo hemos comprobado que esta especie produce dos cosechas anuales cuando se cultiva con regadío, ya que tras realizar una primera siega en invierno, su momento natural de floración, se origina un nuevo ciclo de desarrollo de la planta que culmina en primavera. Esto también puede ocurrir en plantas que crecen en estado silvestre, aunque únicamente cuando se dan inviernos suaves y primaveras lluviosas.

En general, las recolecciones de primavera generan menor cantidad de biomasa y aceite esencial, siendo este aceite además, en promedio, menos rico en compuestos fenólicos.

III. 1. 1. EFECTO DE LAS SIEGAS SOBRE LA SUPERVIVENCIA DE LAS PLANTAS.

En primer lugar, analizamos las marras ocasionadas con los distintos tratamientos hídricos a lo largo de los tres años que comprende el ensayo (Tabla III.1-1). En esta tabla queda de manifiesto que suministrar un escaso riego a esta especie favorece su asentamiento en el terreno, dado que el porcentaje de marras observado el tercer año de

ensayo, con una cantidad de agua equivalente al 20% de la ETo, es inferior al que nos encontramos en 2002, con menos cortes, en los otros tres tratamientos.

Tabla III.1-1. Porcentaje de marras ocasionadas a lo largo de los tres años de cultivo.

	% ETo			
	80	60	40	20
	% marras			
2002	58	55	46	19
2003	66	62	54	29
2004	71	65	64	42

Estos mismos resultados se pueden apreciar gráficamente en la Figura III.1-1, donde están representadas las plantas de *Th. hyemalis* que han persistido por tratamientos y años.

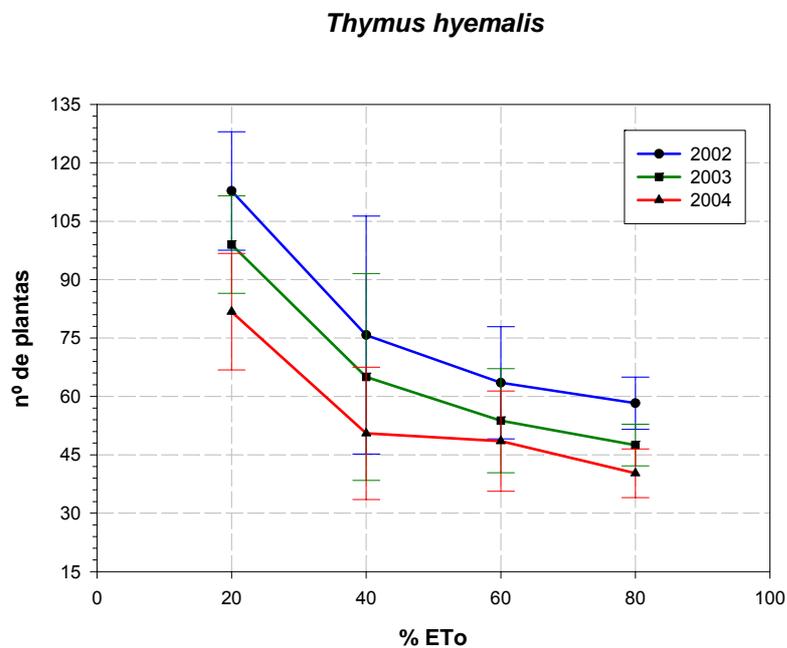


Fig. III.1-1. Número de plantas vivas, en función de la ETo, encontradas en los tres años de estudio.

Estas plantas han sido contadas siempre en los meses de verano, tras la segunda recolección. Se debe recordar que el número inicial de plantas es de 140 por subparcela.

Como se puede distinguir en la figura anterior, tras cada recolección hay un determinado número de plantas que no consigue rebrotar, siendo además evidente en cada año que el número de plantas vivas disminuye a medida que aumenta la cantidad de agua aportada a la plantación.

III. 1. 2. PRODUCCIÓN DE BIOMASA.

Los datos de producción reflejados en este apartado se refieren especialmente a los Kg de material vegetal desecado obtenido a partir del producto fresco recolectado en la parcela.

En primer lugar se exponen los resultados correspondientes a las recolecciones de invierno de los tres años que comprende el estudio, para detallar a continuación los rendimientos cosechados en primavera.

Los valores que se presentan entre paréntesis, tras cada porcentaje de la ETo, corresponden a las cantidades reales de agua que reciben las plantas, ligeramente diferentes de los valores propuestos, como ha sido detallado en la sección Material y Métodos.

III. 1. 2. 1. Invierno.

La Tabla III.1–2 muestra los rendimientos obtenidos en el invierno de 2002, cuando han transcurrido casi dos años desde el momento de la plantación. Es importante recordar que esta es la cuarta recolección efectuada a estas plantas, tras un primer corte realizado en diciembre de

2000, a los siete meses de iniciarse el cultivo, y las siegas de invierno y primavera de 2001. Los tratamientos de riego diferenciado comienzan a aplicarse en julio de ese mismo año.

Tabla III.1–2. Valores de producción, en función de la ETo, correspondientes a invierno de 2002.

	% ETo			
	80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Kg MF/ha	7.518,8 ± 2.060,95	6.974,4 ± 2.043,33	6.596,9 ± 946,51	5.751,6 ± 449,72
% MS	34,85	31,83	34,17	34,46
Kg MS/ha	2.620,3 ± 718,24	2.219,9 ± 650,39	2.254,2 ± 323,42	1.982,0 ± 154,97
% HS/MS	66,67	69,56	68,83	69,23
Kg HS/ha	1.747,0 ± 478,85	1.544,2 ± 452,41	1.551,5 ± 222,61	1.372,1 ± 107,29

± Desviación estándar.

Tras ocho meses en los que las plantas han estado recibiendo diferentes aportes de agua, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los distintos niveles de riego en la producción de fitomasa, siendo también similares los porcentajes de materia y hoja secas obtenidos con los cuatro tratamientos hídricos. Sólo el porcentaje de materia seca correspondiente al 60% de la ETo es ligeramente inferior al resto.

En esta primera recolección efectuada tras el inicio del riego diferenciado se observa, no obstante, que estas plantas tienden a elevar su producción de material en fresco a medida que aumenta la cantidad de agua que reciben, pudiéndose superar los 7.500 Kg/ha cuando se riega con el agua necesaria para compensar el 80% de la ETo. Sin el factor limitante de la disponibilidad de agua, las plantas se pueden desarrollar más y mejor, compensando así el menor número de las mismas encontrado respecto a riegos más reducidos.

En un trabajo experimental previo, desarrollado en secano, Sánchez Gómez *et al.* (1989) obtienen para *Th. hyemalis* una producción en fresco de 3.178 Kg/ha transcurrido un año desde la implantación del cultivo, y 3.376 Kg/ha en el segundo año, resultados que corresponden a una densidad de 25.000 plantas/ha.

Centrándonos en los kilos de hoja seca por hectárea, parámetro más importante desde el punto de vista comercial de los contemplados en este apartado, los más de 1.500 Kg obtenidos, 1.300 en el caso del menor aporte hídrico, son significativamente superiores a los alcanzadas por Sotomayor (1998), con un rendimiento máximo, obtenido en el tercer año de cultivo en secano, de 808 Kg/ha para esta especie, con 25.000 plantas/ha.

Sotomayor *et al.* (2001), detallan en una publicación los resultados alcanzados tras la primera recolección efectuada a las plantas objeto de esta Tesis, con un período de cultivo de tan solo siete meses. En dicha recolección aún no ha comenzado a aplicarse el riego diferenciado, recibiendo todas las plantas la cantidad de agua necesaria para compensar el 60% de la ETo. El material en fresco obtenido para *Th. hyemalis* en estas condiciones alcanza los 7.059 Kg/ha, con un rendimiento en hoja seca de 1.200 Kg/ha. A pesar del temprano estado de desarrollo de los tomillos en esta primera cosecha, el producto fresco alcanza un valor similar al conseguido en 2002 con los riegos más abundantes. Sin embargo, el rendimiento en hoja seca en 2002 es superior al citado en la mencionada publicación, incluso con un menor suministro de agua. Esto puede ser debido a que las plantas jóvenes presentan tallos más herbáceos y un menor desarrollo de la estructura foliar.

En la recolección de invierno de 2003 (Tabla III.1–3) continúan sin advertirse diferencias significativas en ningún caso, aunque se puede constatar un cambio de tendencia en la producción de fitomasa de esta

especie, ya que el mejor resultado, en promedio, obtenido tanto para el material en fresco como para la hoja seca por hectárea corresponde al menor aporte hídrico, contrariamente a lo ocurrido en 2002.

Tabla III.1–3. Valores de producción, en función de la ETo, correspondientes a invierno de 2003.

	% ETo			
	80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Kg MF/ha	6.671,3 ± 1.238,17	6.906,0 ± 3.657,28	6.772,3 ± 2.122,81	7.213,7 ± 1.607,58
% MS	38,45	39,13	36,89	33,51
Kg MS/ha	2.565,1 ± 476,08	2.702,3 ± 1.431,09	2.498,3 ± 783,10	2.417,3 ± 538,70
% HS/MS	47,99	51,11	57,03	61,56
Kg HS/ha	1.231,0 ± 228,47	1.381,2 ± 731,43	1.424,8 ± 446,60	1.488,1 ± 331,62

± Desviación estándar.

En 2003 también se aprecian mayores diferencias entre los porcentajes de materia seca relativos a los cuatro tratamientos de riego, con valores más bajos en los tratamientos que conllevan menor humedad, contrariamente a lo que cabría esperar. Este comportamiento se explica considerando que *Th. hyemalis* es un tomillo que se hace más leñoso a medida que transcurren las recolecciones, pero este efecto no es perceptible con los suplementos hídricos más escasos dado el menor tamaño que generalmente alcanzan las plantas que disponen de poca agua para su crecimiento. Sin embargo, el porcentaje de hoja seca aumenta a medida que descende la cantidad de agua que reciben las plantas. En este año, por lo tanto, con un bajo nivel de riego obtenemos menor rendimiento en materia seca, pero un mayor porcentaje de la misma corresponde a hoja.

La tendencia que empezaba a sugerirse en 2003 se hace patente en 2004 (Tabla III.1–4), cuarto año de cultivo, en el cual la producción obtenida con el aporte hídrico más bajo, tanto de material en fresco como

desecado, es significativamente superior a la perteneciente a los tratamientos de más agua. El marcado incremento en la mortalidad de estos tomillos que acompaña a los riegos elevados, acaba influyendo decisivamente en la productividad del cultivo.

Tabla III.1–4. Valores de producción, en función de la ETo, correspondientes a invierno de 2004.

	% ETo			
	80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Kg MF/ha	4.956,9 ± 722,77 ^a	6.245,6 ± 986,27 ^a	7.164,8 ± 1.606,54 ^{ab}	8.899,0 ± 2.282,08 ^b
% MS	38,28	38,27	39,26	39,71
Kg MS/ha	1.897,5 ± 276,68 ^a	2.390,2 ± 377,45 ^a	2.812,9 ± 630,73 ^{ab}	3.533,8 ± 906,21 ^b
% HS/MS	62,10	61,52	64,39	63,87
Kg HS/ha	1.178,3 ± 171,82 ^a	1.470,4 ± 232,20 ^{ab}	1.811,2 ± 406,13 ^{bc}	2.257,0 ± 578,80 ^c

^{a, b, c} Valores con distinto superíndice en la misma línea presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$).
± Desviación estándar.

Los porcentajes de materia seca obtenidos con el 40 y, especialmente, el 20% de la ETo, se elevan respecto al año anterior, por lo que la estructura leñosa de *Th. hyemalis* se acentúa también con el paso del tiempo en condiciones de riego escaso.

Respecto a la hoja seca, se puede observar que los porcentajes determinados en 2004 superan también a los de 2003 con todos los tratamientos hídricos. En el último año de ensayo, suministrar a las plantas una cantidad de agua que compense el 20 ó el 40% de la ETo mejora significativamente el rendimiento en esta materia prima respecto al resultado alcanzado con el 80%.

Si bien no se encuentran diferencias en ningún caso entre administrar un riego equivalente al 40 ó al 20% de la ETo, es con este último tratamiento con el que se alcanzan los mejores promedios de

producción en esta recolección. Esta cantidad de agua, que en la práctica ha supuesto el 30% de la ETo, equivale a 370 mm anuales, sólo ligeramente superior a la pluviometría media de la zona en la que se han cultivado las plantas, que es de 308,3 mm/año.

Dado que la Región de Murcia es una zona con una manifiesta escasez de agua, estos resultados son bastante positivos desde el punto de vista del establecimiento de cultivos de esta especie de tomillo, ya que queda demostrado que estas plantas pueden ofrecer un rendimiento importante con unos requerimientos hídricos mínimos.

Los resultados de 2003 y 2004 corresponden al tercer y cuarto año de cultivo, con una plantación completamente establecida y madura, por lo que parece que son estas las máximas producciones que se pueden conseguir con las condiciones de cultivo descritas.

III. 1. 2. 2. Primavera.

El comportamiento de las plantas en la segunda recolección anual es distinto al encontrado en invierno, tanto en 2002 como en 2004.

En 2003 la parcela sufrió unas condiciones climáticas inusuales, con temperaturas muy elevadas en mayo y junio, originando una floración precipitada en plantas con escasa masa vegetativa, por lo que se ha decidido no incluir en esta memoria los resultados correspondientes a la primavera de este año.

Este tomillo ofrece un rendimiento sensiblemente inferior en la cosecha de primavera, lo que se justifica fácilmente teniendo en cuenta que, tras dicha recolección, las plantas disponen de varios meses hasta la siguiente cosecha, en invierno, para completar su ciclo vegetativo.

Cuando se procede a la siega de invierno, la nueva floración se produce tan solo tres meses después, por lo que los tomillos tienen poco

tiempo desde el corte anterior para desarrollarse. De ahí que, con frecuencia, su aspecto morfológico sea distinto al que presentan en invierno, momento óptimo para la recolección de esta planta. En primavera las plantas son en general más pequeñas, y con pocos tallos que diferencian inflorescencias.

En los datos de producción de la primavera de 2002 (Tabla III.1–5), no se aprecian diferencias significativas entre tratamientos, siendo por lo tanto aparentemente indistinto regar con más o menos agua. Sin embargo, en esta segunda recolección de 2002 se manifiesta una mayor retención de agua por parte de las plantas cuando reciben un riego abundante, por lo que, aunque no es posible distinguir una tendencia clara en cuanto al rendimiento en materia fresca, el porcentaje de materia seca obtenido a partir de la misma es mayor en los tratamientos que implican un menor aporte hídrico, especialmente en el equivalente al 20% de la ETo. Esto conduce a la obtención de valores medios más elevados de producto desecado al aplicar dicho riego.

Tabla III.1–5. Valores de producción, en función de la ETo, correspondientes a primavera de 2002.

	% ETo			
	80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Kg MF/ha	4.242,8 ± 865,90	4.244,4 ± 306,79	4.087,4 ± 1.115,95	4.274,6 ± 724,24
% MS	34,72	35,88	38,91	43,95
Kg MS/ha	1.473,1 ± 300,64	1.522,9 ± 110,07	1.590,4 ± 434,22	1.878,7 ± 318,31
% HS/MS	53,96	54,44	55,02	53,55
Kg HS/ha	794,9 ± 162,23	829,1 ± 59,92	875,0 ± 238,91	1.006,0 ± 170,45

± Desviación estándar.

En 2004 tampoco se encuentran diferencias con significación estadística (Tabla III.1–6), pero los resultados de este año permiten advertir una cierta disposición en las plantas, ya que los mejores promedios se obtienen con los riegos equivalentes al 60 y 40% de la ETo,

siendo bastante señalada esta tendencia en lo referente a la producción de hoja seca.

Tabla III.1–6. Valores de producción, en función de la ETo, correspondientes a primavera de 2004.

	% ETo			
	80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Kg MF/ha	3.397,2 ± 876,97	4.341,7 ± 1.200,88	4.160,7 ± 2.215,46	3.012,6 ± 1.029,99
% MS	38,90	38,25	40,08	40,33
Kg MS/ha	1.321,5 ± 341,14	1.660,7 ± 459,34	1.667,6 ± 887,96	1.215,0 ± 415,39
% HS/MS	43,79	48,80	51,16	53,72
Kg HS/ha	578,7 ± 149,39	810,4 ± 224,16	853,1 ± 454,28	652,7 ± 223,15

± Desviación estándar.

Es interesante advertir que el porcentaje de hoja seca disminuye de 2002 a 2004 con todos los tratamientos, salvo con el correspondiente al 20% de la ETo, al contrario de lo que ocurre con el porcentaje de materia seca, que aumenta de un año a otro exceptuado dicho tratamiento. Es decir, en 2004, de la producción en fresco se obtiene un mayor rendimiento en materia seca, sin embargo, la cantidad de hoja obtenida a partir de la planta desecada es inferior a la alcanzada el primer año de ensayo, excepto en el caso del menor aporte de agua.

De los datos de la segunda recolección de esta planta resulta más difícil extraer conclusiones, ya que en 2002 el efecto de los cuatro tratamientos es muy semejante, y es en 2004 cuando aparece la tendencia a mejorar la producción con los suplementos hídricos intermedios, lo cual se puede deber a diferencias en la climatología de ambos años, o puede ser efectivamente resultado de la adaptación de las plantas a las condiciones de cultivo. No disponer de los datos de 2003 imposibilita verificar dicha tendencia.

No obstante, en términos generales, podemos concluir que en primavera la cantidad de agua que reciben las plantas no afecta a la

producción de biomasa, aunque los resultados sugieren que en esta segunda siega *Th. hyemalis* acaba respondiendo mejor con un suministro de agua mayor del que requiere en invierno para alcanzar el óptimo de producción, muy probablemente para compensar la mayor temperatura a la que están expuestas las plantas en los meses primaverales. Este mayor aporte hídrico sería el equivalente al 40 ó 60% de la ETo, pero ya que los riegos elevados incrementan la mortalidad de estas plantas, el 40% se revela como el tratamiento más adecuado.

III. 1. 2. 3. Comparativa invierno/primavera.

Una vez constatado el rendimiento en biomasa sensiblemente inferior que ofrece esta planta en la segunda recolección, en este apartado determinaremos si tal descenso es o no significativo.

Tras comparar los datos de producción mediante un ANOVA, se comprueba que los resultados de invierno son, en efecto, significativamente superiores a los de primavera en la mayoría de los casos, como se aprecia en la Tabla III.1–7. Aplicar un tratamiento hídrico u otro no compensa la menor productividad de las plantas en primavera, especialmente en cuanto a la obtención de hoja seca, parámetro que siempre es significativamente inferior en esta estación.

Resulta interesante que, en 2004, con el riego equivalente al 40% de la ETo, las diferencias en producción de materia fresca y seca entre invierno y primavera no son significativas. Esto puede explicarse por la elevada desviación estándar que presenta este tratamiento en la segunda recolección (Tabla III.1–6), lo que implica puntos de solapamiento con la producción de invierno.

Tabla III.1-7. Análisis estadístico de las recolecciones de invierno y primavera.

		Kg MF/ha		Kg MS/ha		Kg HS/ha	
		2002	2004	2002	2004	2002	2004
% ETO	80 (81)	D	D	D	D	D	D
	60 (63)	D	D	ND	D	D	D
	40 (44)	D	ND	D	ND	D	D
	20 (30)	D	D	ND	D	D	D

D = Diferencias estadísticamente significativas entre estaciones ($P < 0,05$).

ND = No existen diferencias.

III. 1. 3. RENDIMIENTO EN ACEITE ESENCIAL.

Esta sección se refiere tanto al aceite esencial obtenido por destilación individual, en un sistema Clevenger, de las partes aéreas de las plantas recolectadas para su análisis, como a la producción por hectárea de esta sustancia. En ambos casos, el rendimiento en aceite se presenta respecto al peso seco, calculándose en base a los mililitros de aceite obtenidos por gramos de planta seca destilados, y en litros por hectárea al considerar la producción de toda la parcela.

Al igual que en el apartado anterior, los primeros datos analizados corresponden a las recolecciones de invierno, presentándose posteriormente los resultados de primavera.

III. 1. 3. 1. Invierno.

Con la recolección de invierno, época natural de floración de esta labiada, se obtienen en general los mejores rendimientos en aceite esencial, tanto considerando las plantas individuales como la producción por hectárea.

A) Destilación de plantas individuales.

El aceite esencial de *Th. hyemalis*, de un característico color amarillo, puede alcanzar rendimientos de más del 4% en algunas plantas, habiendo encontrado individuos que superan el 5%. Siendo esta sustancia el producto más valorado de los obtenidos del tomillo, este elevado rendimiento sitúa a esta especie entre las más interesantes desde el punto de vista comercial, especialmente teniendo en cuenta que su fenología invernal convierte a esta planta en fuente única de materias primas, en una época en la que aún no han comenzado a florecer la mayoría de los tomillos.

Otras especies de este género, como *Th. mastichina* (Salgueiro *et al.*, 1997a), *Th. pectinatus* (Vardar-Ünlü *et al.*, 2003) o *Th. lotocephalus* (Salgueiro *et al.*, 2000a) presentan rendimientos medios sensiblemente inferiores, alcanzando el 2,1, 1,8 y 1,1% (volumen/peso) respectivamente.

La elevada variabilidad intraespecífica encontrada en esta labiada afecta notablemente a su rendimiento en aceite, por lo que el porcentaje alcanzado varía mucho de unas plantas a otras, lo cual dificulta determinar si el hecho de aplicar distintos tratamientos de riego influye significativamente en la producción de aceite esencial.

La presencia o ausencia de diferencias significativas se determina mediante el análisis de la varianza, comparando los valores medios obtenidos para las 12 plantas recolectadas en función de cada aporte hídrico.

Con tales datos se elaboran las gráficas que se presentan a continuación, correspondiendo los intervalos a la menor diferencia significativa de Fisher, con un nivel de significación del 5%.

En la Figura III.1–2 quedan reflejados los resultados que proporciona *Th. hyemalis* en invierno de 2002, recolección en la que recibir distintas cantidades de agua no parece afectar a la síntesis de aceite esencial por parte de las plantas.

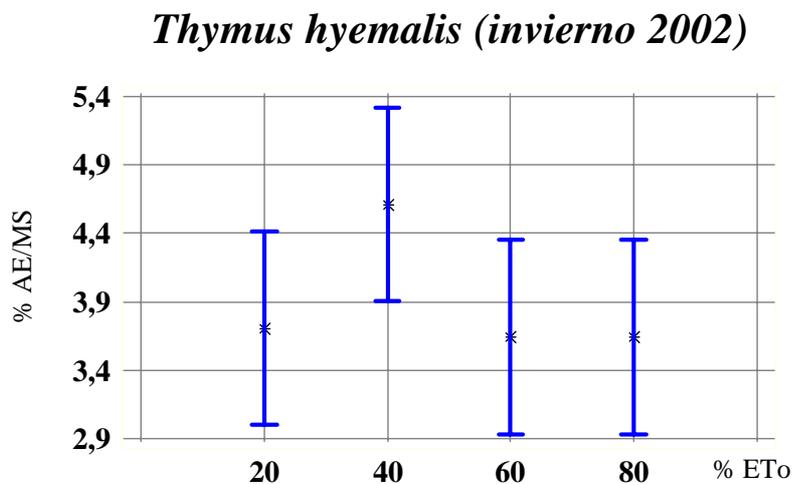


Fig. III.1-2. Rendimiento en aceite esencial, en función del riego, en invierno de 2002.

Los rendimientos obtenidos oscilan entre $3,6 \pm 0,43\%$ y $4,6 \pm 1,15\%$. Se puede advertir que con el riego equivalente al 40% de la ETo se consigue un resultado ligeramente superior, proporcionando el resto de tratamientos unos valores muy homogéneos.

En 2003 sin embargo, tras dos años de aplicación del riego diferenciado, el efecto del mismo sobre este parámetro se hace evidente (Figura III.1-3), encontrando que los tratamientos correspondientes al 60 y 40% de la ETo mejoran significativamente los resultados obtenidos con el 80%, y que con el aporte de agua equivalente al 20% ETo se alcanza un rendimiento superior a todos los demás.

En esta cosecha, los resultados se sitúan entre el $4,1 \pm 1,18\%$ del menor aporte hídrico y el $2,1 \pm 0,50\%$ correspondiente al 80% de la ETo.

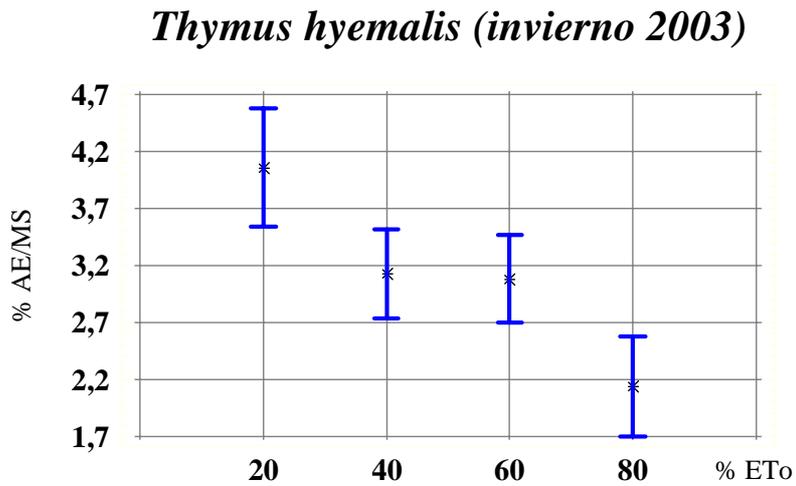


Fig. III.1–3. Rendimiento en aceite esencial, en función del riego, en invierno de 2003.

La recolección del invierno de 2004 (Figura III.1–4) es distinta a los dos años anteriores, ya que con el fin de realizar un estudio de la variabilidad encontrada en la composición química de estas sustancias, se elevó el número de muestras analizadas respecto a 2002 y 2003, recolectándose seis plantas por tratamiento en cada una de las cuatro repeticiones.

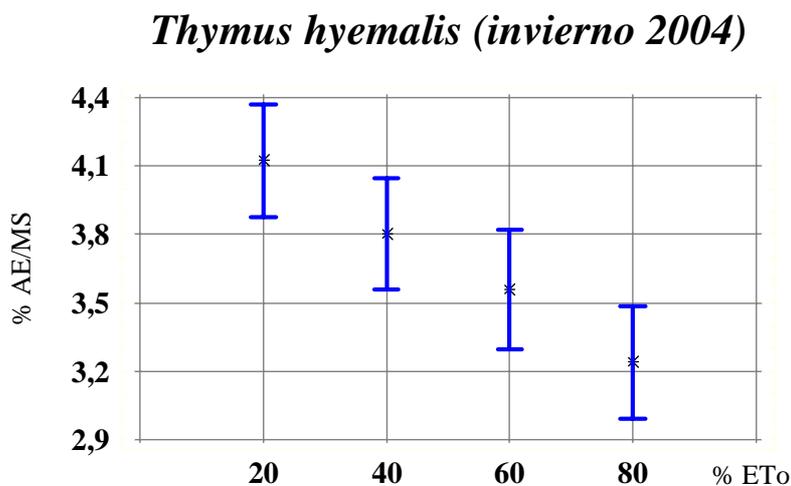


Fig. III.1–4. Rendimiento en aceite esencial, en función del riego, en invierno de 2004.

En la figura precedente es posible apreciar que también en 2004 aparecen diferencias significativas entre tratamientos, obteniéndose con el riego equivalente al 40% de la ETo un rendimiento en aceite significativamente mejor al alcanzado con el 80%, en tanto que el 20% de la ETo proporciona un resultado manifiestamente superior al 60 y al 80%. Tales valores oscilan entre $4,1 \pm 1,06\%$ y $3,2 \pm 0,85\%$, logrados con el menor y el mayor aporte hídrico respectivamente.

La diferencia con el año anterior radica en que en 2004 resulta indiferente regar con el 40 o el 20% de la ETo, mientras en 2003 el 20% es significativamente mejor que el 40%. Esto puede ser atribuido al aumento en el rendimiento determinado con este último tratamiento en 2004 respecto al alcanzado en 2003, aunque en promedio, un riego mínimo resulta más beneficioso para la producción de aceite también en 2004.

Observando las sucesivas recolecciones, los datos indican que someter a estas plantas a un riego diferenciado influye en su producción de aceite esencial, aumentando significativamente la síntesis de esta sustancia a medida que disminuye el agua que reciben las plantas. Esto verifica que una de las razones que induce a la elaboración de aceites por parte de los tomillos es la defensa frente a la desecación (Morales, 1989).

B) Producción por hectárea.

Conocidos los rendimientos en aceite esencial alcanzados con las plantas destiladas, se puede determinar la producción por hectárea de esta materia prima, aplicando los correspondientes porcentajes a los kilos de materia seca obtenidos con los diferentes riegos.

Los resultados se presentan en la Tabla III.1–8, en la que figuran los litros de aceite esencial obtenidos en las recolecciones de invierno de los tres años de ensayo.

Tabla III.1–8. Valores de producción de aceite esencial, en función de la ETo, correspondientes a las recolecciones de invierno.

		% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
L AE/ha	2002	95,4 ± 26,14	80,8 ± 23,67	103,9 ± 14,91	73,4 ± 5,74
	2003	54,9 ± 10,19	83,2 ± 44,08	78,2 ± 24,51	98,1 ± 21,87
	2004	61,5 ± 8,96 ^a	85,1 ± 13,44 ^{ab}	106,9 ± 23,97 ^b	145,6 ± 37,34 ^c

^{a, b, c} Valores con distinto superíndice en la misma línea presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$). ± Desviación estándar.

En invierno de 2002 no se presentan diferencias significativas entre los distintos niveles de agua, obteniéndose el mejor promedio de producción con el riego equivalente al 40% de la ETo.

En el trabajo que Sotomayor *et al.* (2001) publican acerca de los resultados que proporcionan, tras sólo siete meses de cultivo, las plantas empleadas en esta Memoria, la cantidad alcanzada con esta especie es de 68,5 L/ha, con un riego equivalente al 60% de la ETo. Este valor es inferior a los obtenidos en la primera recolección del presente ensayo con cualquiera de los tratamientos hídricos aplicados, por lo que parece que a medida que las plantas maduran, se optimiza su rendimiento en aceite esencial.

En 2003 tampoco se aprecian diferencias significativas, aunque en esta cosecha se advierte una tendencia a aumentar los valores medios de producción con el menor riego, debido al elevado contenido en aceite esencial de las plantas a las que se suministra dicho tratamiento en este año ($4,1 \pm 1,18\%$). El peor resultado corresponde al 80% de la ETo.

Esta tendencia señalada en 2003 se evidencia en 2004, cosecha en la que ya aparecen diferencias con significación estadística que determinan que un riego elevado (80 y 60% de la ETo) conlleva una

menor producción de aceite esencial por hectárea, e incluso el rendimiento obtenido con el 40% es significativamente inferior al que se alcanza aplicando el aporte hídrico más bajo, a pesar de que no existieran diferencias significativas entre estos dos tratamientos en cuanto a la cantidad de aceite que se extrae de las plantas destiladas, como se aprecia en la Figura III.1–4.

Estos resultados confirman que la obtención de aceite esencial se ve claramente favorecida aportando una cantidad de agua mínima al cultivo.

III. 1. 3. 2. Primavera.

En este apartado, las gráficas y tablas que presentan los resultados se han realizado siguiendo los criterios descritos anteriormente.

A) Destilación de plantas individuales.

Los rendimientos que se obtienen tras la destilación en esta segunda recolección anual se sitúan alrededor del 3%, superándose raramente el 4%.

En primavera de 2002 (Figura III.1–5), la prueba ANOVA no aprecia diferencias significativas entre tratamientos, obteniéndose los mejores resultados con los riegos necesarios para compensar el 20 ($3,4 \pm 0,10\%$) y el 40% de la ETo ($3,6 \pm 0,60\%$). Este último tratamiento proporciona igualmente el mejor rendimiento en la recolección de invierno de este año (Figura III.1–2).

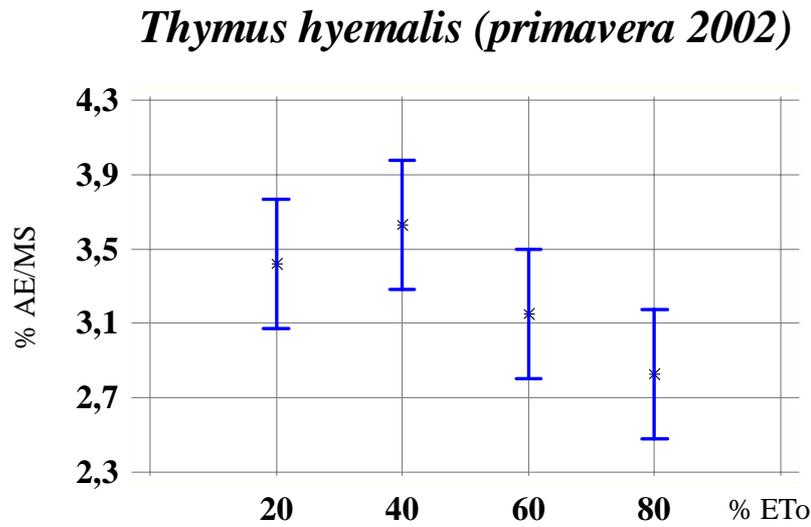


Fig. III.1–5. Rendimiento en aceite esencial, en función del riego, en primavera de 2002.

Los resultados correspondientes a 2004, a pesar del aumento en el número de plantas muestreadas, tampoco presentan diferencias significativas (Figura III.1–6), contrariamente a lo que ocurría en la cosecha de invierno. Se debe aclarar que en primavera se pretendía recolectar para su análisis las mismas plantas tomadas en invierno, sin embargo, el número de muestras resultó ser finalmente ligeramente inferior, dado que algunos de los tomillos estudiados en marzo no rebrotaron en junio.

Asimismo, en la segunda cosecha de 2004, no es posible distinguir una tendencia concreta en cuanto al efecto que el riego diferenciado pueda tener en la producción de aceite esencial, lo que, junto a los menores porcentajes alcanzados, constituye la principal diferencia con los resultados de invierno de este último año, en los cuales sí se observa una manifiesta trayectoria descendente en rendimiento a medida que aumenta la cantidad de agua que reciben las plantas. La explicación se encuentra en el efecto de la variabilidad intraespecífica, que se evidencia más en primavera debido al menor número de plantas recolectadas respecto a invierno.

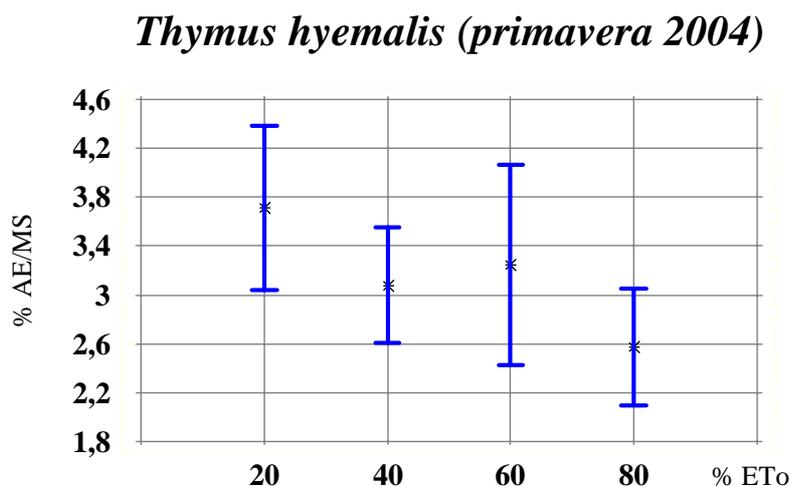


Fig. III.1-6. Rendimiento en aceite esencial, en función del riego, en primavera de 2004.

Sin embargo, al igual que ocurre en la primera cosecha anual, el tratamiento que proporciona el mejor promedio en junio es el equivalente al 20% de la ETo, con un rendimiento de $3,7 \pm 1,23\%$. Y del mismo modo, el peor resultado se obtiene con el riego ajustado para compensar el 80% de la ETo.

De los datos expuestos se puede deducir que la síntesis de aceite esencial por parte de *Th. hyemalis* acaba viéndose favorecida por un escaso aporte hídrico también en su segunda cosecha anual, aunque la elevada variabilidad intraespecífica presente en estas labiadas dificulta apreciar con claridad este efecto, determinando la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos en primavera.

B) Producción por hectárea.

Los litros de aceite esencial conseguidos con las recolecciones de primavera, al igual que ocurre con la producción de biomasa, son inferiores a los que se pueden alcanzar en invierno.

La Tabla III.1–9 muestra los resultados de las recolecciones de primavera, apreciándose en 2002 diferencias significativas entre los tratamientos correspondientes al 80 y 20% de la ETo, mejorando la producción con este último.

Regar con el agua necesaria para compensar el 80% de la ETo produce también una cantidad de materia seca ligeramente inferior, en promedio, al resto de tratamientos en la primavera del primer año de estudio (Tabla III.1–5), y, asimismo, el rendimiento en aceite esencial obtenido por destilación es también inferior con dicho aporte hídrico (Figura III.1–5), lo que explicaría las diferencias apreciadas con el 20% de la ETo, riego que resulta ser el más adecuado, dados los promedios alcanzados, en esta cosecha.

Tabla III.1–9. Valores de producción de aceite esencial, en función de la ETo, correspondientes a las recolecciones de primavera.

		% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
L AE/ha	2002	41,7 ± 8,50 ^a	48,0 ± 3,47 ^{ab}	57,8 ± 15,78 ^{ab}	64,2 ± 10,88 ^b
	2004	34,0 ± 8,77	53,8 ± 14,88	51,4 ± 27,35	45,2 ± 15,45

^{a,b} Valores con distinto superíndice en la misma línea presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$).
± Desviación estándar.

En 2004, sin embargo, no hay diferencias significativas entre los distintos niveles de agua, pero se aprecia la misma tendencia encontrada en la producción de fitomasa de este año (Tabla III.1–6), ya que los mejores promedios de producción se alcanzan con los riegos equivalentes al 40 y 60% de la ETo. Esto es lo que cabría esperar, teniendo en cuenta que los litros de aceite esencial por hectárea se calculan en base a la producción de materia seca y al porcentaje de dicho aceite obtenido tras la destilación. Este porcentaje, algo más elevado en las plantas que han

recibido el aporte hídrico equivalente al 20% de la ETo (Figura III.1–6), determina un mejor promedio de producción por hectárea para este tratamiento respecto al correspondiente al 80%.

Así pues, la producción de aceite esencial en primavera tiende a ser más elevada con los tratamientos hídricos intermedios al hablar de rendimiento por hectárea, dado que tal parámetro va a depender de la generación de biomasa, que es mayor con dichos tratamientos. El mejor resultado que proporciona el 20% de la ETo, tras la destilación individual de estos tomillos, no compensa la mayor producción de materia seca que se logra con el 40 y 60%.

III. 1. 3. 3. Comparativa invierno/primavera.

Comparando los resultados de producción de aceite esencial de invierno y primavera (Tabla III.1–10), observamos que las diferencias entre ambas estaciones no siempre presentan significación estadística.

Tabla III.1–10. Análisis estadístico de las recolecciones de invierno y primavera.

		% AE/MS		L AE/ha	
		2002	2004	2002	2004
% ETo	80 (81)	D	D	D	D
	60 (63)	ND	ND	D	D
	40 (44)	ND	D	D	D
	20 (30)	ND	ND	ND	D

D = Diferencias estadísticamente significativas entre estaciones ($P < 0,05$).

ND = No existen diferencias.

En 2002, las diferencias en cuanto al contenido en aceite esencial de estas plantas, determinado por destilación, sólo son significativas con

el tratamiento hídrico correspondiente al 80% de la ETo. Los litros por hectárea, sin embargo, resultan significativamente superiores en invierno con los aportes de agua necesarios para compensar el 80, 60 y 40% de la ETo.

El mejor rendimiento en materia seca del 20% en primavera (Tabla III.1–5), unido al descenso en producción de la misma en invierno con este tratamiento (Tabla III.1–2), justifican la no existencia de diferencias significativas al comparar los litros de aceite esencial por hectárea obtenidos en ambas estaciones con el menor aporte hídrico.

Respecto a 2004, los resultados de invierno son en general significativamente superiores a los de primavera, salvo en los porcentajes de aceite obtenidos de las plantas individuales con el 60 y 20% de la ETo, tratamientos con los que se alcanza el mejor rendimiento, en promedio, en la recolección de primavera de dicho año, presentando además unos intervalos de confianza bastante amplios, por lo que los valores alcanzados se pueden solapar en ambas estaciones.

III. 1. 4. EFECTO DEL RIEGO SOBRE LA EVOLUCIÓN DEL CULTIVO.

Examinar el efecto de las sucesivas siegas sobre cada uno de los aspectos que determinan el interés económico de este género, es un factor obligado porque aporta información necesaria sobre la adaptación de estas plantas al cultivo. Por lo que respecta a la biomasa, el aspecto más interesante a examinar es la producción de material vegetal desecado, en tanto que el aceite esencial representa la materia prima más importante de las obtenidas de estas labiadas desde el punto de vista comercial. Estudiar las tendencias de producción a lo largo de los tres años de ensayo es fundamental como referencia para considerar el interés de cada especie para ser cultivada.

Para facilitar la interpretación de la repercusión que las recolecciones tienen sobre la síntesis de estos productos, se ha considerado interesante realizar una representación gráfica de los datos que aparecen en las Tablas III.1–2 a III.1–6, así como III.1–8 y III.1–9, además de las Figuras III.1–2 a III.1–6, con el fin de obtener una mejor visualización de la evolución de la plantación, y efectuar un análisis de la influencia de cada uno de los cuatro tratamientos de riego, de forma independiente, sobre la producción de fitomasa y aceite esencial a lo largo del tiempo. Con ello se pretende confirmar la idoneidad de determinados tratamientos sobre otros.

Se debe señalar que en los resultados de cada año, además del número de cortes que puedan haber sufrido las plantas, influye de manera importante la climatología. Sin embargo, es posible determinar tendencias, bastante claras en algunos casos, que pueden aportar una información básica sobre la evolución de la plantación en función del aporte hídrico recibido.

III. 1. 4. 1. Invierno.

Observando la gráfica correspondiente al material desecado (Figura III.1–7a) se puede determinar el claro comportamiento que presenta *Th. hyemalis* ante el efecto combinado del aporte hídrico y las repetidas siegas: a medida que se suceden las recolecciones, y a pesar del descenso en el número de plantas viables, se origina un aumento en los promedios de producción de materia seca de 2002 a 2004 en los tratamientos correspondientes al 20 y 40% de la ETo, ocurriendo lo contrario con los de mayor aporte hídrico.

La prueba ANOVA aplicada a cada tratamiento por separado concluye que las diferencias entre los tres años no son significativas con los riegos equivalentes al 80, 60 y 40% de la ETo, pero sí son sustancialmente diferentes los resultados obtenidos con el 20%, ya que el

análisis estadístico interpreta la producción del año 2004 con este aporte de agua como significativamente superior a las de 2002 y 2003, que formarían un grupo homogéneo.

Centrándonos en el 40 y especialmente en el 20% de la ETo, el aumento en la producción que se observa con el tiempo se debe a que, si bien el número de plantas vivas por subparcela desciende a lo largo de los tres años de estudio, cabe pensar que las plantas supervivientes se adaptan bien a este bajo aporte hídrico y, al tener menos competencia por los recursos, pueden alcanzar mayor tamaño respecto a años anteriores, por lo que se produciría ese aumento de fitomasa.

Respecto a la producción de hoja seca por hectárea (Figura III.1–7b), los análisis estadísticos determinan los mismos resultados anteriores: no hay diferencias con el 80, 60 ni 40% de la ETo entre los tres años, pero sí las hay con el 20%, tratamiento que, según el test de Fisher, presenta un rendimiento en hoja significativamente superior en 2004.

Acerca del cambio de tendencia advertido entre 2002 y 2003 respecto a la figura que refleja la evolución del material desecado, se debe considerar que el porcentaje de hoja seca alcanzado en el segundo año de ensayo, como se aprecia en la Tabla III.1–3, es más bajo que el conseguido en 2002 y 2004 (Tablas III.1–2 y III.1–4) con todos los tratamientos hídricos. Esto justifica la producción más baja de esta materia prima en 2003, si la comparamos con el rendimiento en materia seca.

Para estudiar el aceite esencial, analizaremos en primer lugar el rendimiento en aceite obtenido por destilación, directamente de las plantas recolectadas (Figura III.1–7c).

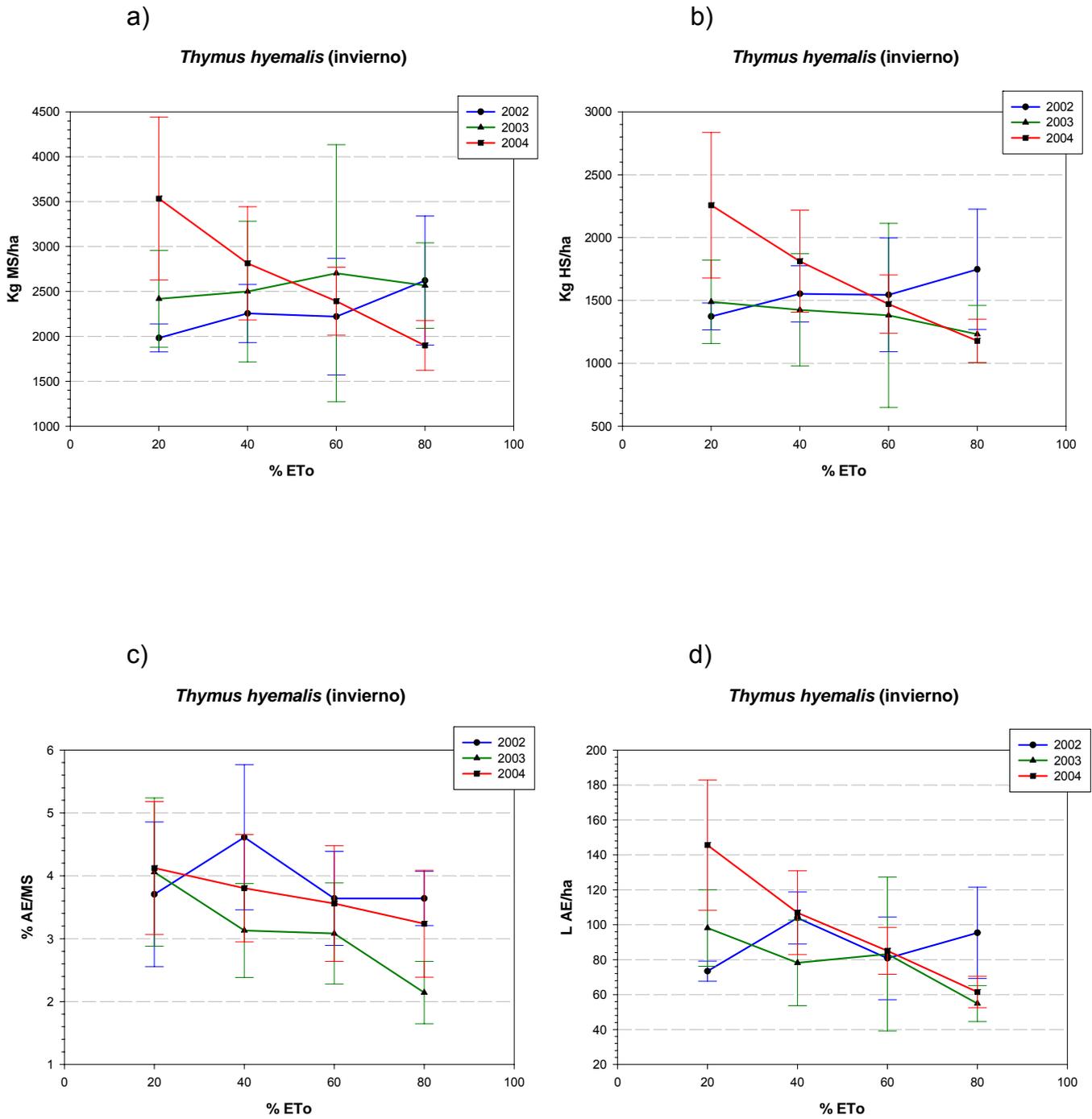


Fig. III.1-7. Evolución de la producción de materias primas, en la recolección de invierno, durante los tres años de ensayo.

Realizada la prueba ANOVA a los datos de cada tratamiento por separado, se determina que no existen diferencias significativas entre los tres años con los riegos equivalentes al 60 y al 20% de la ETo, con un nivel de significación del 5%. Sí las hay, sin embargo, cuando se analizan los valores alcanzados con el 80 y 40%. Con ambos aportes hídricos, los resultados de 2003 son significativamente inferiores a los de 2002 y 2004, que no presentan diferencias entre sí.

Por otra parte, si nos centramos en el aporte hídrico más bajo (20%), se observa que el rendimiento obtenido es bastante similar en los tres años, con un ligero aumento del promedio de 2002 a 2004 aunque, como se ha dicho, sin significación estadística. En el resto de tratamientos, los promedios de 2002 son mejores que los de los años siguientes, siendo más parecidos a los de 2004, probablemente por las condiciones climáticas un tanto atípicas de 2003.

Al contemplar la evolución de los litros de aceite producidos por hectárea (Figura III.1–7d), es posible advertir que, al igual que ocurría con el rendimiento de las plantas individuales, en el caso del riego equivalente al 20% de la ETo la producción aumenta de un año a otro, revelando además el análisis estadístico de los datos que con este mínimo aporte hídrico existen diferencias significativas entre los tres años, ya que la productividad alcanzada en 2004 es significativamente superior a las de 2002 y 2003, análogamente a lo que sucede con la generación de materia seca. Por el contrario, con el 80% de la ETo la cantidad de aceite conseguida en 2002 es significativamente más elevada que las de 2003 y 2004, debido a que en dicho tratamiento se suman la menor producción de materia seca de 2004 respecto a los otros dos años, y el bajo rendimiento obtenido por destilación en 2003 (2,1% en promedio frente a 3,6% de 2002 y 3,2% de 2004), determinando ambos factores el descenso en cuanto a litros de aceite por hectárea alcanzados los dos últimos años.

Los tratamientos intermedios tendrían un efecto similar a lo largo de las tres recolecciones.

Analizando todo lo expuesto, es un hecho que, con el transcurso del tiempo, *Th. hyemalis* se adapta mejor a condiciones de cultivo que impliquen un escaso aporte de agua, siendo perjudicial para la planta someterla a un riego abundante. Esta tendencia es especialmente perceptible en 2004.

Por otra parte, a la vista de estos resultados, cabe plantearse la modificación del marco inicial de plantación, ya que tanto en lo referente a producción en fresco como en seco, los mejores rendimientos se consiguen con el riego equivalente al 20% de la ETo en 2004, superando a los de años anteriores, con mayor número de plantas. Considerando que el número inicial de plantas es de 140 por subparcela, y que las marras correspondientes a dicho tratamiento en ese año alcanzan el 42%, los individuos que han persistido en las correspondientes subparcelas rondarían un promedio de 82, cantidad que sería suficiente para un buen rendimiento de la plantación, y que, extrapolarlo a hectáreas, proporciona una densidad de plantas de aproximadamente 53.000/ha, sensiblemente inferior a las 89.400 propuestas originalmente en el ensayo. Esto es muy importante, ya que con un número inferior de plantas, disminuyen los costes iniciales del cultivo, y se facilitan las labores agrícolas, sin que exista, como se ha comprobado, ninguna merma en la producción. Pero es también importante señalar que esto sólo sería posible partiendo de plantas seleccionadas, resistentes a las siegas, como las que subsisten en 2004.

III. 1. 4. 2. Primavera.

La evolución que presentan estas plantas en los tres años de estudio en lo referente a las recolecciones de primavera ofrece unos resultados distintos a los encontrados en invierno (Figura III.1–8).

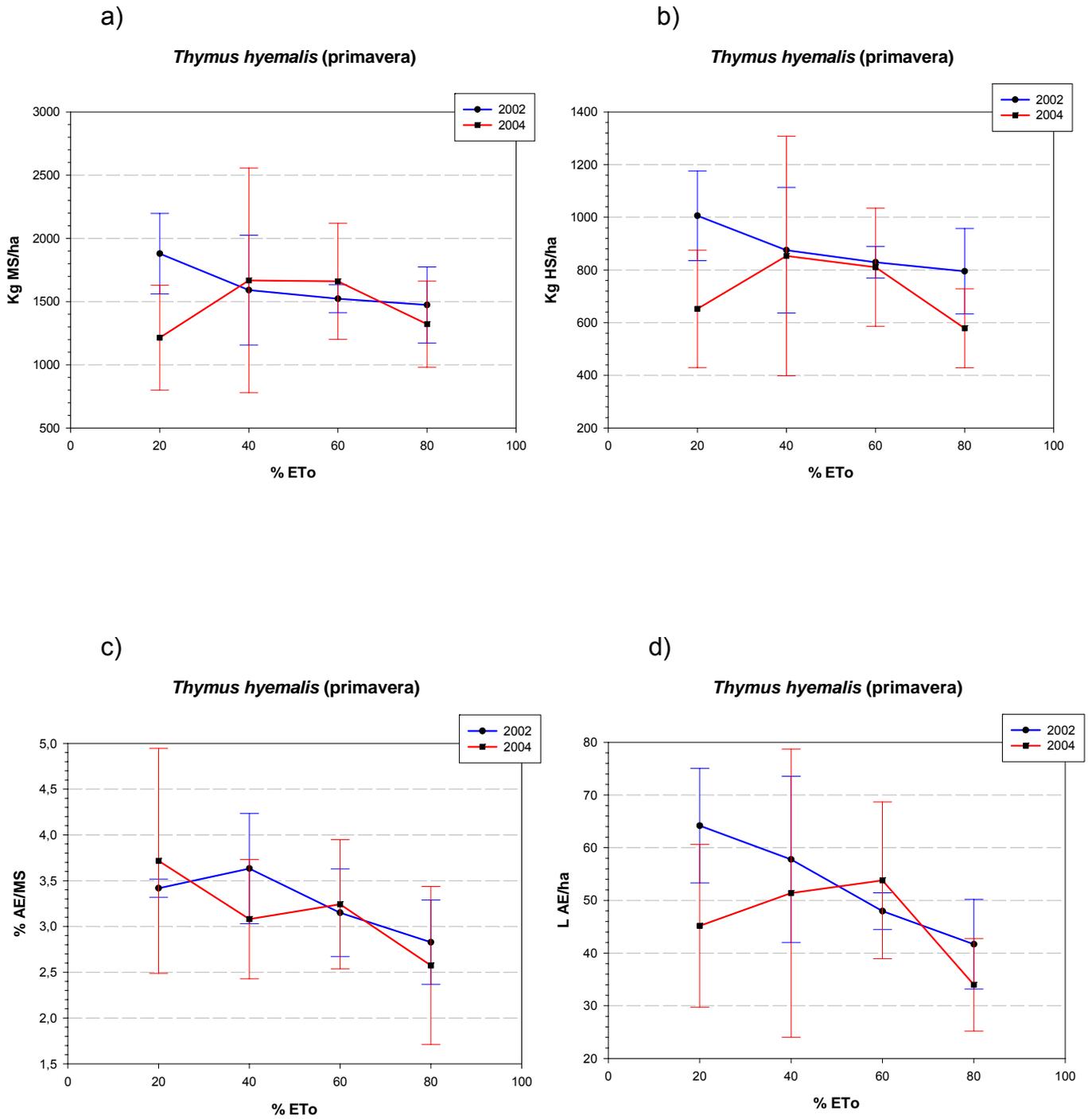


Fig. III.1–8. Evolución de la producción de materias primas, en la recolección de primavera, durante los dos años considerados.

Acerca de la producción de materia seca (Figura III.1–8a), la prueba ANOVA detecta diferencias con el aporte hídrico más bajo (20% ETo), significativamente superior en 2002 respecto a 2004, al contrario de lo que ocurre en la primera recolección anual. El resto de tratamientos afecta de la misma forma los dos años también en primavera.

Las diferencias encontradas en el caso del riego más escaso se pueden explicar, por una parte, por el menor porcentaje de materia seca obtenido a partir del tomillo fresco en 2004 respecto a 2002, en tanto que con el resto de tratamientos aumenta dicho porcentaje. Pero, por otra parte, es igualmente posible que en primavera la productividad se vea afectada por el descenso en el número de plantas viables que se aprecia año tras año, las cuales, con el 20% de la ETo, pasan de un promedio de 113 en 2002 a 82 en 2004 y, al no alcanzar las plantas un gran tamaño en la segunda recolección anual, no es posible compensar la producción como ocurre en invierno.

Por lo que respecta a la hoja seca (Figura III.1–8b), los rendimientos conseguidos en 2002 y 2004 también difieren de forma significativa únicamente con el 20% de la ETo.

En cuanto al aceite esencial, el análisis estadístico del contenido en esta sustancia entre las plantas recolectadas en primavera (Figura III.1–8c), no aprecia diferencias significativas al comparar los valores obtenidos con cada tratamiento en 2002 y 2004.

Finalmente, extrapolando a litros de aceite esencial por hectárea (Figura III.1–8d), tampoco se aprecian diferencias al comparar los datos de los dos años en ningún caso. La tendencia de ambos años es similar a la encontrada en la producción de materia seca, aunque se observa que con el 40% de la ETo los litros de aceite esencial alcanzados, en promedio, son ligeramente inferiores en 2004 respecto a 2002, al contrario de lo que sucedía con el producto desecado. Esto se debe a que, en la primavera de 2004, el contenido medio en aceite esencial de

las plantas regadas con este tratamiento es de los más bajos (Figura III.1–6), y al aplicar ese porcentaje a los kilos de materia seca, se reduce ligeramente la producción por hectárea de estos aceites respecto al primer año de ensayo.

También se puede comentar la evolución advertida con el 20% ETo, riego con el que el rendimiento conseguido al destilar, el más elevado en promedio en la segunda cosecha de 2004, atenúa las diferencias que encontrábamos entre los dos años con el mencionado tratamiento al analizar la producción de material desecado, de forma que en lo referente a litros de aceite por hectárea, tales diferencias no son significativas.

A la vista de estos datos, aunque con las oportunas reservas, dado que faltan los datos de 2003, podemos confirmar que a medida que se suceden las cosechas, la segunda recolección de *Th. hyemalis* se ve favorecida si el riego aportado al cultivo se eleva respecto al invierno, siendo el 40% de la ETo el suplemento hídrico más aconsejable. Los extremos, tanto por defecto como por exceso de agua, perjudican a la producción de esta planta en primavera.

III. 1. 5. PERFIL CROMATOGRÁFICO DEL ACEITE ESENCIAL.

Las propiedades beneficiosas que muestran estos aceites se fundamentan en su composición química, siendo por lo tanto este dato el más importante a la hora de valorar económicamente estas sustancias.

Actualmente, de los distintos constituyentes presentes en los aceites esenciales, son los compuestos fenólicos los más cotizados por las diferentes industrias que utilizan estas sustancias como materia prima, especialmente timol y carvacrol, ya que tales constituyentes han demostrado ser los más activos en la mayor parte de los ensayos realizados.

Es precisamente en la composición de estos aceites donde se hace más patente la gran variabilidad intraespecífica que presentan estas labiadas. La constatación de este hecho en las recolecciones de 2002 y 2003 nos llevó a duplicar el número de muestras analizadas en 2004, con el fin de plantear un estudio en profundidad de los distintos perfiles volátiles que se pueden encontrar en estas plantas. Se debe señalar que estas variaciones son siempre cuantitativas, ya que en general, los aceites esenciales de las plantas de este género son cualitativamente muy semejantes, siendo las cantidades relativas de los constituyentes lo que determina su calidad.

De esta forma, este apartado se va a abordar considerando por una parte las recolecciones de 2002 y 2003, con cuyos datos se analiza el efecto de las distintas condiciones hídricas sobre la calidad de los aceites; y por otra parte se exponen resultados de 2004, recolección en la que se estudia la variación en las proporciones relativas de los componentes del aceite entre las distintas plantas.

Las muestras de aceite esencial extraído de las plantas recolectadas son analizadas mediante Cromatografía de Gases y Espectrometría de Masas, proporcionando los datos que se exponen en las diferentes tablas presentadas en este apartado. Tales tablas se realizan comparando, con la prueba ANOVA, los resultados obtenidos con los cuatro tratamientos hídricos. Si con dicha prueba se concluye que recibir más o menos cantidad de agua afecta al perfil volátil de estos aceites, se realiza el Test de Fisher para determinar, en cada caso, aquellos tratamientos que resultan significativamente diferentes de los demás.

III. 1. 5. 1. Efecto del riego sobre la composición química del aceite esencial.

En *Th. hyemalis*, arbusto endémico del Sudeste Ibérico, la variabilidad intraespecífica es particularmente notoria, ya que esta planta

ha resultado ser la más compleja desde el punto de vista químico de las incluidas en esta Memoria. Esta variación comporta la existencia de diferentes quimiotipos dentro de la especie. Es oportuno recordar aquí el concepto de quimotaxonomía, clasificación de las plantas en función de la composición química de sus aceites esenciales, de forma que los componentes más abundantes de cada aceite determinan los distintos taxones químicos o quimiotipos.

Por lo que se refiere al presente ensayo, los análisis cromatográficos realizados al aceite esencial de *Th. hyemalis* han establecido un quimiotipo fenólico, con el timol como principal componente, para una proporción mayoritaria de las plantas analizadas.

Esto coincide con lo encontrado por Sáez (1995b) en su publicación sobre esta especie, en la cual afirma que el quimiotipo timol es el más representado en las formaciones vegetales en las que *Th. hyemalis* es predominante, y no existen interacciones con otras especies. Igualmente, Jiménez *et al.* (1989) determinan el carácter claramente fenólico de esta planta en un estudio llevado a cabo en cinco localizaciones de la provincia de Almería. Por su parte, Stahl-Biskup (1991), en su revisión sobre la composición química de los aceites esenciales en el género *Thymus*, incluye también a esta especie entre aquellas que contienen fenoles. Sin embargo, Cabo *et al.* (1987), encuentran 1,8-cineol como componente más importante en plantas recolectadas en la Sierra de Alfacar (Granada), apareciendo los fenoles en concentraciones inferiores al 3% en la mayoría de los análisis practicados, por lo que en este trabajo se clasifica a *Th. hyemalis* como tomillo “no fenólico”.

Dada la presencia dominante de timol en esta labiada, el estudio de la repercusión de los distintos niveles de riego sobre la composición química de su aceite esencial se lleva a cabo únicamente sobre este quimiotipo, descartándose para la realización de las correspondientes

tablas, tanto en 2002 como en 2003, aquellas plantas cuyo análisis cromatográfico determina un quimiotipo distinto.

El examen del perfil volátil de esta especie ha permitido la identificación de un total de 105 componentes, incluyendo 31 hidrocarburos terpénicos, 25 alcoholes, 14 aldehídos, 13 cetonas, 12 ésteres, seis fenoles, tres epóxidos y un éter, los cuales suponen aproximadamente el 97,3% de los constituyentes detectados por el cromatógrafo.

De ellos, 64 son descritos por primera vez en esta variedad de tomillo, incluyendo:

- *Hidrocarburos terpénicos*: m-xileno, triciclono, verbeneno, α -copaeno, α -gurjeneno, calereno, α -humuleno, elemeno, β -selineno, valenceno, α -muuroleno, γ -cadineno, δ -cadineno.
- *Alcoholes*: butanol, 3-metil-3-buten-1-ol, 3-penten-2-ol, 3-metil-2-buten-1-ol, (*Z*)-3-hexen-1-ol, (*E*)-2-hexen-1-ol, hexanol, 1-octen-3-ol, 3-octanol, (*Z*)-hidrato de sabineno, (*E*)-pinocarveol, (*E*)-verbenol, isoborneol, p-cimen-8-ol, carveol, nerol.
- *Aldehídos*: (*E*)-2-butenal, pentanal, hexanal, furfural, (*E*)-2-hexenal, heptanal, benzaldehído, nonanal, decanal, perialdehído.
- *Cetonas*: 3-hexanona, 3-heptanona, 3-octanona, β -tujona, pinocarvona, dihidrocarvona, carvona, timoquinona, (*Z*)-jasmona, α -ionona, β -ionona.
- *Ésteres*: acetato de etilo, butirato de metilo, butirato de etilo, acetato de bencilo, caprilato de etilo, acetato de timilo, acetato de nerilo, caprilato de butilo.
- *Fenoles*: éter metílico de timol, éter metílico de carvacrol, eugenol, (*E*)-isoeugenol.
- *Epóxidos*: (*Z*)-óxido de linalol, (*E*)-óxido de linalol.

Muchos de estos compuestos han sido identificados en otras especies del género *Thymus*, como *Th. vulgaris*, *Th. zygis*, *Th. pulegioides*, *Th. serpyllum*, *Th. satureioides*, *Th. praecox*, *Th. broussonetii*, *Th. maroccanus*, *Th. pallidus*, *Th. granatensis*, *Th. orospedanus*, *Th. chamaedris*, *Th. carnosus*, *Th. serpyllum*, *Th. quinquecostatus*, *Th. funkii*, *Th. aestivus*, *Th. baeticus*, *Th. camphoratus*, y *Th. sibthorpii* (Nijssen *et al.*, 1996).

Para presentar los resultados obtenidos con los diferentes suplementos hídricos, expondremos en primer lugar los resultados de los análisis efectuados a las plantas recolectadas en invierno de 2002 (primer año de ensayo); posteriormente, los datos de primavera de ese mismo año; y por último, la composición obtenida en 2003.

III. 1. 5. 1. 1. Invierno 2002.

Al examinar los datos debe tenerse en cuenta la gran variabilidad química presente en estas plantas, capaz de enmascarar en muchos casos el efecto que el riego diferenciado pueda tener sobre las concentraciones relativas de los constituyentes del aceite.

La Tabla III.1–11 muestra el perfil volátil de las plantas analizadas en invierno de 2002. Los componentes en los que los análisis estadísticos han detectado diferencias significativas en sus concentraciones relativas en función del riego recibido son: α -tujeno, mirceno, α -felandreno, Δ_3 -careno, γ -terpineno, α -gurjeneno, aloaromadendreno, elemeno, valenceno, α -muuroleno, γ -cadineno, δ -cadineno, butanol, hexanol, m-xileno, linalol, isoborneol, p-cimen-8-ol, α -terpineol, carveol, nerol, citronelol, geraniol, acetato de linalilo, espatulenol, (*E*)-2-hexenal, heptanal, nonanal, mirtenal, dihidrocarvona, decanal, cuminaldehído, neral, carvona, 3-octanona, alcanfor, pinocarvona, verbenona, (*Z*)-jasmona, β -ionona, acetato de bencilo, caprilato de etilo, acetato de terpenilo, acetato de timilo, timol, carvacrol y (*Z*)-óxido de linalol.

El componente mayoritario es timol, con altos niveles de los precursores p-cimeno y γ -terpineno. Recordemos que la secuencia que acaba en la síntesis de timol o su isómero carvacrol es:



Las concentraciones de ambos terpenos no cambian de acuerdo con las variaciones de sus correspondientes productos fenólicos, lo cual puede ser atribuido a la mencionada variabilidad intraespecífica (Sáez, 1995b). Según este autor, la presencia en cantidades importantes de componentes como cineol, borneol o α -pineno se debe a interacciones con otras especies de tomillo, como *Th. vulgaris* o *Th. baeticus*.

Con relación a los hidrocarburos terpénicos, los que se han identificado en mayor concentración, además de p-cimeno y γ -terpineno, son α -tujeno, α -pineno, canfeno, α -terpineno, limoneno, (*E*)-cariofileno, mirceno y valenceno.

El comportamiento de los terpenos en base al aporte hídrico no es igual en todos los casos. La síntesis de algunos de ellos parece verse perjudicada con un riego mínimo, como ocurre con Δ_3 -careno, que presenta un porcentaje significativamente inferior cuando la planta recibe el agua equivalente al 20% de la ETo, afectándole por igual el resto de tratamientos. Otro componente, el α -tujeno, muestra diferencias significativas entre el aporte hídrico más alto y el más bajo, alcanzando su máximo porcentaje con el 80% de la ETo. En el caso de mirceno y α -felandreno, tanto el riego más elevado como el más escaso originan un descenso en su concentración relativa, viéndose ésta favorecida con los aportes intermedios (60 y 40% de la ETo). El precursor γ -terpineno ofrece su mejor resultado con el 20% de la ETo, significativamente superior a los restantes suplementos hídricos. El p-cimeno, sin embargo, no presenta diferencias significativas en sus porcentajes, aunque el peor resultado, en promedio, se obtiene con el riego correspondiente al 20% de la ETo.

Tabla III.1–11. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, en función del aporte hídrico (Invierno 2002).

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Hidrocarburos terpénicos					
Triciclono*	931	0,03 ± 0,03	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,04
α-Tujeno*	940	1,34 ± 0,58 ^a	0,95 ± 0,06 ^{ab}	0,96 ± 0,13 ^{ab}	0,58 ± 0,06 ^b
α-Pineno	949	0,58 ± 0,37	0,84 ± 0,96	1,32 ± 0,70	1,68 ± 1,53
Canfeno	969	1,11 ± 1,08	0,44 ± 0,17	0,50 ± 0,66	1,26 ± 1,34
Verbeneno*	976	0,05 ± 0,00	0,04 ± 0,01	0,06 ± 0,02	0,06 ± 0,02
Sabineno	1001	0,22 ± 0,21	0,18 ± 0,14	0,23 ± 0,24	0,30 ± 0,29
β-Pineno	1007	0,24 ± 0,22	0,30 ± 0,15	0,16 ± 0,11	0,22 ± 0,23
Mirceno	1026	0,75 ± 0,30 ^a	0,90 ± 0,05 ^{ab}	0,95 ± 0,16 ^b	0,74 ± 0,07 ^a
α-Felandreno	1042	0,15 ± 0,01 ^a	0,19 ± 0,02 ^b	0,19 ± 0,03 ^b	0,15 ± 0,03 ^a
Δ ₃ -Careno	1048	0,06 ± 0,01 ^a	0,07 ± 0,01 ^a	0,06 ± 0,00 ^a	0,05 ± 0,01 ^b
α-Terpineno	1058	1,28 ± 0,01	1,83 ± 0,49	2,00 ± 0,69	1,55 ± 0,65
p-Cimeno	1068	26,67 ± 11,20	24,29 ± 2,76	25,41 ± 5,06	22,28 ± 6,40
Limoneno	1073	0,87 ± 0,10	0,85 ± 0,29	1,35 ± 0,42	1,28 ± 0,69
(Z)-β-Ocimeno	1086	0,02 ± 0,02	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,05	0,02 ± 0,02
(E)-β-Ocimeno*	1097	0,21 ± 0,22	0,04 ± 0,03	0,44 ± 0,73	0,06 ± 0,03
γ-Terpineno	1109	10,81 ± 1,78 ^a	13,38 ± 2,32 ^a	12,85 ± 3,87 ^a	17,58 ± 4,59 ^b
Terpinoleno + (E)-Óxido de linalol	1141	0,21 ± 0,01	0,29 ± 0,21	0,25 ± 0,19	0,35 ± 0,25
α-Copaeno	1378	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,00
α-Gurjeneno*	1408	0,02 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,03 ± 0,01 ^b
(E)-Cariofileno	1419	0,80 ± 0,23	1,23 ± 0,45	1,08 ± 0,74	1,00 ± 0,51
Calereno	1432	tr	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01
Aromadendreno	1440	0,06 ± 0,05	0,06 ± 0,02	0,05 ± 0,03	0,05 ± 0,06
α-Humuleno	1457	0,05 ± 0,02	0,08 ± 0,05	0,06 ± 0,02	0,13 ± 0,14
Aloaromadendreno	1465	0,09 ± 0,01 ^a	0,08 ± 0,03 ^a	0,08 ± 0,04 ^a	0,19 ± 0,08 ^b
Elemeno*	1481	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,01 ^b
β-Selineno*	1485	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01
Valenceno	1510	0,37 ± 0,03 ^a	0,27 ± 0,14 ^a	0,44 ± 0,15 ^a	0,76 ± 0,43 ^b
α-Muuroleno*	1516	0,02 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,03 ^b
γ-Cadineno*	1537	0,04 ± 0,02 ^a	0,05 ± 0,04 ^a	0,07 ± 0,02 ^{ab}	0,09 ± 0,04 ^b
δ-Cadineno	1553	0,09 ± 0,04 ^a	0,08 ± 0,05 ^a	0,13 ± 0,04 ^{ab}	0,20 ± 0,10 ^b
Alcoholes					
Butanol	742	0,01 ± 0,01 ^a	tr ^{ab}	0,01 ± 0,00 ^{ab}	tr ^b
3-Metil-3-buten-1-ol	766	tr	tr	tr	tr
3-penten-2-ol*	784	tr	tr	tr	tr
3-metil-2-buten-1-ol*	789	tr	tr	tr	tr
(Z)-3-Hexen-1-ol	852	tr	tr	tr	tr
(E)-2-Hexen-1-ol	865	tr	tr	tr	tr
Hexanol + m-Xileno	867	0,02 ± 0,01 ^a	0,03 ± 0,02 ^a	0,01 ± 0,00 ^b	0,01 ± 0,00 ^b
1-Octen-3-ol	1009	0,26 ± 0,05	0,18 ± 0,13	0,27 ± 0,16	0,18 ± 0,07
3-Octanol	1031	0,11 ± 0,06	0,07 ± 0,06	0,04 ± 0,03	0,18 ± 0,18

Tabla III.1-11 (continuación)

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Alcoholes (continuación)					
(E)-Hidrato de sabineno	1116	0,62 ± 0,15	1,39 ± 1,28	2,00 ± 2,83	1,78 ± 2,43
(Z)-Hidrato de sabineno*	1151	0,17 ± 0,05	1,74 ± 2,48	0,29 ± 0,22	0,48 ± 0,58
Linalol	1152	2,19 ± 0,04 ^a	1,54 ± 1,16 ^a	0,89 ± 0,56 ^a	8,63 ± 8,22 ^b
(E)-Pinocarveol	1186	0,16 ± 0,05	0,20 ± 0,02	0,18 ± 0,05	0,20 ± 0,07
(Z)-Verbenol	1189	0,29 ± 0,02	0,38 ± 0,22	0,56 ± 0,15	0,38 ± 0,24
(E)-Verbenol*	1197	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,05 ± 0,02
Isoborneol	1203	0,01 ± 0,00 ^a	tr ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,00 ^b
Borneol	1211	3,35 ± 2,95	0,38 ± 0,38	1,46 ± 2,21	4,17 ± 3,67
Terpinen-4-ol	1220	0,47 ± 0,15	1,48 ± 1,59	1,52 ± 1,75	2,31 ± 3,49
p-Cimen-8-ol	1227	0,15 ± 0,02 ^a	0,29 ± 0,06 ^b	0,22 ± 0,06 ^c	0,24 ± 0,05 ^{bc}
α-Terpineol	1231	4,71 ± 5,18 ^a	0,57 ± 0,26 ^b	0,59 ± 0,35 ^b	0,69 ± 0,52 ^b
Carveol	1252	tr ^a	0,01 ± 0,01 ^a	0,04 ± 0,03 ^b	0,06 ± 0,01 ^b
Nerol + Citronelol	1260	0,02 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,00 ^a	0,04 ± 0,01 ^b
Geraniol + Acetato de linalilo	1281	tr ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,02 ^b
Espatulenol	1640	0,24 ± 0,09 ^a	0,28 ± 0,07 ^a	0,32 ± 0,10 ^a	0,46 ± 0,12 ^b
Aldehídos					
(E)-2-Butenal*	735	tr	tr	tr	tr
Pentanal	754	tr	tr	tr	tr
Hexanal + Butirato de etilo	802	0,01 ± 0,00	tr	tr	tr
Furfural	832	tr	tr	tr	tr
(E)-2-Hexenal	849	0,01 ± 0,00 ^{ab}	0,01 ± 0,00 ^{ab}	0,01 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,01 ^b
Heptanal	904	tr ^{ab}	0,01 ± 0,01 ^a	tr ^b	tr ^b
Benzaldehído	987	0,01 ± 0,00	tr	tr	tr
Nonanal	1157	0,03 ± 0,00 ^a	0,04 ± 0,02 ^{ab}	0,08 ± 0,04 ^{bc}	0,09 ± 0,04 ^c
Mirtenal + Dihidrocarvona	1235	0,09 ± 0,05 ^a	0,10 ± 0,05 ^a	0,13 ± 0,02 ^a	0,21 ± 0,10 ^b
Decanal	1243	0,04 ± 0,02 ^a	0,04 ± 0,02 ^a	0,14 ± 0,08 ^b	0,16 ± 0,06 ^b
Cuminaldehído	1268	0,04 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,04 ± 0,02 ^a	0,13 ± 0,09 ^b
Neral + Carvona	1270	tr ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,15 ± 0,13 ^b	0,04 ± 0,02 ^a
Geranial + Perialdehído	1292	0,05 ± 0,03	0,07 ± 0,06	0,15 ± 0,14	0,08 ± 0,02
Cetonas					
3-Hexanona	795	tr	tr	tr	tr
3-Heptanona*	888	tr	tr	tr	tr
3-Octanona	1019	0,19 ± 0,02 ^a	0,03 ± 0,03 ^b	0,09 ± 0,03 ^c	0,08 ± 0,02 ^c
β-Tujona	1158	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,02	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,02
Alcanfor	1193	0,59 ± 0,29 ^a	0,81 ± 0,24 ^{ab}	0,92 ± 0,19 ^{bc}	1,18 ± 0,29 ^c
Pinocarvona*	1208	0,02 ± 0,02 ^{ab}	0,02 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,03 ^b
Verbenona	1245	2,22 ± 0,56 ^{ab}	1,52 ± 1,01 ^a	4,01 ± 1,83 ^c	3,13 ± 1,22 ^{bc}
Timoquinona	1276	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,02
(Z)-Jasmona	1399	tr ^a	tr ^a	0,01 ± 0,00 ^{ab}	0,01 ± 0,00 ^b
α-Ionona	1428	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01
β-Ionona	1497	0,01 ± 0,00 ^a	tr ^a	tr ^a	0,03 ± 0,02 ^b

Tabla III.1–11 (continuación)

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Ésteres					
Acetato de etilo	732	tr	tr	tr	tr
Butirato de metilo	763	tr	tr	tr	tr
Acetato de bencilo	1214	0,15 ± 0,05 ^a	0,05 ± 0,01 ^b	0,05 ± 0,01 ^b	0,04 ± 0,01 ^b
Caprilato de etilo	1239	0,03 ± 0,00 ^a	0,03 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,01 ^b	0,04 ± 0,02 ^{ab}
Acetato de bornilo	1302	0,15 ± 0,08	0,13 ± 0,08	0,09 ± 0,05	0,65 ± 0,85
Acetato de terpenilo	1353	tr ^a	tr ^a	0,03 ± 0,03 ^b	tr ^a
Acetato de timilo*	1356	0,19 ± 0,20 ^a	0,04 ± 0,04 ^{bc}	0,03 ± 0,02 ^b	0,14 ± 0,10 ^{ac}
Acetato de nerilo	1366	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01
Acetato de geranilo	1385	0,02 ± 0,02	0,07 ± 0,10	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,00
Caprilato de butilo	1388	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01
Fenoles					
Éter metílico de timol	1265	0,06 ± 0,00	0,38 ± 0,43	0,13 ± 0,15	0,87 ± 1,58
Éter metílico de carvacrol	1272	0,70 ± 0,01	0,07 ± 0,08	0,44 ± 0,57	0,30 ± 0,41
Timol	1308	29,55 ± 3,99 ^a	31,20 ± 2,08 ^a	25,92 ± 4,07 ^a	19,21 ± 4,23 ^b
Carvacrol	1314	1,57 ± 0,16 ^{ab}	1,74 ± 0,18 ^a	1,29 ± 0,38 ^{ab}	1,13 ± 0,39 ^b
Eugenol	1358	0,02 ± 0,00	0,04 ± 0,04	0,08 ± 0,12	0,01 ± 0,00
(E)-Isoeugenol	1453	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,02
Epóxidos					
(Z)-Óxido de linalol	1123	0,02 ± 0,01 ^{ab}	0,01 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,04 ± 0,03 ^b
Óxido de cariofileno	1650	0,19 ± 0,01	0,23 ± 0,06	0,24 ± 0,14	0,34 ± 0,16
Éter					
1,8-Cineol	1076	2,32 ± 2,64	3,30 ± 2,86	1,26 ± 2,29	1,89 ± 3,46

^{a,b,c} Valores con distinto superíndice en la misma línea presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$).

± Desviación estándar.

* Identificación tentativa.

I. R. Índices de Kovats (HP-5).

tr = trazas (< 0,01%).

El m-xileno, que eluye con el hexanol, muestra su mejor rendimiento con las cantidades más altas de agua. El resto de hidrocarburos terpénicos cuya síntesis se ve afectada por el riego en esta recolección (α -gurjeneno, aloaromadendreno, elemeno, valenceno, α -muuroleno, γ -cadineno y δ -cadineno), alcanzan sus máximas concentraciones con el aporte hídrico más bajo.

En cuanto a los alcoholes, los más abundantes en esta especie de tomillo son (*E*) y (*Z*)-hidrato de sabineno, linalol, borneol, terpinen-4-ol y α -terpineol. En este grupo químico, 11 componentes se ven afectados por el riego diferenciado (butanol, hexanol, linalol, isoborneol, *p*-cimen-8-ol, α -terpineol, carveol, nerol, citronelol, geraniol y espatulenol). El butanol se encuentra en baja concentración, y alcanza sus mejores porcentajes con el tratamiento correspondiente al 80% de la ETo, significativamente superior al obtenido con el 20%. El α -terpineol, al igual que el hexanol, se ven favorecidos con el máximo aporte hídrico, aunque este último no parece distinguir entre el 80 y el 60% de la ETo. Por el contrario, linalol, isoborneol, carveol, nerol, citronelol, geraniol (integrado junto al acetato de linalilo) y espatulenol mejoran significativamente sus porcentajes con una cantidad de agua mínima. En los aceites esenciales ricos en linalol, uno de los componentes que se determina con mayor intensidad en las pruebas olfatométricas realizadas al aceite extraído de *Th. hyemalis* (Goodner *et al.*, 2006), se ha medido también una importante actividad antirradicalaria (Lax *et al.*, 2007). Por último, *p*-cimen-8-ol presenta su concentración más baja con el agua equivalente al 80% de la ETo, significativamente inferior al resto de tratamientos.

Los aldehídos, por su parte, no son especialmente abundantes en *Th. hyemalis*, encontrándose diferencias significativas en siete casos. Mirtenal y cuminaldehído ven significativamente aumentadas sus proporciones relativas cuando reciben el menor riego, en tanto que nonanal y decanal responden por igual al 40 y 20% de la ETo, con concentraciones significativamente superiores a las obtenidas cuando se les suministra más agua. El heptanal alcanza su mejor porcentaje con el 60% ETo, en tanto que el neral presenta un resultado significativamente superior con el 40%. (*E*)-2-hexenal no muestra diferencias entre 80, 60 y 20% de la ETo, siendo el porcentaje obtenido con el 40% significativamente inferior al alcanzado con el 20%. Todo esto nos lleva a pensar que en la presente recolección, la síntesis de estos compuestos se ve favorecida, en general, por bajos aportes hídricos.

Debe tenerse en cuenta que tanto mirtenal como neral se integran junto a dihidrocarvona y carvona respectivamente, y al igual que ocurre con los casos anteriormente mencionados en los que dos componentes distintos comparten el mismo pico cromatográfico, resulta difícil determinar si su comportamiento está motivado por su carácter aldehídico o cetónico.

Respecto a las cetonas, además de en las mencionadas dihidrocarvona y carvona, el análisis estadístico detecta diferencias significativas en seis casos más. Verbenona y alcanfor son los compuestos de este tipo más abundantes en *Th. hyemalis*. El alto contenido en verbenona es característico de esta especie, alcanzando su máxima proporción relativa con el aporte hídrico equivalente al 40% de la ETo, que resulta ser significativamente superior a la conseguida con el 80 y 60%. El 20% parece tener el mismo efecto que el 40 en este caso, al igual que ocurre con el alcanfor, cuyo mejor porcentaje se obtiene con estos dos tratamientos, en tanto que el alcanzado con el 80% de la ETo es significativamente más bajo. El riego equivalente al 60% de la ETo es el menos adecuado en el caso de 3-octanona, componente que mejora su rendimiento con el aporte hídrico más alto. Por el contrario, β -ionona, (Z)-jasmona y pinocarvona incrementan significativamente sus concentraciones relativas con la menor cantidad de agua. La β -ionona, a pesar de encontrarse en baja concentración, presenta una elevada intensidad de aroma (Goodner *et al.*, 2006).

Los ésteres que se presentan en mayor proporción en esta labiada son acetato de bornilo, acetato de timilo y acetato de bencilo. Los distintos niveles de riego producen cambios significativos en cinco de estos componentes. El acetato de linalilo muestra un porcentaje significativamente superior al resto de tratamientos con el aporte hídrico más bajo. Por el contrario, el acetato de bencilo alcanza su mayor concentración con el 80% de la ETo, al igual que el acetato de timilo, aunque este último no presenta diferencias significativas entre el 80 y el

20%, debido probablemente a la elevada desviación estándar detectada en ambos tratamientos. Por último, caprilato de etilo, y especialmente acetato de terpenilo, mejoran significativamente sus porcentajes si se riegan con el agua necesaria para compensar el 40% de la ETo, efecto que en el caso del caprilato de etilo es equiparable al conseguido con el 20%.

El apartado dedicado a los compuestos fenólicos es especialmente importante, teniendo en cuenta que el timol está considerado como el componente definitorio de calidad en estos aceites. Este fenol alcanza su máxima concentración relativa con el 60% de la ETo ($31,2 \pm 2,08\%$), no apreciándose diferencias significativas entre este tratamiento y los correspondientes al 80 y 40%. El aporte hídrico más bajo resulta ser el menos adecuado para la síntesis de este constituyente en invierno de 2002, con un porcentaje de $19,2 \pm 4,23\%$, significativamente inferior al resto. El carvacrol presenta unas proporciones relativas que varían con el riego de forma semejante a lo mencionado con el timol, aunque en este caso las únicas diferencias con significación estadística las encontramos entre el 60 y el 20% de la ETo. Ambos constituyentes muestran propiedades similares, pero el carvacrol suele aparecer en menor proporción en la mayoría de las plantas de esta especie, como quedará de manifiesto en el capítulo dedicado a la variabilidad intraespecífica.

Finalmente, sólo en un epóxido, (*Z*)-óxido de linalol, se aprecian diferencias significativas entre tratamientos, consiguiéndose el mejor resultado con el riego equivalente al 20% de la ETo, al igual que ocurría con el linalol, aunque tal resultado, en el caso del epóxido, no es significativamente superior al conseguido con el 80%.

Mencionar que el único éter identificado en esta labiada, 1,8-cineol, si bien no presenta diferencias significativas entre tratamientos, muestra sus mejores porcentajes con los aportes hídricos más altos, aunque la

variabilidad determina una desviación estándar muy elevada en todos los casos.

En resumen, considerando especialmente la tendencia observada en el timol, y que otros componentes responden igualmente bien con una cantidad de agua no demasiado alta, además del hecho de que numerosos constituyentes no parecen verse afectados por el riego diferenciado, podemos afirmar que en esta recolección un suplemento de agua que compense el 40% de la ETo es suficiente para asegurar una buena calidad en el aceite esencial.

III. 1. 5. 1. 2. Primavera 2002.

El análisis cromatográfico del aceite esencial extraído a las plantas de *Th. hyemalis* recolectadas en primavera (Tabla III.1–12), muestra variaciones con respecto a la recolección de invierno, que en algunos casos son bastante marcadas, no sólo por la presencia de diferencias significativas donde antes no las había y viceversa, sino también por las distintas concentraciones relativas de los componentes en ambas recolecciones.

Los hidrocarburos terpénicos que en primavera muestran diferencias significativas (triciclono, α -pineno, canfeno, verbeneno, sabineno, Δ_3 -careno, terpinoleno, aromadendreno, aloaromadendreno, elemeno, β -selineno, δ -cadineno y m-xileno) no coinciden con los de invierno en muchos casos. Triciclono, canfeno, verbeneno, sabineno y terpinoleno responden mejor en primavera con niveles bajos de agua (40 ó 20% de la ETo), en tanto que en invierno no se muestran sensibles a los diferentes riegos. Otro compuesto, el α -pineno, presenta en la segunda recolección un porcentaje significativamente más bajo cuando a las plantas se les aplica el riego equivalente al 80% de la ETo. No hay diferencias para este terpeno entre el 60, 40 y 20%, tratamientos con los

que eleva sus promedios respecto a invierno. El aromadendreno, por el contrario, disminuye su concentración con todos los tratamientos al cambiar la estación, y el rendimiento alcanzado con el suplemento hídrico más elevado es significativamente superior a los obtenidos con el 40 y 20% de la ETo en primavera. El β -selineno no varía apenas sus porcentajes respecto a invierno, aunque en primavera responde significativamente mejor con el 60% de la ETo, al igual que δ -cadineno, que reduce la cantidad detectada respecto a invierno con los suplementos hídricos más bajos. El elemeno presenta en primavera diferencias al comparar el 80 con el 40 y 20% de la ETo, resultando los menores aportes hídricos significativamente más eficaces. La presencia de Δ_3 -careno en la segunda cosecha se incrementa significativamente con el 80%, en tanto que en invierno le sucede lo propio con el 20%. El m-xileno, en la recolección de mayo, únicamente muestra diferencias significativas entre el 60 y 20% de la ETo, siendo más adecuado el primero; por su parte, el aloaromadendreno aumenta significativamente sus proporciones relativas con el 80%, pero no se aprecian diferencias entre dicho tratamiento y el equivalente al 20% de la ETo, con el que en invierno alcanza su mejor resultado.

De los alcoholes que demuestran distinguir entre riegos en la primavera de 2002, sólo hexanol, isoborneol, p-cimen-8-ol, α -terpineol y espatulenol lo hacen también en invierno. El hexanol, con diferencias significativas entre el 60 y 20% de la ETo en primavera, eleva su concentración con el 40 y 20% respecto a invierno. El isoborneol consigue sus mejores resultados con el 60 y 40% de la ETo, aunque sin diferencias significativas con el 20%. El α -terpineol incrementa significativamente su porcentaje con el 60% de la ETo en la segunda recolección, aunque registra una elevada desviación estándar en muchos casos, lo que demuestra de nuevo la variabilidad presente entre estas plantas. En primavera, espatulenol y p-cimen-8-ol necesitan poca cantidad de agua (20 ó 40% de la ETo) para alcanzar concentraciones óptimas, al igual que en invierno.

Tabla III.1–12. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, en función del aporte hídrico (Primavera 2002).

COMPONENTES	I. R.	% ETO			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Hidrocarburos terpénicos					
Triciclono*	931	0,01 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,03 ± 0,02 ^b	0,01 ± 0,00 ^{ab}
α-Tujeno*	940	1,04 ± 0,22	1,18 ± 0,81	1,30 ± 0,41	0,63 ± 0,04
α-Pineno	949	0,34 ± 0,06 ^a	2,47 ± 2,19 ^b	1,46 ± 0,82 ^{ab}	2,24 ± 1,77 ^b
Canfeno	969	0,35 ± 0,16 ^a	0,29 ± 0,10 ^a	1,06 ± 0,95 ^b	0,35 ± 0,03 ^a
Verbeneno*	976	0,05 ± 0,04 ^{ab}	0,03 ± 0,02 ^a	0,09 ± 0,05 ^b	0,05 ± 0,02 ^{ab}
Sabineno	1001	0,14 ± 0,10 ^a	0,40 ± 0,15 ^b	0,50 ± 0,32 ^b	0,83 ± 0,04 ^c
β-Pineno	1007	0,27 ± 0,15	0,20 ± 0,06	0,30 ± 0,21	0,16 ± 0,02
Mirceno	1026	0,90 ± 0,33	1,27 ± 0,74	1,07 ± 0,37	0,79 ± 0,05
α-Felandreno	1042	0,18 ± 0,03	0,18 ± 0,06	0,17 ± 0,04	0,16 ± 0,01
Δ ₃ -Careno	1048	0,07 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,02 ^b	0,06 ± 0,01 ^b	0,04 ± 0,00 ^b
α-Terpineno	1058	1,33 ± 0,51	1,26 ± 0,47	1,51 ± 0,47	1,70 ± 0,06
p-Cimeno	1068	27,29 ± 7,87	27,62 ± 9,50	28,94 ± 6,35	22,49 ± 0,72
Limoneno	1073	1,61 ± 0,64	1,34 ± 0,46	1,79 ± 0,79	2,18 ± 0,52
(Z)-β-Ocimeno	1086	0,04 ± 0,04	0,11 ± 0,18	0,06 ± 0,07	0,04 ± 0,04
(E)-β-Ocimeno*	1097	0,17 ± 0,21	0,52 ± 0,85	0,38 ± 0,46	0,18 ± 0,17
γ-Terpineno	1109	9,42 ± 4,25	9,24 ± 2,45	10,99 ± 3,89	9,07 ± 0,82
Terpinoleno + (E)-Óxido de linalol	1141	0,20 ± 0,03 ^a	0,35 ± 0,18 ^b	0,38 ± 0,17 ^b	0,54 ± 0,03 ^c
α-Copaeno	1378	tr	0,01 ± 0,00	tr	tr
α-Gurjeneno*	1408	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01
(E)-Cariofileno	1419	0,72 ± 0,23	0,76 ± 0,61	0,88 ± 0,35	0,31 ± 0,10
Calereno	1432	0,01 ± 0,02	tr	0,01 ± 0,01	tr
Aromadendreno	1440	0,04 ± 0,02 ^a	0,03 ± 0,02 ^{ab}	0,02 ± 0,01 ^b	0,01 ± 0,01 ^b
α-Humuleno	1457	0,03 ± 0,01	0,07 ± 0,09	0,05 ± 0,02	0,01 ± 0,00
Aloaromadendreno	1465	0,13 ± 0,05 ^a	0,07 ± 0,02 ^b	0,07 ± 0,01 ^b	0,12 ± 0,03 ^a
Elemeno*	1481	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^{ab}	0,01 ± 0,00 ^b	0,02 ± 0,00 ^b
β-Selineno*	1485	0,01 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,01 ^b	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a
Valenceno	1510	0,27 ± 0,08	0,32 ± 0,17	0,32 ± 0,04	0,41 ± 0,04
α-Muuroleno*	1516	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,02 ± 0,01
γ-Cadineno*	1537	0,05 ± 0,02	0,09 ± 0,03	0,06 ± 0,05	0,05 ± 0,02
δ-Cadineno	1553	0,10 ± 0,02 ^a	0,13 ± 0,02 ^b	0,08 ± 0,04 ^a	0,09 ± 0,03 ^a
Alcoholes					
Butanol	742	tr	tr	tr	tr
3-Metil-3-buten-1-ol	766	tr	tr	tr	tr
3-penten-2-ol*	784	tr	tr	tr	tr
3-metil-2-buten-1-ol*	789	tr	tr	tr	tr
(Z)-3-Hexen-1-ol	852	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
(E)-2-Hexen-1-ol	865	tr	tr	tr	tr
Hexanol + m-Xileno	867	0,02 ± 0,01 ^{ab}	0,03 ± 0,01 ^a	0,03 ± 0,00 ^{ab}	0,02 ± 0,00 ^b
1-Octen-3-ol	1009	0,13 ± 0,12	0,20 ± 0,14	0,13 ± 0,07	0,15 ± 0,05
3-Octanol	1031	0,02 ± 0,02 ^a	0,03 ± 0,03 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,09 ± 0,10 ^b

Tabla III.1–12 (continuación)

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Alcoholes (continuación)					
(E)-Hidrato de sabineno	1116	0,67 ± 0,24 ^a	2,76 ± 2,37 ^{ab}	3,32 ± 3,22 ^b	15,42 ± 0,28 ^c
(Z)-Hidrato de sabineno*	1151	0,17 ± 0,06	4,04 ± 4,24	3,19 ± 4,51	1,05 ± 0,19
Linalol	1152	3,18 ± 2,43	1,87 ± 1,53	1,58 ± 1,28	1,54 ± 0,04
(E)-Pinocarveol	1186	0,25 ± 0,28	0,22 ± 0,02	0,23 ± 0,11	0,20 ± 0,03
(Z)-Verbenol	1189	0,38 ± 0,13 ^a	0,86 ± 0,52 ^b	0,83 ± 0,40 ^b	0,86 ± 0,08 ^b
(E)-Verbenol*	1197	0,04 ± 0,01 ^a	0,03 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,00 ^a	0,06 ± 0,03 ^b
Isoborneol	1203	tr ^a	0,01 ± 0,00 ^b	0,01 ± 0,00 ^b	tr ^{ab}
Borneol	1211	1,09 ± 0,35 ^a	1,23 ± 0,50 ^a	3,84 ± 3,64 ^b	1,33 ± 0,00 ^{ab}
Terpinen-4-ol	1220	0,51 ± 0,14 ^a	1,34 ± 1,04 ^a	3,05 ± 2,67 ^b	4,14 ± 0,18 ^b
p-Cimen-8-ol	1227	0,18 ± 0,04 ^{ab}	0,14 ± 0,11 ^a	0,25 ± 0,04 ^c	0,24 ± 0,05 ^{bc}
α-Terpineol	1231	0,62 ± 0,26 ^a	12,83 ± 13,70 ^b	1,98 ± 2,37 ^a	1,54 ± 0,05 ^a
Carveol	1252	0,04 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,03	0,05 ± 0,02
Nerol + Citronelol	1260	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,02
Geraniol + Acetato de linalilo	1281	0,06 ± 0,05	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01
Espatulanol	1640	0,34 ± 0,06 ^a	0,29 ± 0,11 ^a	0,37 ± 0,09 ^{ab}	0,46 ± 0,08 ^b
Aldehídos					
(E)-2-Butenal*	735	tr	tr	tr	tr
Pentanal	754	tr	tr	tr	tr
Hexanal + Butirato de etilo	802	tr	tr	tr	tr
Furfural	832	tr	tr	tr	tr
(E)-2-Hexenal	849	tr	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
Heptanal	904	tr	tr	tr	tr
Benzaldehído	987	tr	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01
Nonanal	1157	0,04 ± 0,06	0,04 ± 0,02	0,08 ± 0,07	0,11 ± 0,01
Mirtenal + Dihidrocarvona	1235	0,13 ± 0,08	0,12 ± 0,05	0,16 ± 0,09	0,22 ± 0,05
Decanal	1243	0,06 ± 0,04 ^a	0,13 ± 0,17 ^{ab}	0,22 ± 0,15 ^b	0,23 ± 0,06 ^b
Cuminaldehído	1268	0,03 ± 0,02	0,07 ± 0,04	0,05 ± 0,02	0,06 ± 0,02
Neral + Carvona	1270	0,02 ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,02	0,03 ± 0,03
Geranial + Perialdehído	1292	0,19 ± 0,07	0,21 ± 0,02	0,23 ± 0,10	0,13 ± 0,03
Cetonas					
3-Hexanona	795	tr	tr	tr	tr
3-Heptanona*	888	tr	tr	tr	tr
3-Octanona	1019	0,07 ± 0,04	0,04 ± 0,02	0,06 ± 0,06	0,03 ± 0,00
β-Tujona	1158	0,02 ± 0,02	0,03 ± 0,02	0,03 ± 0,04	0,03 ± 0,00
Alcanfor	1193	0,96 ± 0,48 ^a	0,64 ± 0,16 ^a	1,04 ± 0,26 ^{ab}	1,50 ± 0,71 ^b
Pinocarvona*	1208	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,02	0,03 ± 0,03	0,02 ± 0,00
Verbenona	1245	4,33 ± 2,52	2,01 ± 1,37	4,10 ± 2,84	4,45 ± 1,20
Timoquinona	1276	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,03	0,03 ± 0,03	0,04 ± 0,03
(Z)-Jasmona	1399	tr ^a	0,01 ± 0,00 ^{ab}	0,01 ± 0,01 ^b	tr ^a
α-Ionona	1428	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	tr ^b
β-Ionona	1497	0,02 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,01 ^{ab}	tr ^b

Tabla III.1–12 (continuación)

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Ésteres					
Acetato de etilo	732	tr	tr	tr	tr
Butirato de metilo	763	tr	tr	tr	tr
Acetato de bencilo	1214	0,14 ± 0,14	0,10 ± 0,03	0,08 ± 0,02	0,07 ± 0,00
Caprilato de etilo	1239	0,07 ± 0,04	0,04 ± 0,01	0,07 ± 0,04	0,08 ± 0,00
Acetato de bornilo	1302	0,09 ± 0,02	0,10 ± 0,04	0,11 ± 0,01	0,08 ± 0,02
Acetato de terpenilo	1353	tr	0,04 ± 0,05	0,02 ± 0,02	tr
Acetato de timilo*	1356	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01
Acetato de nerilo	1366	0,03 ± 0,02	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,02	tr
Acetato de geranilo	1385	0,03 ± 0,05	0,02 ± 0,02	0,01 ± 0,01	tr
Caprilato de butilo	1388	0,01 ± 0,01 ^{ab}	0,02 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,01 ^{bc}	tr ^c
Fenoles					
Éter metílico de timol	1265	0,53 ± 0,55	0,18 ± 0,31	0,13 ± 0,09	0,48 ± 0,55
Éter metílico de carvacrol	1272	0,28 ± 0,30	0,43 ± 0,35	0,70 ± 0,59	0,07 ± 0,04
Timol	1308	29,20 ± 2,68 ^a	17,15 ± 8,62 ^b	14,46 ± 3,24 ^b	16,55 ± 2,12 ^b
Carvacrol	1314	2,05 ± 0,25 ^a	1,39 ± 0,79 ^b	0,98 ± 0,24 ^b	1,27 ± 0,30 ^b
Eugenol	1358	0,08 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,07 ± 0,06	0,08 ± 0,02
(<i>E</i>)-Isoeugenol	1453	0,03 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,01 ^b	0,02 ± 0,01 ^b	0,02 ± 0,00 ^b
Epóxidos					
(<i>Z</i>)-Óxido de linalol	1123	0,02 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,01 ^{ab}	tr ^b
Óxido de cariofileno	1650	0,25 ± 0,07	0,27 ± 0,12	0,33 ± 0,08	0,19 ± 0,07
Éter					
1,8-Cineol	1076	2,06 ± 2,21	1,41 ± 1,55	1,69 ± 2,04	0,61 ± 0,68

^{a,b,c} Valores con distinto superíndice en la misma línea presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$).

± Desviación estándar.

* Identificación tentativa.

I. R. Índices de Kovats (HP-5).

tr = trazas ($< 0,01\%$).

Por otra parte, alcoholes como 3-octanol, (*E*)-hidrato de sabineno, (*Z*) y (*E*)-verbenol, borneol y terpinen-4-ol, presentan diferencias con significación estadística que no aparecen en invierno. Los dos primeros aumentan significativamente sus proporciones relativas con el nivel de agua más bajo, siendo esto especialmente relevante en el caso del (*E*)-hidrato de sabineno, que incrementa su concentración 23 veces al comparar con el 80% de la ETo; (*Z*)-verbenol muestra su peor porcentaje

con el 80% de la ETo, significativamente inferior al resto, elevando sus promedios respecto a invierno. Y (*E*)-verbenol presenta una concentración significativamente superior con el 20% en primavera, con unos valores medios similares a los de invierno. Por último, terpinen-4-ol y borneol mejoran significativamente su respuesta en la cosecha de mayo con los dos niveles de agua más bajos.

Cabe destacar el comportamiento del linalol, que en invierno alcanza valores significativamente más altos con el menor aporte hídrico, y en primavera no se muestra sensible a los distintos niveles de agua.

Sólo un aldehído, el decanal, presenta diferencias significativas en primavera. En esta estación, al igual que en invierno, los mejores resultados se consiguen con el 40 y 20% de la ETo, con la diferencia de que en la segunda recolección, el valor alcanzado con el 60% no es significativamente distinto de los demás.

Alcanfor, (*Z*)-jasmona, α y β -ionona, son las cetonas cuyos porcentajes presentan diferencias en función de agua recibida por las plantas en mayo. El alcanfor, que incrementa su presencia en el aceite esencial respecto a invierno con casi todos los tratamientos, mejora significativamente su concentración en primavera con el 40 y, especialmente, el 20% de la ETo. La (*Z*)-jasmona coincide en responder igualmente bien con el 40%, pero dicho tratamiento no es diferente del 60%. Otra cetona, α -ionona, cuya síntesis no se ve afectada en invierno por ningún riego, reduce significativamente su concentración en primavera con el 20% de la ETo, y β -ionona, por su parte, también obtiene en la recolección de mayo su peor resultado con el nivel de agua más bajo, pero en este caso sin mostrar diferencias con el 40% de la ETo.

Respecto a los ésteres, el caprilato de butilo es el único que distingue entre riegos en la segunda recolección, alcanzando con el 60% de la ETo un porcentaje significativamente superior al conseguido con el

40 y el 20%. Este componente no muestra diferencias entre tratamientos en invierno.

Timol y carvacrol manifiestan también en primavera diferencias en sus concentraciones en función del riego. El primero presenta un porcentaje significativamente superior con el aporte hídrico más elevado, que además es el único tratamiento con el que se mantiene una proporción relativa similar a la de invierno, ya que con el resto, este fenol reduce su presencia en el aceite esencial. El carvacrol adopta un comportamiento similar, con una concentración significativamente más alta con el 80% de la ETo, pero en este caso se incrementa el porcentaje alcanzado respecto a invierno tanto con dicho tratamiento como con el 20%, en tanto que disminuye con el 60 y 40%. Otro fenol, (*E*)-isoeugenol, que en invierno no muestra diferencias significativas, presenta en mayo una proporción significativamente mejor con el 80% de la ETo.

Finalmente, el (*Z*)-óxido de linalol alcanza con el 20% de la ETo una cantidad relativa significativamente inferior a las mostradas con el 80 y 60%, en tanto que en invierno exhibe un comportamiento opuesto, ya que obtiene su mejor porcentaje con el aporte hídrico más bajo.

A la vista de estos resultados, se puede concluir que la segunda recolección de *Th. hyemalis* requiere un aporte hídrico superior al de invierno para garantizar la calidad del aceite esencial, ya que parece que en primavera, los fenoles cuya síntesis se ve favorecida por un determinado nivel de riego mejoran sus porcentajes con la cantidad de agua más elevada de todas las ensayadas, aunque otros componentes de estas sustancias, entre los que se incluyen algunos terpenos y alcoholes con concentración relativa importante, no manifiestan este comportamiento, ya que incrementan su presencia en el aceite con suplementos hídricos bajos.

III. 1. 5. 1. 3. Comparativa invierno/primavera 2002.

Resulta interesante analizar si el perfil volátil del aceite esencial varía significativamente con el cambio de estación. Por ello, se ha realizado un estudio estadístico en el cual se determina, con los principales constituyentes de estos aceites, la presencia o ausencia de diferencias entre invierno y primavera en todos los tratamientos de riego (Tabla III.1–13).

Mirceno y p-cimeno, a pesar de elevar sus concentraciones en primavera con todos los tratamientos, no presentan diferencias significativas respecto a invierno. El γ -terpineno, sin embargo, muestra mayores porcentajes en la primera recolección, los cuales son incluso significativamente más altos con el 60 y 20% de la ETo.

Tabla III.1–13. Análisis estadístico comparativo invierno/primavera 2002.

Componentes	% ETo			
	80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Mirceno	ND	ND	ND	ND
p-Cimeno	ND	ND	ND	ND
γ -Terpineno	ND	D	ND	D
(E)-Hidrato de sabineno	ND	ND	ND	D
(Z)-Hidrato de sabineno	ND	ND	ND	ND
Linalol	ND	ND	ND	ND
Alcanfor	ND	ND	ND	ND
Borneol	D	D	ND	ND
α -Terpineol	D	ND	ND	D
Verbenona	ND	ND	ND	ND
Timol	ND	D	D	ND
Carvacrol	D	ND	ND	ND

D = Diferencias estadísticamente significativas entre estaciones ($P < 0,05$).
 ND = No existen diferencias.

Los alcoholes (*E*) y (*Z*)-hidrato de sabineno también incrementan su presencia en el aceite en mayo, especialmente el primero, que con el aporte hídrico equivalente al 20% de la ETo multiplica casi por nueve por su concentración respecto a invierno, lo que explica las diferencias significativas detectadas en ese tratamiento. Con el linalol se obtienen mejores resultados en primavera, al comparar con la primera recolección, con el 80, 60 y 40% de la ETo, pero no con el 20%, aunque este tratamiento, en invierno, si bien proporciona una concentración bastante alta en promedio, muestra una desviación estándar igualmente elevada, lo cual explica la ausencia de diferencias significativas. El borneol, por su parte, presenta en invierno porcentajes superiores en los tratamientos que implican el mayor y menor aporte hídrico, bajando su concentración con los tratamientos intermedios respecto a primavera, aunque las diferencias entre estaciones sólo son significativas con el 80 y 40% de la ETo. En cuanto al α -terpineol, su concentración de mayo se ve incrementada respecto a febrero con todos los tratamientos, excepto el 80% de la ETo, y se detectan diferencias significativas entre las dos estaciones con el 80 y 20%, a pesar del contraste en cuanto a presencia de este componente que encontramos en estas plantas.

La verbenona, cuya presencia en concentraciones relativamente altas caracteriza a *Th. hyemalis*, muestra en general un porcentaje superior en primavera, pero sin diferenciarse significativamente de invierno; en tanto que el aumento que presenta el alcanfor en su concentración en la segunda recolección con todos los tratamientos, salvo el correspondiente al 60% de la ETo, no resulta ser significativo.

Analizando el comportamiento del timol, vemos que la reducción de los porcentajes de este fenol en primavera respecto a invierno es significativa con el 60 y 40% de la ETo, ya que con ambos tratamientos el descenso en el contenido de timol es bastante notable, mientras el valor alcanzado con el 80% es muy semejante en ambas estaciones. El aporte hídrico más bajo no resulta adecuado para la producción de timol en el

primer año de aplicación del riego diferenciado en ninguna estación, ya que el valor alcanzado con dicho riego es relativamente bajo en ambos casos. El carvacrol, por su parte, sólo muestra diferencias significativas entre estaciones con el 80% de la ETo, con una concentración superior en primavera.

Basándonos en los datos comentados hasta ahora, es posible afirmar, a modo de resumen, que un porcentaje importante de componentes se ven favorecidos por los aportes hídricos más bajos (20 ó 40% de la ETo) en ambas estaciones, encontrándose entre éstos, en la recolección de invierno, γ -terpineno, aloaromadendreno, elemeno, valenceno, α -muuroleno, linalol, isoborneol, carveol, nerol, citronelol, geraniol, espatulenol, mirtenal, decanal, cuminaldehído, neral, alcanfor, dihidrocarvona, verbenona, carvona, β -ionona, caprilato de etilo, acetato de linalilo, acetato de terpenilo y (*Z*)-óxido de linalol; en primavera, los componentes que destacan con estos tratamientos son triciclono, canfeno, verbeneno, sabineno, terpinoleno, 3-octanol, (*E*)-hidrato de sabineno, (*E*)-verbenol, borneol, terpinen-4-ol, *p*-cimen-8-ol, espatulenol, decanal y alcanfor.

Los riegos más abundantes, por el contrario, benefician en invierno a *m*-xileno, hexanol, α -terpineol, heptanal, 3-octanona y acetato de bencilo; y en primavera, los componentes que se destacan con el 80 ó 60% de la ETo son Δ_3 -careno, aromadendreno, β -selineno, δ -cadineno, α -terpineol, caprilato de butilo, timol, carvacrol y (*E*)-isoeugenol.

El resto de componentes no muestran diferencias o bien no manifiestan una afinidad claramente definida hacia una cantidad escasa o elevada de agua, ya que pueden reaccionar igualmente bien con aportes hídricos muy diferentes.

Teniendo todo esto en cuenta, regar con el agua equivalente al 40% de la ETo es lo más indicado en la recolección de invierno correspondiente al primer año de ensayo, ya que la calidad del aceite esencial no mejora significativamente aplicando mayores cantidades de

agua. Por el contrario, en primavera de este mismo año, primero con riego diferenciado, se necesita más agua, hasta el 80% de la ETo, para conseguir una calidad óptima en el aceite.

Puede ser beneficioso, por lo tanto, establecer cultivos de *Th. hyemalis*, ya que su primera cosecha anual, con un escaso riego, puede proporcionar un aceite de calidad, adelantándose a la producción de otras especies de tomillo. La siega de primavera, ya que en nuestra región no resulta rentable aumentar el suplemento hídrico hasta el 80%, se podría dedicar a la obtención de hoja para ser empleada como condimento alimentario, puesto que en lo referente a la producción de biomasa, la segunda recolección de 2002 no se ve mermada por aplicar un escaso aporte de agua, que podría ser el equivalente al 40% de la ETo.

III. 1. 5. 1. 4. Invierno 2003.

En esta recolección (Tabla III.1–14), el efecto que los distintos tratamientos de riego pueden tener sobre el perfil volátil de estos aceites parece haberse atenuado, si lo comparamos con el invierno anterior, ya que únicamente se aprecian diferencias con significación estadística en seis componentes: linalol, benzaldehído, 3-hexanona, caprilato de butilo, carvacrol y (Z)-óxido de linalol.

Si nos detenemos en los terpenos, observamos que en esta recolección no se aprecian diferencias significativas entre tratamientos en ningún caso, a diferencia de lo ocurrido en 2002. De hecho, en algunos componentes, como α -tujeno y mirceno, el resultado es completamente distinto en los dos años, ya que en 2003 aparecen los promedios más elevados en los tratamientos que en 2002 proporcionaban los peores rendimientos. Continuando con el seguimiento a los constituyentes que en invierno de 2002 mostraban diferencias significativas, el α -felandreno presenta en 2003 el mejor resultado con el aporte hídrico más bajo, a

diferencia de 2002, recolección en la que se necesita aumentar el riego hasta el 40 o 60% de la ETo para aumentar la concentración relativa de este compuesto. El m-xileno mejora sus porcentajes en 2003 respecto a 2002 con aportes de agua bajos. Por el contrario, aloaromadendreno, elemeno, valenceno, α -muuroleno y γ y δ -cadineno necesitan en 2003 más agua que en 2002 para alcanzar sus mejores promedios. Por su parte, la tendencia de Δ_3 -careno y α -gurjeneno en 2003 es igual a la de 2002, ya que el primero disminuye su concentración relativa con el suplemento de agua más bajo, y el segundo la aumenta. El precursor fenólico γ -terpineno ve mejorado su porcentaje en 2003 a medida que disminuye el agua que reciben las plantas.

Es importante recordar que, por lo que respecta a los terpenos, en 2003 sólo podemos señalar tendencias, ya que el diferente aporte de agua no afecta significativamente a su presencia en el aceite esencial de la planta.

En cuanto a los alcoholes, sólo el linalol se muestra sensible a los distintos tratamientos hídricos en esta recolección, alcanzando cantidades relativas significativamente más elevadas con los riegos abundantes, equivalentes al 80 y 60% de la ETo. El porcentaje más bajo aparece con el 20%, tratamiento con el que en 2002 se consigue el mejor resultado. El resto de alcoholes que anteriormente mostraban diferencias entre riegos varían ligeramente su respuesta en 2003. Algunos de ellos, como hexanol, no necesitan en 2003 un suplemento hídrico elevado para obtener un buen resultado, en tanto que nerol y citronelol mejoran el porcentaje logrado con el 80, 60 y 40% respecto al año anterior, al igual que carveol y espatulenol. El butanol aumenta la concentración alcanzada con el 40% de la ETo con relación a 2002, al igual que el isoborneol, que además muestra un descenso con el 20% respecto al primer año de ensayo. El p-cimen-8-ol y el α -terpineol presentan en 2003 sus promedios más elevados con el 80%, y el geraniol pasa, con dicho tratamiento, de aparecer en trazas en 2002 a tener un promedio relativamente alto en 2003, pero con una desviación estándar muy elevada.

Tabla III.1–14. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, en función del aporte hídrico (Invierno 2003).

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Hidrocarburos terpénicos					
Triciclono*	931	0,02 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,02	0,03 ± 0,02
α-Tujeno*	940	0,83 ± 0,12	1,05 ± 0,32	0,96 ± 0,39	1,16 ± 0,84
α-Pineno	949	1,19 ± 1,09	1,10 ± 0,48	0,98 ± 0,26	2,72 ± 2,77
Canfeno	969	0,99 ± 1,01	0,69 ± 0,36	0,92 ± 0,62	1,10 ± 0,63
Verbeneno*	976	0,09 ± 0,03	0,08 ± 0,02	0,06 ± 0,03	0,10 ± 0,07
Sabineno	1001	0,12 ± 0,11	0,17 ± 0,16	0,20 ± 0,25	0,27 ± 0,30
β-Pineno	1007	0,22 ± 0,17	0,18 ± 0,13	0,11 ± 0,01	0,29 ± 0,21
Mirceno	1026	0,86 ± 0,63	0,63 ± 0,16	0,69 ± 0,24	0,85 ± 0,23
α-Felandreno	1042	0,12 ± 0,03	0,15 ± 0,02	0,15 ± 0,01	0,16 ± 0,03
Δ ₃ -Careno	1048	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,05 ± 0,01
α-Terpineno	1058	0,97 ± 0,41	1,29 ± 0,32	1,39 ± 0,39	1,51 ± 0,67
p-Cimeno	1068	32,36 ± 2,73	30,73 ± 5,55	31,42 ± 10,16	26,68 ± 7,43
Limoneno	1073	0,97 ± 0,36	1,14 ± 0,29	1,24 ± 0,16	1,38 ± 0,34
(Z)-β-Ocimeno	1086	0,03 ± 0,03	tr	0,05 ± 0,06	0,01 ± 0,00
(E)-β-Ocimeno*	1097	0,07 ± 0,08	0,03 ± 0,01	0,34 ± 0,45	0,05 ± 0,02
γ-Terpineno	1109	6,23 ± 3,57	9,31 ± 4,07	10,28 ± 2,47	11,50 ± 3,76
Terpinoleno + (E)-Óxido de linalol	1141	0,24 ± 0,06	0,23 ± 0,12	0,23 ± 0,10	0,28 ± 0,27
α-Copaeno	1378	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
α-Gurjeneno*	1408	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,06 ± 0,05
(E)-Cariofileno	1419	0,78 ± 0,25	1,23 ± 0,59	0,82 ± 0,22	0,51 ± 0,25
Calereno	1432	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
Aromadendreno	1440	0,05 ± 0,04	0,11 ± 0,06	0,06 ± 0,07	0,05 ± 0,03
α-Humuleno	1457	0,06 ± 0,02	0,07 ± 0,07	0,04 ± 0,02	0,03 ± 0,02
Aloaromadendreno	1465	0,06 ± 0,02	0,07 ± 0,07	0,11 ± 0,06	0,03 ± 0,02
Elemeno*	1481	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01
β-Selineno*	1485	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,01
Valenceno	1510	0,24 ± 0,07	0,48 ± 0,37	0,39 ± 0,27	0,34 ± 0,16
α-Muuroleno*	1516	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,02 ± 0,01
γ-Cadineno*	1537	0,04 ± 0,02	0,09 ± 0,06	0,09 ± 0,03	0,07 ± 0,01
δ-Cadineno	1553	0,08 ± 0,02	0,12 ± 0,06	0,15 ± 0,04	0,11 ± 0,02
Alcoholes					
Butanol	742	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01	tr
3-Metil-3-buten-1-ol	766	tr	tr	tr	tr
3-penten-2-ol*	784	tr	tr	tr	tr
3-metil-2-buten-1-ol*	789	0,01 ± 0,00	tr	tr	tr
(Z)-3-Hexen-1-ol	852	tr	tr	tr	tr
(E)-2-Hexen-1-ol	865	tr	tr	tr	tr
Hexanol + m-Xileno	867	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,02 ± 0,01
1-Octen-3-ol	1009	0,19 ± 0,07	0,18 ± 0,13	0,18 ± 0,04	0,17 ± 0,09
3-Octanol	1031	0,04 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,06 ± 0,05

Tabla III.1-14 (continuación)

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Alcoholes (continuación)					
(<i>E</i>)-Hidrato de sabineno	1116	0,75 ± 0,35	1,24 ± 1,35	3,44 ± 4,76	1,33 ± 1,38
(<i>Z</i>)-Hidrato de sabineno*	1151	0,46 ± 0,57	0,84 ± 1,50	0,35 ± 0,27	1,65 ± 2,90
Linalol	1152	2,21 ± 0,54 ^a	1,78 ± 0,63 ^a	0,90 ± 0,32 ^b	0,45 ± 0,25 ^b
(<i>E</i>)-Pinocarveol	1186	0,23 ± 0,12	0,22 ± 0,08	0,20 ± 0,01	0,33 ± 0,15
(<i>Z</i>)-Verbenol	1189	0,50 ± 0,24	0,78 ± 0,45	0,52 ± 0,20	0,69 ± 0,26
(<i>E</i>)-Verbenol*	1197	0,07 ± 0,04	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,07 ± 0,02
Isoborneol	1203	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
Borneol	1211	3,63 ± 3,51	2,51 ± 1,17	3,51 ± 2,17	3,52 ± 1,34
Terpinen-4-ol	1220	0,77 ± 0,35	1,00 ± 1,26	1,09 ± 1,16	1,76 ± 2,65
p-Cimen-8-ol	1227	0,38 ± 0,08	0,27 ± 0,05	0,29 ± 0,05	0,29 ± 0,09
α-Terpineol	1231	1,55 ± 2,35	0,45 ± 0,15	0,50 ± 0,33	0,63 ± 0,28
Carveol	1252	0,05 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,04
Nerol + Citronelol	1260	0,03 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,05 ± 0,03	0,05 ± 0,02
Geraniol + Acetato de linalilo	1281	0,13 ± 0,19	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01
Espatulenol	1640	0,41 ± 0,10	0,38 ± 0,22	0,35 ± 0,24	0,33 ± 0,18
Aldehídos					
(<i>E</i>)-2-Butenal*	735	tr	tr	tr	tr
Pentanal	754	tr	tr	tr	tr
Hexanal + Butirato de etilo	802	0,01 ± 0,00	tr	tr	tr
Furfural	832	0,01 ± 0,00	tr	tr	tr
(<i>E</i>)-2-Hexenal	849	0,01 ± 0,00	tr	tr	tr
Heptanal	904	tr	0,01 ± 0,00	tr	tr
Benzaldehído	987	0,01 ± 0,00 ^a	tr ^b	tr ^b	tr ^b
Nonanal	1157	0,06 ± 0,03	0,06 ± 0,03	0,06 ± 0,02	0,08 ± 0,03
Mirtenal + Dihidrocarvona	1235	0,15 ± 0,08	0,12 ± 0,07	0,13 ± 0,01	0,22 ± 0,09
Decanal	1243	0,17 ± 0,12	0,21 ± 0,11	0,21 ± 0,09	0,20 ± 0,09
Cuminaldehído	1268	0,07 ± 0,04	0,05 ± 0,02	0,07 ± 0,03	0,06 ± 0,02
Neral + Carvona	1270	0,03 ± 0,04	0,10 ± 0,08	0,17 ± 0,21	0,11 ± 0,08
Geranial + Perialdehído	1292	0,13 ± 0,05	0,21 ± 0,15	0,21 ± 0,25	0,16 ± 0,11
Cetonas					
3-Hexanona	795	tr ^a	0,01 ± 0,01 ^b	tr ^a	tr ^a
3-Heptanona*	888	tr	0,01 ± 0,01	tr	tr
3-Octanona	1019	0,13 ± 0,10	0,10 ± 0,05	0,12 ± 0,03	0,11 ± 0,09
β-Tujona	1158	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,02
Alcanfor	1193	0,90 ± 0,41	1,06 ± 0,32	1,06 ± 0,20	1,36 ± 0,45
Pinocarvona*	1208	0,04 ± 0,02	0,02 ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,05 ± 0,03
Verbenona	1245	3,12 ± 1,99	4,38 ± 1,69	4,13 ± 0,81	4,28 ± 1,17
Timoquinona	1276	0,06 ± 0,04	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01
(<i>Z</i>)-Jasmona	1399	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	tr	0,01 ± 0,00
α-Ionona	1428	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
β-Ionona	1497	0,01 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01

Tabla III.1–14 (continuación)

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Ésteres					
Acetato de etilo	732	tr	tr	tr	tr
Butirato de metilo	763	tr	tr	tr	tr
Acetato de bencilo	1214	0,04 ± 0,02	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,03 ± 0,03
Caprilato de etilo	1239	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,03	0,06 ± 0,02	0,07 ± 0,03
Acetato de bornilo	1302	0,09 ± 0,04	0,15 ± 0,12	0,09 ± 0,02	0,13 ± 0,09
Acetato de terpenilo	1353	tr	tr	tr	tr
Acetato de timilo*	1356	0,04 ± 0,05	0,04 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,05 ± 0,05
Acetato de nerilo	1366	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,02	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
Acetato de geranilo	1385	0,01 ± 0,01	0,07 ± 0,15	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01
Caprilato de butilo	1388	tr ^a	0,02 ± 0,01 ^b	tr ^a	tr ^a
Fenoles					
Éter metílico de timol	1265	0,92 ± 1,04	0,33 ± 0,43	0,41 ± 0,66	0,19 ± 0,16
Éter metílico de carvacrol	1272	0,35 ± 0,34	0,21 ± 0,26	0,43 ± 0,62	0,49 ± 0,49
Timol	1308	27,38 ± 5,25	27,31 ± 3,57	24,65 ± 2,51	24,24 ± 5,00
Carvacrol	1314	1,73 ± 0,05 ^{ab}	1,96 ± 0,44 ^a	1,33 ± 0,37 ^{bc}	1,24 ± 0,18 ^c
Eugenol	1358	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,02	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01
(E)-Isoeugenol	1453	0,03 ± 0,03	0,03 ± 0,02	0,02 ± 0,00	0,01 ± 0,00
Epóxidos					
(Z)-Óxido de linalol	1123	0,03 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,01 ^b	0,02 ± 0,01 ^b	0,01 ± 0,00 ^b
Óxido de cariofileno	1650	0,37 ± 0,14	0,34 ± 0,11	0,24 ± 0,08	0,21 ± 0,10
Éter					
1,8-Cineol	1076	2,80 ± 3,27	1,32 ± 2,72	0,11 ± 0,15	2,14 ± 2,97

^{a,b,c} Valores con distinto superíndice en la misma línea presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$).

± Desviación estándar.

* Identificación tentativa.

I. R. Índices de Kovats (HP-5).

tr = trazas (< 0,01%).

Los aldehídos también modifican su comportamiento respecto al primer año de estudio, encontrando en 2003 que únicamente uno de estos compuestos, el benzaldehído, distingue entre tratamientos, con un porcentaje alcanzado con el 80% de la ETo significativamente superior al resto. Este componente, en 2002, no presenta diferencias entre los distintos riegos, aunque el resultado sea aparentemente el mismo, al contrario que el heptanal, que en 2003 no muestra diferencias

significativas que sí se detectan en 2002. El decanal experimenta un aumento en sus concentraciones relativas en todos los tratamientos en 2003, lo cual atenúa las diferencias mostradas en 2002, mientras el (*E*)-2-hexenal sufre el efecto contrario, mostrando valores más bajos con el 60, 40 y 20% de la ETo en 2003. El nonanal también disminuye las diferencias entre tratamientos en 2003 respecto a 2002, ya que eleva los porcentajes alcanzados con el 80 y 60%, y los baja ligeramente con el 40 y 20% de la ETo, en tanto que el cuminaldehído muestra igualmente un peor resultado con el 20%, pero mejora con el resto de aportes hídricos. Mirtenal y neral mantienen su mejor respuesta al mismo tratamiento, 20 y 40% respectivamente, en ambas recolecciones, pero en 2003 los promedios conseguidos con todos los riegos están más equilibrados, aunque en el caso del neral con una desviación estándar muy elevada.

El caso de las cetonas es semejante, con 3-hexanona mostrando diferencias significativas que no aparecen en 2002; en 2003, el suplemento hídrico equivalente al 60% de la ETo es significativamente mejor que el resto. No se detectan más diferencias en la respuesta al riego entre estos compuestos en 2003, pero comparando con el año anterior, vemos que en la mayor parte de los casos las concentraciones relativas determinadas en 2003 para las cetonas experimentan un aumento respecto a 2002. Esto sucede en todos los tratamientos en el caso de alcanfor, mientras otros constituyentes del aceite, como pinocarvona, o verbenona mantienen el mismo porcentaje alcanzado en 2002 con algunos tratamientos, y lo mejoran en otros. La 3-octanona, que en 2002 presenta su mejor resultado con el 80% de la ETo, disminuye este porcentaje en 2003, en tanto que eleva los promedios conseguidos con el 60, 40 y 20%. La (*Z*)-jasmona incrementa sus concentraciones con los tratamientos hídricos más abundantes en el segundo año de ensayo, y la β -ionona, por su parte, reduce ligeramente en 2003 la proporción alcanzada con el 20%, mejorando visiblemente con el 60 y 40% de la ETo. Todo esto contribuye a atenuar las diferencias entre riegos encontradas en 2002.

El caprilato de butilo es el único éster cuya producción se ve favorecida por un suplemento de agua específico en 2003.

Concretamente, el porcentaje alcanzado con el 60% de la ETo es significativamente superior a los demás tratamientos. Este compuesto experimenta un descenso en sus concentraciones respecto a 2002 en todos los casos, salvo en el mencionado tratamiento, lo que explica las diferencias encontradas en el segundo año de ensayo, las cuales no aparecen en el primero. Continuando con estos compuestos, el acetato de bencilo ve disminuidos sus porcentajes con el 80% en 2003, y para el acetato de timilo el descenso se produce tanto con el 80 como con el 20%. El acetato de terpenilo reduce su presencia a trazas con todos los tratamientos en la recolección de 2003. Otro éster, el caprilato de etilo, incrementa de forma general sus concentraciones relativas respecto al año anterior, y el acetato de linalilo, como ya se ha comentado en el caso del geraniol, junto al que se integra, aumenta su porcentaje con el 80%.

Por lo que se refiere a los fenoles, es importante mencionar que para el timol, en 2003 el análisis estadístico no aprecia diferencias significativas entre los porcentajes alcanzados con los cuatro aportes hídricos, aunque los promedios más elevados corresponden al 80 y 60% de la ETo. El carvacrol, sin embargo, presenta diferencias entre riegos en 2003, al igual que en 2002, siendo el porcentaje conseguido con el 60% significativamente superior a los alcanzados con el 40 y 20%.

En cuanto a los epóxidos, únicamente el (Z)-óxido de linalol muestra diferencias significativas en 2003, paralelamente a lo ocurrido en 2002. Tales diferencias aparecen con el tratamiento equivalente al 80% de la ETo, significativamente superior a los demás. El porcentaje alcanzado con el 20% disminuye respecto al año anterior.

Una vez más, en el 1,8-cineol no se detectan diferencias entre tratamientos, debido a la gran diversidad cuantitativa que presenta este componente en estas plantas.

Se debe comentar que al analizar conjuntamente las recolecciones de 2002 y 2003 es necesario considerar dos factores: la variabilidad intraespecífica y la diferente climatología de ambos años. Todo ello afecta al perfil volátil de estas labiadas, haciendo difícil establecer paralelismos entre dos cosechas distintas. Si nos restringimos a 2003, teniendo en cuenta las pocas diferencias significativas que se detectan, y que en concreto el timol, aunque alcanza mejores promedios con los aportes hídricos más elevados, no muestra tales diferencias, se puede pensar que un riego equivalente al 20% de la ETo es suficiente para conseguir un buen aceite esencial en este segundo año de aplicación del riego diferenciado, al igual que ocurre con la producción de biomasa y el rendimiento en dicho aceite.

III. 1. 5. 2. Estudio de la variabilidad intraespecífica.

Los componentes volátiles presentes en el aceite esencial de *Th. hyemalis* presentan variaciones cuantitativas importantes entre las distintas plantas, como hemos podido comprobar en los análisis cromatográficos efectuados a las muestras recolectadas en 2002 y 2003.

Esta evidencia es la base del estudio de variabilidad intraespecífica que se lleva a cabo en 2004, el cual se expone en este apartado. El estudio, en el caso de esta especie, se lleva a cabo sobre un número de individuos superior al propuesto inicialmente para este fin, ya que en lugar de 96 plantas se recolectan 109, seleccionadas entre los distintos tratamientos de riego. Tales plantas no muestran diferencias morfológicas reseñables, por lo que la diversidad se presenta en los aceites esenciales extraídos a partir de ellas, afectando tanto a su rendimiento como a su composición química. Los resultados de este estudio podrían extrapolarse a la población en general de esta especie, dado que se realiza sobre un número bastante elevado de plantas, las cuales proceden de semillas recolectadas en tomillares silvestres.

Como se ha mencionado anteriormente, el componente más destacado en un porcentaje mayoritario de los aceites analizados en esta Memoria es el timol, detectándose también concentraciones considerables de su isómero carvacrol, así como de los precursores fenólicos p-cimeno y γ -terpineno. Por otra parte, algunas plantas examinadas no presentan quimiotipo fenólico, mostrando como constituyentes más abundantes α -terpineol, linalol o borneol.

El aceite esencial de esta labiada ha sido estudiado con anterioridad por numerosos autores, generalmente analizando plantas procedentes de poblaciones espontáneas.

Adzet *et al.* (1976b), en su trabajo, determinan la presencia dominante de carvacrol, en cantidades que oscilan entre 70–80%. La proporción de borneol es también bastante alta, siendo en algunos casos este alcohol el componente mayoritario, con un porcentaje de 40–60%.

En otras publicaciones (Cabo *et al.*, 1986; Cabo *et al.*, 1987), se habla de altas concentraciones de 1,8-cineol, alcanfor, linalol y mirceno entre las plantas estudiadas.

Sáez (1996) identifica 38 componentes en los aceites analizados, variando sus proporciones en función de las localidades de las que proceden las plantas. El quimiotipo timol es el más extendido, con unas cantidades relativas para este fenol de hasta el 36,7%, presentando algunas plantas su isómero carvacrol como componente mayoritario, que puede alcanzar el 56,5%. En ambos casos se encuentran también muy elevados los precursores de estos fenoles (γ -terpineno y p-cimeno). El quimiotipo linalol también se presenta en esta especie, con una cantidad máxima del 34,4% para este componente. Otros constituyentes encontrados por este autor en concentraciones importantes son 1,8-cineol, borneol, α -terpineol, α -pineno y canfeno.

En un trabajo previo sobre el perfil volátil de este tomillo creciendo en condiciones de cultivo, Sotomayor (1998) identifica 30 componentes, señalando el quimiotipo timol para todas las plantas analizadas. Las cantidades de este componente varían en función de la edad y el estado fenológico de las plantas en el momento de su recolección.

En el presente estudio, los quimiotipos determinados se distribuyen tal como se aprecia en la Tabla III.1–15, en la que se especifica entre paréntesis el número de plantas que presenta cada uno de ellos, así como el porcentaje que suponen sobre el total de las plantas analizadas (109). Tales quimiotipos se exponen de mayor a menor presencia en la población.

Tabla III.1–15. Quimiotipos determinados y porcentaje de los mismos en la población.

Quimiotipos (nº de plantas)	Porcentaje (%)		
Fenólico*, timol > 20% (55)	50,46	74,31 ⁽¹⁾	
Fenólico*, timol ≤ 20% (18)	16,51		
Fenólico* (timol ≤ 20%), con precursores elevados (8)	7,34		
Mixto, α-terpineol/timol (7)	6,42		
Linalol* (6)	5,50		
Fenólico*, carvacrol (4)	3,67		
Mixto, borneol/timol* (3)	2,75		
Mixto, linalol/timol* (2)	1,83		
α-Terpineol (2)	1,83		
1,8-Cineol* (1)	0,92		
Mixto, carvacrol/(E)-hidrato de sabineno (1)	0,92		
Mixto, linalol/α-terpineol (1)	0,92		
Mixto, mirceno/hidrato de sabineno (1)	0,92		
Nº total de plantas: 109			

⁽¹⁾ Este porcentaje equivale a la suma de los tres primeros, que presentan al timol como componente más importante.

* Quimiotipos identificados por otros autores en esta especie.

Dentro del quimiotipo fenólico, el más abundante, se distingue entre plantas con un contenido en timol claramente superior al resto de componentes, y otros tomillos en los que si bien el timol continua siendo mayoritario, aparecen distintos constituyentes que también alcanzan una cantidad relativa en algunos casos similar a la de timol, o incluso superior cuando se trata de quimiotipos fenólicos con una concentración predominante de los precursores p-cimeno y γ -terpineno. Los tres primeros grupos que aparecen en la tabla engloban a estos individuos.

Se ha estimado conveniente hacer esta distinción entre ellos, únicamente a título informativo, con el fin de aportar una explicación detallada sobre el modo en que se distribuyen los componentes en las plantas, en base al contenido en timol y su relación con los precursores fenólicos y otros constituyentes del aceite esencial. No obstante, los tres grupos presentan el timol como componente destacado, y sumando las plantas que integran dichos grupos encontramos un porcentaje del 74,31%, visiblemente mayoritario en la población, al cual hay que añadir aquellos tomillos con presencia dominante de carvacrol en sus aceites, lo que les confiere también quimiotipo fenólico.

A continuación se exponen las principales características de los diferentes perfiles volátiles encontrados, siguiendo el mismo orden que aparece en la tabla anterior.

Quimiotipo fenólico, con timol > 20%

Las plantas de esta categoría suponen el 50,46% del total de muestras recolectadas. Presentan un quimiotipo simple, con el timol como componente destacado, ya que la concentración de este fenol es superior al 20% en todos los casos. Sobre este grupo, que constituye un porcentaje mayoritario de las plantas analizadas, se ha llevado a cabo un estudio similar al de años anteriores, para comprobar el comportamiento de los tomillos frente al diferente aporte hídrico en este tercer año de ensayo. Sus resultados se muestran en las Tablas III.1–16 y III.1–17, en

las que se recogen los porcentajes determinados para los distintos constituyentes del aceite esencial en las recolecciones de invierno y primavera, respectivamente. En tales tablas aparecen únicamente aquellos componentes para los que se determina una concentración relativa igual o superior a 0,1%, lo que supone un total de 45 constituyentes, ya que el propósito del apartado que nos ocupa es el estudio de la variabilidad química presente en estas plantas, por lo que se ha considerado suficiente hacer un seguimiento de la respuesta frente al riego en 2004 sólo sobre aquellos componentes que se encuentran en proporciones importantes. Tales componentes representan el 95,7% del total.

A) Invierno.

Como se puede ver en la Tabla III.1–16, en invierno de 2004 sólo un compuesto, (*E*)-hidrato de sabineno, muestra una respuesta diferente en función del riego recibido por las plantas.

La concentración de los hidrocarburos terpénicos no varía significativamente al aplicar los distintos tratamientos en esta recolección, al igual que ocurre en 2003. Dado que en 2002 sí se aprecian diferencias, parece que las plantas se van adaptando a los recursos hídricos de los que disponen, de forma que suplementos de agua que en el primer año de ensayo provocan un aumento o descenso en la síntesis de determinados terpenos, no tienen un efecto significativamente distinto del resto de tratamientos en el segundo y tercer año.

Compuestos como α -tujeno, α -pineno, canfeno, α -terpineno y limoneno, además de *p*-cimeno y γ -terpineno, son los terpenos más abundantes en esta recolección. Respecto a ambos precursores fenólicos, la presencia de *p*-cimeno en invierno de 2004 es similar a la de años anteriores con todos los tratamientos; en tanto que el γ -terpineno experimenta un descenso en casi todos sus promedios en 2004 con

relación al primer año de ensayo, especialmente marcado en el caso del 20% de la ETo.

Los alcoholes son el único grupo en el que se aprecian diferencias significativas en esta cosecha, ya que (*E*)-hidrato de sabineno, que en 2002 y 2003 no muestra tales diferencias, presenta en 2004 una concentración significativamente superior cuando a las plantas se les aplica el agua necesaria para compensar el 20% de la ETo, aunque dicha concentración no es distinta de la alcanzada con el 40%. Como ya ocurriera en la primavera de 2002, la síntesis de este alcohol acaba viéndose favorecida por aportes bajos de agua también en la primera recolección anual, transcurridos tres años desde el inicio del riego diferenciado.

Del resto de alcoholes, linalol y borneol destacan por su marcada presencia en el aceite esencial, detectándose en ambos una desviación estándar bastante alta.

La síntesis de los cuatro aldehídos mayoritarios en esta recolección no está influida por el riego, como tampoco lo está la de las cetonas. Verbenona y alcanfor son las que presentan las proporciones relativas más elevadas.

El acetato de bornilo, por su parte, no ha visto afectada su presencia en los aceites por los distintos niveles de riego en ninguna recolección, al igual que ocurre con las recolecciones invernales de los epóxidos (*E*)-óxido de linalol y óxido de cariofileno.

En la concentración de los fenoles incluidos en la tabla de 2004 tampoco se encuentran diferencias significativas en función del suplemento hídrico.

Tabla III.1–16. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo timol, en función del aporte hídrico (Invierno 2004).

COMPONENTES	I.R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Hidrocarburos Terpénicos					
α -Tujeno*	940	0,90 \pm 0,23	1,00 \pm 0,14	1,02 \pm 0,16	0,94 \pm 0,10
α -Pino	949	1,73 \pm 1,59	1,09 \pm 0,44	1,59 \pm 0,87	1,32 \pm 1,09
Canfeno	969	0,41 \pm 0,15	1,46 \pm 1,05	1,10 \pm 0,84	1,07 \pm 1,04
Verbeneno*	976	0,10 \pm 0,07	0,09 \pm 0,02	0,07 \pm 0,03	0,07 \pm 0,03
Sabineno	1001	0,13 \pm 0,09	0,15 \pm 0,13	0,18 \pm 0,10	0,16 \pm 0,11
β -Pino	1007	0,20 \pm 0,15	0,20 \pm 0,15	0,26 \pm 0,15	0,19 \pm 0,17
Mirceno	1026	0,81 \pm 0,23	0,75 \pm 0,26	0,88 \pm 0,16	0,79 \pm 0,15
α -Felandreno	1042	0,17 \pm 0,03	0,16 \pm 0,03	0,18 \pm 0,03	0,16 \pm 0,03
α -Terpineno	1058	1,17 \pm 0,34	1,28 \pm 0,39	1,44 \pm 0,28	1,25 \pm 0,35
p-Cimeno	1068	24,54 \pm 6,89	28,60 \pm 6,84	25,63 \pm 4,89	23,78 \pm 6,61
Limoneno	1073	1,26 \pm 0,51	1,07 \pm 0,18	1,08 \pm 0,31	1,09 \pm 0,33
(<i>E</i>)- β -Ocimeno*	1097	0,08 \pm 0,12	0,73 \pm 1,46	0,30 \pm 0,45	0,27 \pm 0,60
γ -Terpineno	1109	8,99 \pm 2,93	11,07 \pm 4,52	12,94 \pm 4,16	9,80 \pm 2,67
Terpinoleno + (<i>E</i>)-Óxido de linalol	1141	0,23 \pm 0,08	0,20 \pm 0,03	0,18 \pm 0,04	0,20 \pm 0,05
(<i>E</i>)-Cariofileno	1419	0,88 \pm 0,38	0,95 \pm 0,35	0,82 \pm 0,31	0,78 \pm 0,29
Aloaromadendreno	1465	0,10 \pm 0,06	0,11 \pm 0,03	0,09 \pm 0,05	0,12 \pm 0,06
Valenceno	1510	0,40 \pm 0,24	0,49 \pm 0,24	0,50 \pm 0,37	0,54 \pm 0,34
δ -Cadineno	1553	0,17 \pm 0,10	0,13 \pm 0,08	0,14 \pm 0,08	0,11 \pm 0,08
Alcoholes					
1-Octen-3-ol	1009	0,27 \pm 0,20	0,23 \pm 0,15	0,14 \pm 0,08	0,18 \pm 0,09
(<i>E</i>)-Hidrato de sabineno	1116	0,47 \pm 0,11 ^a	0,58 \pm 0,15 ^a	0,62 \pm 0,25 ^{ab}	0,82 \pm 0,39 ^b
(<i>Z</i>)-Hidrato de sabineno*	1151	0,11 \pm 0,03	0,17 \pm 0,05	0,22 \pm 0,19	0,18 \pm 0,07
Linalol	1152	4,35 \pm 4,09	2,69 \pm 2,34	1,81 \pm 1,13	2,02 \pm 1,22
(<i>E</i>)-Pinocarveol	1186	0,20 \pm 0,11	0,15 \pm 0,05	0,17 \pm 0,05	0,18 \pm 0,06
(<i>Z</i>)-Verbenol	1189	0,67 \pm 0,40	0,51 \pm 0,14	0,48 \pm 0,27	0,51 \pm 0,20
Borneol	1211	1,57 \pm 0,82	5,05 \pm 3,73	3,46 \pm 2,44	4,07 \pm 3,99
Terpinen-4-ol	1220	0,50 \pm 0,05	0,65 \pm 0,19	0,57 \pm 0,26	0,60 \pm 0,18
p-Cimen-8-ol	1227	0,23 \pm 0,06	0,23 \pm 0,10	0,21 \pm 0,05	0,19 \pm 0,07
α -Terpineol	1231	0,53 \pm 0,32	0,46 \pm 0,24	0,52 \pm 0,32	0,75 \pm 0,75
Espatulenol	1640	0,34 \pm 0,14	0,41 \pm 0,21	0,31 \pm 0,18	0,38 \pm 0,18
Aldehídos					
Mirtenal + Dihidrocarvona	1235	0,16 \pm 0,07	0,11 \pm 0,03	0,14 \pm 0,03	0,14 \pm 0,08
Decanal	1243	0,19 \pm 0,15	0,15 \pm 0,08	0,11 \pm 0,06	0,20 \pm 0,20
Geranial + Perialdehído	1292	0,12 \pm 0,11	0,14 \pm 0,11	0,08 \pm 0,06	0,08 \pm 0,04
Cetonas					
3-Octanona	1019	0,15 \pm 0,09	0,13 \pm 0,09	0,10 \pm 0,08	0,07 \pm 0,04
Alcanfor	1193	1,00 \pm 0,55	1,01 \pm 0,32	0,89 \pm 0,26	0,97 \pm 0,46
Verbenona	1245	4,85 \pm 2,22	3,14 \pm 1,05	2,94 \pm 1,28	3,77 \pm 1,53
Éster					
Acetato de bornilo	1302	0,10 \pm 0,05	0,12 \pm 0,06	0,08 \pm 0,03	0,21 \pm 0,20

Tabla III.1–16 (continuación)

COMPONENTES	I.R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Fenoles					
Éter metílico de timol	1265	1,04 ± 1,19	0,10 ± 0,10	0,37 ± 0,53	0,51 ± 0,96
Éter metílico de carvacrol	1272	0,47 ± 0,47	0,23 ± 0,29	0,11 ± 0,12	0,44 ± 0,45
Timol	1308	31,55 ± 3,67	26,91 ± 4,34	29,75 ± 4,17	33,06 ± 8,79
Carvacrol	1314	2,04 ± 0,94	1,77 ± 0,42	1,91 ± 0,28	1,80 ± 0,58
Epóxido					
Óxido de cariofileno	1650	0,24 ± 0,09	0,27 ± 0,13	0,19 ± 0,05	0,21 ± 0,10
Éter					
1,8-Cineol	1076	2,12 ± 2,77	1,16 ± 2,32	2,30 ± 2,16	1,59 ± 2,09

^{a,b} Valores con distinto superíndice en la misma línea presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$).

± Desviación estándar.

* Identificación tentativa.

I. R. Índices de Kovats (HP-5).

El timol, componente más importante desde el punto de vista comercial, alcanza con el 20% de la ETo un porcentaje medio que supera a los conseguidos con el resto de tratamientos, contrariamente a lo ocurrido los dos años anteriores. En la Figura III.1–9 se describe la distribución de las diferentes plantas, en función de la ETo, de acuerdo a su contenido en timol. La gráfica muestra la mediana (línea negra) y la media (línea roja discontinua), así como los percentiles 10, 25, 75 y 90, representados como cajas verticales con barras de error. En esta figura es posible apreciar que con el riego equivalente al 20% de la ETo, de acuerdo con el valor de la mediana, la mitad de los tomillos recolectados tienen un contenido en timol superior al 32%, muy semejante a lo que ocurre con el 80% de la ETo.

Sin embargo, al observar el P_{75} , encontramos que con el aporte hídrico más bajo, el 75% de las plantas presenta una concentración de este fenol igual o inferior al 40%, en tanto que en el caso del riego más elevado, el valor del mismo percentil nos sitúa en un porcentaje de timol igual o inferior al 34%. Esto indica que una proporción importante de tomillos que han recibido el suplemento hídrico necesario para compensar

el 20% de la ETo son más ricos en timol que aquellos que han sido regados más abundantemente, por lo que parece que un escaso aporte de agua es más favorable para la síntesis de este componente, a pesar de la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos.

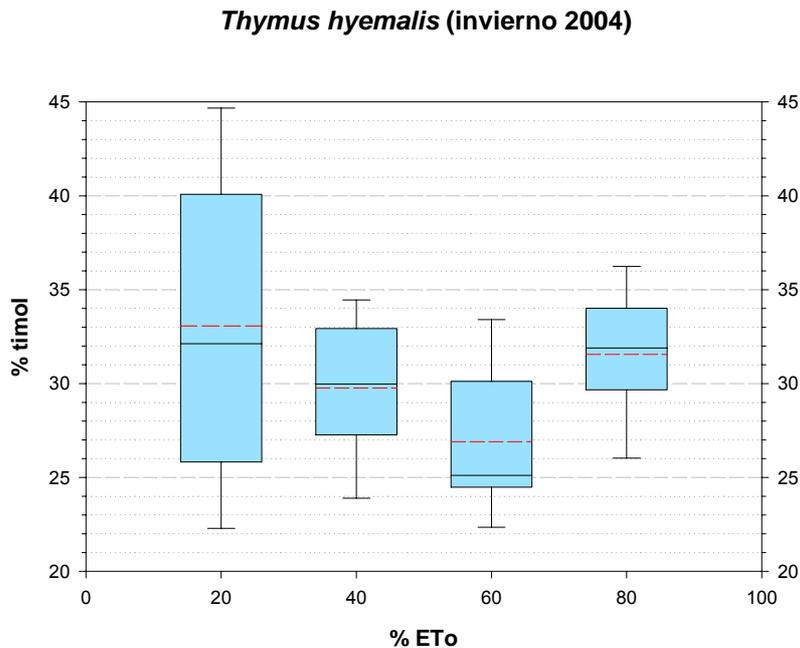


Fig. III.1-9. Distribución de las plantas según su contenido en timol.

El peor resultado corresponde al 60% de la ETo, ya que con esta cantidad de agua, el 50% de las plantas tiene una proporción de timol inferior al 25,11%, que es el valor de la mediana en este caso.

También es interesante advertir cómo, en este último año de ensayo, los porcentajes medios determinados para el timol con cada aporte hídrico resultan inversos al perfil seguido por el p-cimeno, coincidiendo el máximo de uno con el mínimo del otro (Figura III.1-10). Al tratarse de precursor y producto final, esto es lo que cabría esperar, aunque el hecho no es tan evidente los dos años anteriores, debido probablemente a que al haber un mayor número de muestras en 2004, se ha atenuado el efecto de la variabilidad intraespecífica.

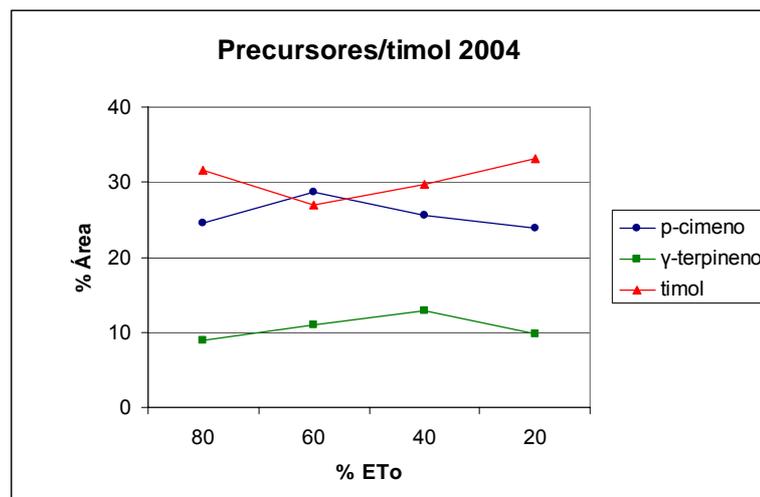


Fig. III.1–10. Estudio comparativo del comportamiento del timol y sus precursores, en función del aporte hídrico.

Por último, el carvacrol, cuya producción se ve afectada por el riego tanto en 2002 y 2003, presenta en 2004 unos porcentajes más igualados, de forma que ya no hay diferencias entre tratamientos.

Teniendo todo esto en cuenta, se puede afirmar que, si bien la variabilidad intraespecífica y la climatología influyen de nuevo en estos resultados, es posible advertir una tendencia en los tomillos hacia el equilibrio entre los distintos tratamientos, ya que, aunque en un principio la respuesta de las plantas ante la modificación de los suplementos hídricos que reciben se traduce en una alteración en la síntesis de componentes volátiles, efecto que se hace patente en 2002, tales plantas se readaptan a la nueva situación, imponiéndose el condicionamiento genético y logrando una síntesis de componentes relativamente estable, sin influencias del riego, aunque la producción de timol acaba viéndose favorecida en esta especie por aportes de agua mínimos.

La predisposición observada, que conduce a la equivalencia entre tratamientos, coincide con lo publicado por Ložienė y Venskutonis (2005), trabajo en el que queda de manifiesto que una modificación repentina de las condiciones de crecimiento de *Th. pulegioides* puede afectar al perfil

volátil de algunas de estas plantas, las cuales, transcurrido un tiempo, recuperan una composición similar a la que mostraban originalmente. La conclusión alcanzada apunta a una composición cualitativa estable del aceite esencial de estos individuos, la cual estaría predeterminada genéticamente.

B) Primavera.

Por lo que respecta a la primavera de 2004 (Tabla III.1–17), ninguno de los componentes considerados en dicha recolección ve afectada su síntesis por el aporte hídrico recibido.

(*E*)-cariofileno, aloaromadendreno, valenceno y δ -cadineno, hidrocarburos terpénicos más complejos estructuralmente, tienden a disminuir su concentración respecto a invierno con todos los tratamientos hídricos. El resto de los terpenos, en general, son más abundantes en primavera, aunque en algunos casos, como canfeno, verbeneno, α -terpineno, p-cimeno, (*E*)- β -ocimeno, γ -terpineno y terpinoleno, el porcentaje alcanzado en promedio en la segunda recolección aumenta respecto a la primera sólo con determinados tratamientos. El p-cimeno, en concreto, incrementa su proporción en junio únicamente con el 40% de la ETo.

(*E*)-hidrato de sabineno, alcohol que en invierno mejora su respuesta con el aporte hídrico más bajo, disminuye sus porcentajes en primavera con dicho tratamiento, de manera que en la segunda recolección las concentraciones están más igualadas y las diferencias entre los distintos niveles de agua no son significativas.

En los aldehídos, se puede apreciar una tendencia a mejorar su concentración relativa respecto a la de invierno con el 40 y 20% de la ETo, especialmente en el caso de geranial y perialdehído.

Tabla III.1–17. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo timol, en función del aporte hídrico (Primavera 2004).

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80	60	40	20
Hidrocarburos Terpénicos					
α -Tujeno*	940	0,97 \pm 0,22	1,08 \pm 0,08	1,02 \pm 0,14	0,96 \pm 0,14
α -Pinoeno	949	3,43 \pm 2,95	1,91 \pm 0,36	2,77 \pm 1,75	2,58 \pm 1,47
Canfeno	969	0,49 \pm 0,45	3,05 \pm 1,97	0,92 \pm 0,86	1,90 \pm 1,90
Verbeneno*	976	0,08 \pm 0,05	0,08 \pm 0,04	0,10 \pm 0,05	0,14 \pm 0,09
Sabineno	1001	0,22 \pm 0,17	0,21 \pm 0,11	0,34 \pm 0,26	0,31 \pm 0,30
β -Pinoeno	1007	0,32 \pm 0,21	0,40 \pm 0,25	0,44 \pm 0,31	0,41 \pm 0,34
Mirceno	1026	1,09 \pm 0,39	0,95 \pm 0,17	0,96 \pm 0,06	1,11 \pm 0,41
α -Felandreno	1042	0,20 \pm 0,06	0,18 \pm 0,03	0,21 \pm 0,03	0,19 \pm 0,02
α -Terpinoeno	1058	1,38 \pm 0,50	1,43 \pm 0,38	1,54 \pm 0,25	1,23 \pm 0,22
p-Cimeno	1068	23,55 \pm 6,36	22,54 \pm 3,77	27,70 \pm 3,08	19,59 \pm 7,21
Limoneno	1073	1,64 \pm 0,68	1,28 \pm 0,24	1,60 \pm 0,48	1,52 \pm 0,27
(<i>E</i>)- β -Ocimeno*	1097	0,30 \pm 0,46	0,85 \pm 1,33	0,27 \pm 0,55	0,98 \pm 1,70
γ -Terpinoeno	1109	12,01 \pm 4,86	13,26 \pm 5,80	13,44 \pm 2,60	9,63 \pm 1,60
Terpinoleno + (<i>E</i>)-Óxido de linalol	1141	0,21 \pm 0,04	0,25 \pm 0,07	0,21 \pm 0,05	0,20 \pm 0,05
(<i>E</i>)-Cariofileno	1419	0,66 \pm 0,28	0,84 \pm 0,18	0,52 \pm 0,30	0,47 \pm 0,35
Aloaromadendreno	1465	0,06 \pm 0,01	0,09 \pm 0,02	0,07 \pm 0,05	0,08 \pm 0,03
Valenceno	1510	0,31 \pm 0,18	0,34 \pm 0,17	0,48 \pm 0,27	0,40 \pm 0,20
δ -Cadineno	1553	0,12 \pm 0,05	0,13 \pm 0,02	0,11 \pm 0,08	0,06 \pm 0,01
Alcoholes					
1-Octen-3-ol	1009	0,13 \pm 0,09	0,31 \pm 0,09	0,15 \pm 0,13	0,22 \pm 0,14
(<i>E</i>)-Hidrato de sabineno	1116	0,49 \pm 0,10	0,64 \pm 0,21	0,76 \pm 0,59	0,60 \pm 0,20
(<i>Z</i>)-Hidrato de sabineno*	1151	0,21 \pm 0,17	0,24 \pm 0,10	0,17 \pm 0,05	0,18 \pm 0,07
Linalol	1152	1,92 \pm 0,77	3,03 \pm 1,12	1,61 \pm 0,43	2,15 \pm 0,47
(<i>E</i>)-Pinocarveol	1186	0,17 \pm 0,05	0,14 \pm 0,06	0,19 \pm 0,09	0,23 \pm 0,09
(<i>Z</i>)-Verbenol	1189	0,67 \pm 0,45	0,54 \pm 0,20	0,77 \pm 0,39	0,92 \pm 0,29
Borneol	1211	1,41 \pm 1,00	8,77 \pm 5,23	2,61 \pm 2,42	6,22 \pm 6,32
Terpinen-4-ol	1220	0,73 \pm 0,27	0,63 \pm 0,09	0,79 \pm 0,49	0,62 \pm 0,21
p-Cimen-8-ol	1227	0,17 \pm 0,04	0,14 \pm 0,04	0,24 \pm 0,04	0,20 \pm 0,09
α -Terpineol	1231	0,66 \pm 0,34	0,42 \pm 0,09	0,76 \pm 0,52	0,70 \pm 0,47
Espatuleno	1640	0,31 \pm 0,15	0,32 \pm 0,18	0,39 \pm 0,26	0,36 \pm 0,13
Aldehídos					
Mirtenal + Dihidrocarvona	1235	0,14 \pm 0,07	0,11 \pm 0,04	0,16 \pm 0,05	0,17 \pm 0,14
Decanal	1243	0,13 \pm 0,09	0,11 \pm 0,06	0,21 \pm 0,14	0,22 \pm 0,19
Geranial + Perialdehído	1292	0,18 \pm 0,14	0,12 \pm 0,06	0,15 \pm 0,04	0,19 \pm 0,10
Cetonas					
3-Octanona	1019	0,08 \pm 0,05	0,09 \pm 0,02	0,05 \pm 0,04	0,11 \pm 0,08
Alcanfor	1193	0,96 \pm 0,56	1,31 \pm 0,39	1,07 \pm 0,22	1,57 \pm 0,79
Verbenona	1245	4,17 \pm 2,84	2,18 \pm 1,18	3,63 \pm 1,53	4,32 \pm 1,08
Éster					
Acetato de bornilo	1302	0,12 \pm 0,08	0,18 \pm 0,12	0,06 \pm 0,01	0,30 \pm 0,37

Tabla III.1-17 (continuación)

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80	60	40	20
Fenoles					
Éter metílico de timol	1265	0,60 ± 0,48	0,05 ± 0,03	0,31 ± 0,41	0,72 ± 0,97
Éter metílico de carvacrol	1272	0,30 ± 0,17	0,40 ± 0,40	0,07 ± 0,04	0,12 ± 0,07
Timol	1308	30,14 ± 3,68	24,14 ± 4,59	22,94 ± 4,84	28,34 ± 6,56
Carvacrol	1314	1,82 ± 0,31	1,46 ± 0,34	1,63 ± 0,37	1,91 ± 0,54
Epóxido					
Óxido de cariofileno	1650	0,26 ± 0,17	0,27 ± 0,04	0,23 ± 0,06	0,21 ± 0,13
Éter					
1,8-Cineol	1076	2,79 ± 3,80	1,37 ± 1,37	4,13 ± 4,54	3,25 ± 4,40

^a Valores con idéntico superíndice en la misma línea no presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$).

± Desviación estándar.

* Identificación tentativa.

I. R. Índices de Kovats (HP-5).

Y las cetonas muestran mejores promedios en la recolección de junio si se aplica el aporte hídrico más bajo. Por su parte, el acetato de bornilo incrementa su presencia en el aceite esencial en primavera con todos los tratamientos, salvo el 40% de la ETo.

El timol, por el contrario, es menos abundante en la recolección de primavera, y el mejor promedio en esta recolección se obtiene con el nivel de agua más alto, aunque no es significativamente diferente del resto. En este punto se debe mencionar que en primavera de 2002, el resultado conseguido con dicho aporte hídrico es significativamente superior a los alcanzados con los otros tratamientos.

Lo que ocurre es que este fenol ha incrementado su concentración en la segunda recolección de 2004 respecto a la de 2002 especialmente con el 60, 40 y 20% de la ETo, por lo que los porcentajes obtenidos en este tercer año de ensayo están bastante ponderados, compensándose las diferencias observadas en 2002.

En la Figura III.1–11 se puede apreciar el comportamiento de las plantas en cuanto a la síntesis de timol en función del riego.

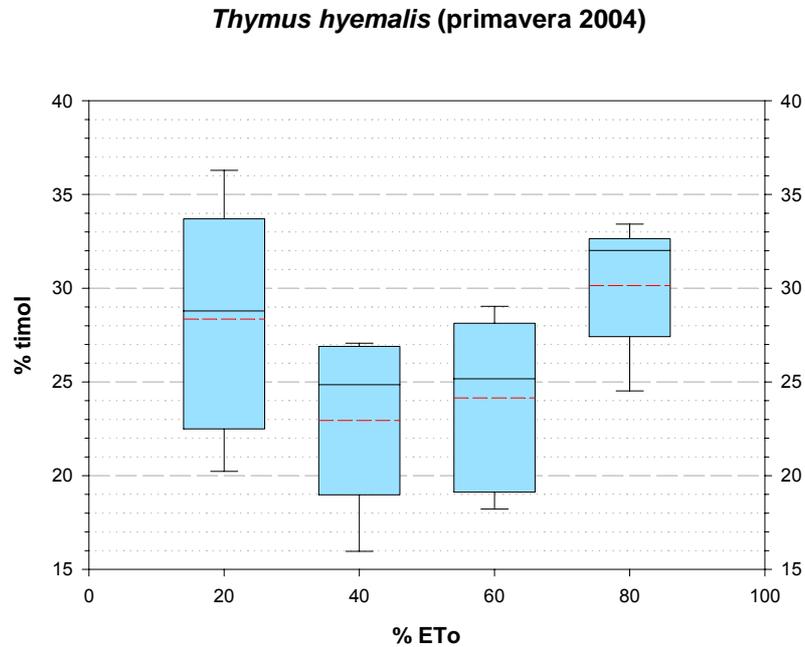


Fig. III.1–11. Distribución de las plantas según su contenido en timol.

En este caso, con el menor suplemento de agua, el valor de la mediana corresponde a una concentración de timol del 28,8%, y con el aporte hídrico más elevado tal valor se sitúa en el 32,0%. Los resultados obtenidos con el 60 y 40% de la ETo son semejantes, determinándose para la mitad de las plantas en ambos tratamientos una concentración de timol igual o inferior al 25%.

Al igual que sucede con el timol, la síntesis de carvacrol no se muestra afectada por el riego en 2004.

Se puede concluir, por todo ello, que la tendencia de las plantas hacia el equilibrio entre tratamientos a medida que transcurre el tiempo también se hace patente en primavera, por lo que en 2004, a diferencia de 2002, la ausencia de diferencias significativas implica que no es

necesario un aporte hídrico elevado para conseguir una buena calidad en el aceite esencial.

Por otra parte, en 2004, de la misma forma que en el primer año de ensayo, se ha realizado un análisis comparativo con los componentes volátiles más abundantes, a fin de determinar si las diferencias entre las concentraciones de invierno y primavera son o no significativas. Los resultados de ese análisis se muestran en la Tabla III.1–18.

Tabla III.1–18. Análisis estadístico comparativo invierno/primavera 2004.

Componentes	% ETo			
	80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Mirceno	ND	ND	ND	ND
p-Cimeno	ND	ND	ND	ND
γ-Terpineno	ND	ND	ND	ND
(E)-Hidrato de sabineno	ND	ND	ND	ND
(Z)-Hidrato de sabineno	ND	ND	ND	ND
Linalol	ND	ND	ND	ND
Alcanfor	ND	ND	ND	ND
Borneol	ND	ND	ND	ND
α-Terpineol	ND	ND	ND	ND
Verbenona	ND	ND	ND	ND
Timol	ND	ND	D	ND
Carvacrol	ND	ND	ND	ND

D = Diferencias estadísticamente significativas entre estaciones ($p < 0,05$).
 ND = No existen diferencias.

En la gran mayoría de componentes los resultados son equiparables en las dos recolecciones, y el incremento en la concentración de timol en invierno respecto a primavera es sólo significativo con el aporte hídrico equivalente al 40% de la ETo. Todo ello confirma que, en este tercer año de ensayo, también en primavera es posible dedicar la cosecha a la obtención de un aceite esencial de

excelentes propiedades con un escaso riego, por lo que la segunda cosecha que presenta esta planta en condiciones de cultivo es interesante ya que asegura una producción adicional de aceite y hoja al agricultor.

Como nota de interés, podemos incluir aquí un apunte sobre el comportamiento específico de algunas plantas en lo referente a la síntesis de compuestos al cambiar de estación. En concreto, se ha detectado que el descenso en timol en la segunda recolección es muy acusado en determinados casos, pudiendo reducirse incluso hasta la mitad, y en algún individuo aumenta notablemente la presencia de linalol o borneol en primavera, descendiendo la concentración de timol.

Las condiciones ambientales y el hecho de realizar dos cortes al año afectan, por lo tanto, a la síntesis de componentes volátiles por parte de estas plantas, siendo esto particularmente evidente en algunas de ellas.

C) Evolución de la influencia del riego en la síntesis de fenoles.

Dada la importancia que actualmente tienen los compuestos fenólicos en el mercado de plantas aromáticas, estudiar el grado de incidencia de las siegas periódicas sobre su producción, es un punto necesario para determinar el interés que pueden tener estas plantas para ser consideradas como un cultivo rentable.

Para una correcta visualización de estos datos, se representan gráficamente, en función del aporte hídrico recibido por las plantas, los porcentajes de timol y carvacrol detectados en los diferentes análisis cromatográficos. Se han empleado con este fin aquellos tomillos para los cuales se ha determinado un quimiotipo timol simple, cuyo perfil volátil se muestra en las Tablas III.1-11, III.1-12, III.1-14, III.1-16 y III.1-17.

En la Figura III.1–12 aparece la evolución de estos componentes correspondiente a las recolecciones de invierno de *Th. hyemalis*.

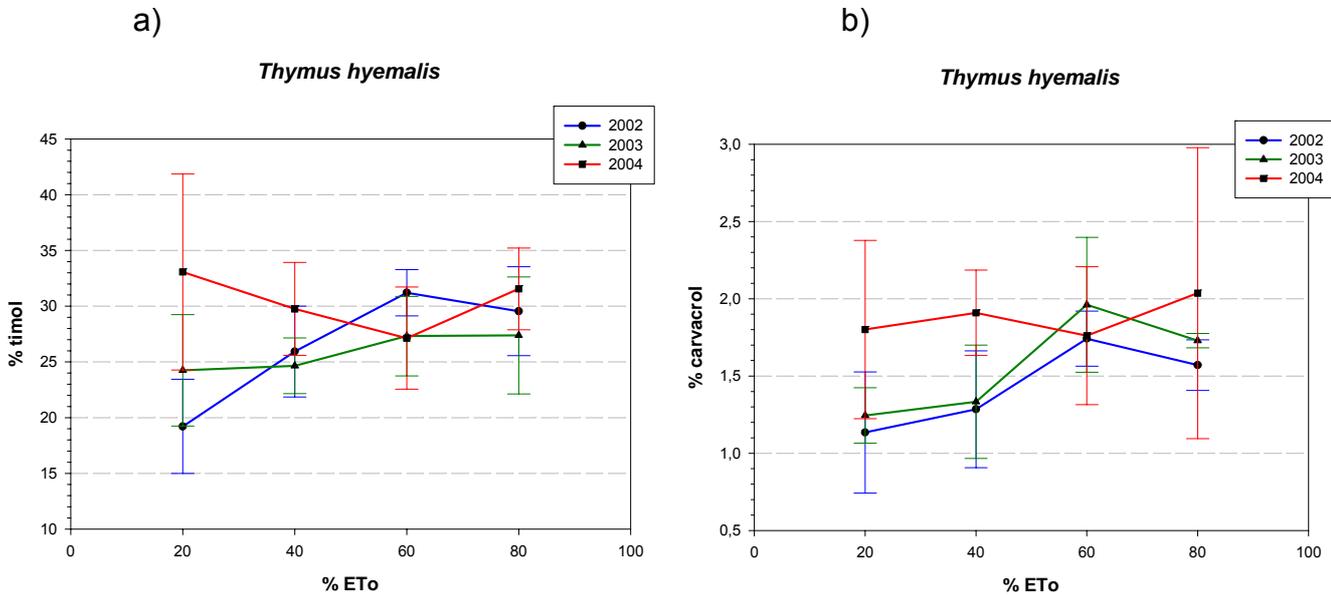


Fig. III.1–12. Evolución de la síntesis de compuestos fenólicos (invierno).

El timol (Figura III.1–12a) eleva en 2004 el promedio alcanzado respecto a 2002 y 2003 con todos los tratamientos, excepto con el 60% de la ET0. La subida es particularmente relevante en el caso del aporte hídrico más bajo, de forma que los porcentajes alcanzados por este fenol en 2004 con el 20% de la ET0 son significativamente superiores a los de los dos años precedentes. Esto es muy importante, ya que confirma que el timol aumenta de forma manifiesta su presencia en el aceite esencial, a medida que pasa el tiempo, cuando a las plantas se les suministra el riego más reducido.

Es interesante destacar que la tendencia observada en la gráfica correspondiente a este componente es prácticamente opuesta en 2002 y 2004, lo que permite apreciar ciertamente la rectificación progresiva de la respuesta de estas plantas ante los distintos suministros de agua.

En el caso del carvacrol (Figura III.1–12b), los riegos equivalentes al 80 y 60% de la ETo tienen un efecto comparable los tres años de estudio, pero los aportes hídricos más bajos afectan a la síntesis de este componente a medida que transcurren las cosechas, ya que los resultados conseguidos en 2004 con el riego necesario para compensar el 40% de la ETo son significativamente superiores a los de 2002 y 2003, en tanto que con el 20%, los porcentajes del último año mejoran significativamente a los del primero.

En *Th. hyemalis*, la trayectoria seguida en cuanto a la producción de timol y carvacrol en función del riego, muestra un cierto paralelismo en 2002 y 2003, con valores que aumentan a medida que se incrementa el riego hasta el 60% de la ETo, y descienden o se mantienen entre el 60 y el 80%. En 2004, sin embargo, la tendencia cambia, invirtiéndose claramente en el caso del timol, en tanto que el carvacrol modifica su respuesta respecto a años anteriores cuando la cantidad de agua se eleva por encima del 40% de la ETo. Esto lleva a pensar que la síntesis de ambos fenoles a partir de p-cimeno acaba viéndose favorecida con suplementos hídricos escasos, ya que los porcentajes determinados en 2004 con niveles bajos de agua mejoran sustancialmente los de años anteriores. Si recordamos que a partir de 2003 ya no hay diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a la producción de timol, podemos concluir que en una plantación establecida, un elevado aporte hídrico no mejora la calidad de estos aceites, lo cual se hace patente ya en el segundo año de ensayo.

Por lo que respecta a la primavera, recolección que sólo se considera en 2002 y 2004, la síntesis de timol (Figura III.1–13a) no muestra diferencias al comparar los valores de los dos años cuando a las plantas se les suministran los mayores aportes hídricos, sin embargo, si esos riegos se reducen hasta el 40 y 20% de la ETo, los resultados de 2004 son significativamente superiores a los de 2002.

El carvacrol (Figura III.1–13b) sólo muestra diferencias entre los dos años con el riego equivalente al 40% de la ETo, con el que se obtienen resultados significativamente mejores en 2004. Con el 20%, aunque superiores en promedio en dicho año, los porcentajes no son manifiestamente distintos en las dos recolecciones.

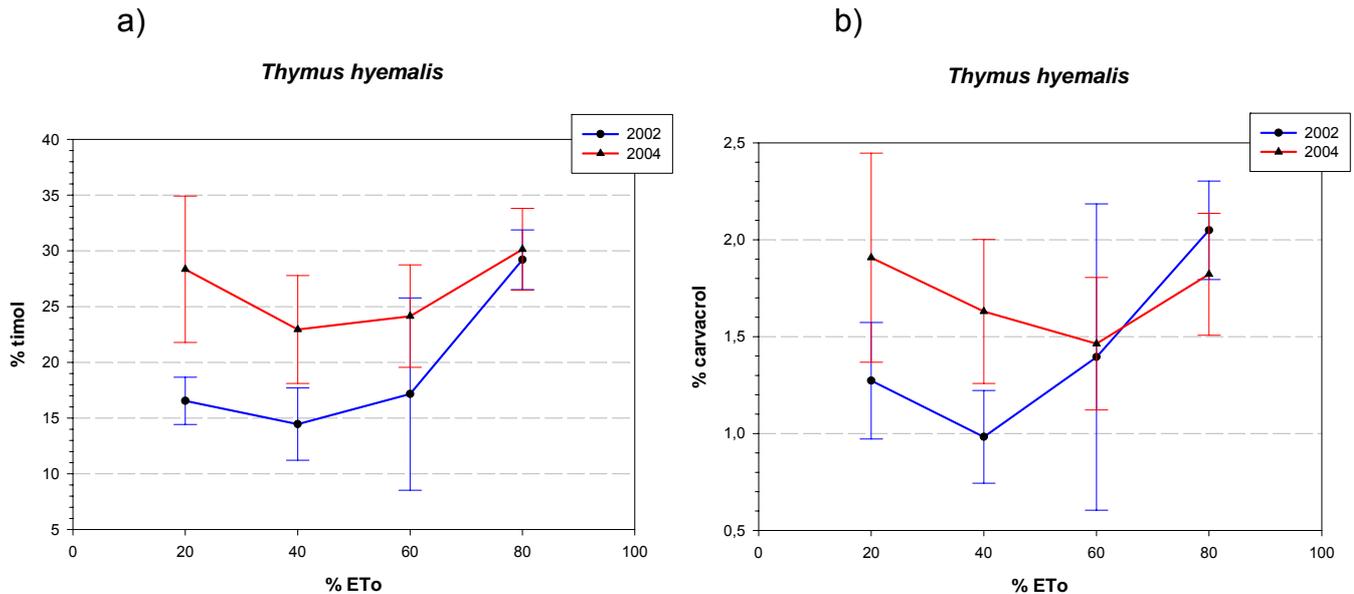


Fig. III.1–13. Evolución de la síntesis de compuestos fenólicos (primavera).

Analizado en detalle el quimiotipo timol, continuamos, de forma más resumida, con la exposición del resto de quimiovariedades encontradas en *Th. hyemalis*.

Quimiotipo fenólico, con timol \leq 20%

El segundo grupo que aparece en la Tabla III.1–15 lo componen individuos con quimiotipo fenólico, pero con una concentración de timol que oscila entre el 12 y el 20%, inferior a la que presentan las plantas del apartado precedente, y un contenido en carvacrol del 0,9 al 5,5%. Estos tomillos suponen el 16,51% de la población, y se caracterizan por mostrar

altas concentraciones de los precursores p-cimeno y γ -terpineno (hasta un 45% con la suma de ambos), características de los quimiotipos fenólicos, pero también muestran porcentajes elevados de otros componentes, como α -pineno (2,2–6,7%), canfeno (1,2–3,5%), 1,8-cineol (2,3–7,4%), (*E*)-hidrato de sabineno (2,3–13,0%), (*Z*)-hidrato de sabineno (2,8–8,1%), linalol (2,3–8,0%), borneol (2,4–11,4%), terpinen-4-ol (2,6–7,0%), y verbenona (2,8–9,0%). La presencia en cantidades relativamente altas de todos estos componentes origina un descenso en el porcentaje de timol detectado por el cromatógrafo, aunque continúa siendo el componente mayoritario.

Quimiotipo fenólico, con timol \leq 20%, y precursores elevados

La tercera categoría está constituida por plantas que manifiestan igualmente quimiotipo fenólico, pero con una presencia dominante de ambos precursores, especialmente p-cimeno. Estas plantas representan un porcentaje del 7,34%, y en ellas el timol se encuentra en una proporción fijada entre el 10 y el 20%. Estos individuos se han considerado en un grupo separado de los anteriores porque en ellos, la suma de p-cimeno y γ -terpineno supera el 50% del porcentaje de área, pudiendo alcanzar casi el 70% en algún caso. El p-cimeno es el constituyente más abundante en estas plantas, mostrando una concentración que se sitúa entre el 30 y el 50%. El γ -terpineno suele estar en menor concentración, oscilando entre 5 y 27%. Ambos terpenos mantienen sus niveles elevados independientemente del estado fenológico de la planta, por lo que parece que se trata de tomillos que no son capaces de sintetizar altas cantidades de timol a partir de sus precursores.

A modo de ejemplo, podemos ver la evolución de una de estas plantas en dos recolecciones diferentes: invierno de 2003 e invierno de 2004.

	<i>Inv 03</i>	<i>Inv 04</i>
Estado fenológico	FL-fr	FL-FR
p-cimeno	57,2%	48,9%
γ-terpineno	4,7%	9,4%
Timol	9,2%	13,8%

FL: floración

FR: fructificación; fr: fructificación apenas iniciada

Como se puede apreciar, el contenido en timol varía levemente de un año a otro, incrementándose su cantidad en 2004, pero sin alcanzar concentraciones elevadas. Es importante recordar que estas plantas se deben recolectar cuando se encuentran en floración-fructificación, ya que este es el estado fenológico más adecuado tanto en lo referente a la producción de biomasa como al rendimiento y calidad del aceite esencial (Sotomayor, 1998; Jordán *et al.*, 2006). Teniendo esto en cuenta, se observa que los porcentajes de p-cimeno y γ-terpineno se muestran diferentes los dos años. Tales diferencias pueden ser debidas a que la planta se encontrase en 2003 en un momento más temprano de su ciclo fenológico, habiendo transcurrido menos tiempo desde el inicio de la fructificación que en 2004 en el momento de su recolección, por lo que en dicho año la ruta que conduce a la síntesis de timol a partir de p-cimeno se ha completado, de ahí el mayor contenido en el fenol, y el porcentaje más bajo de su precursor inmediato, y por otra parte, se está comenzando a sintetizar más γ-terpineno, preparando un nuevo ciclo.

Quimiotipo mixto α-terpineol/timol

Con este quimiotipo encontramos un 6,42% de la población. Estas plantas se caracterizan por presentar un porcentaje elevado de ambos componentes, mostrando un perfil volátil que se puede resumir como se presenta en la Tabla III.1–19, en la que aparecen únicamente aquellos constituyentes que en algún caso alcanzan una concentración superior al

1%, con los valores máximos y mínimos que presentan entre las distintas plantas.

Proporciones relativas de α -terpineol tan elevadas como los que se muestran aquí no han sido detectadas por Sotomayor (1998), ni por Sáez (1996). Este último autor encuentra cantidades relativas de este alcohol que oscilan entre 0 y 16,1%.

Tabla III.1–19. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo mixto α -terpineol/timol.

Componentes	Concentración (%)
α -Pino	0,28 – 2,07
Mirceno	1,01 – 1,73
α -Terpineno	1,14 – 2,35
p-Cimeno	11,44 – 25,01
Limoneno	0,81 – 1,46
(<i>E</i>)- β -Ocimeno*	0,03 – 2,09
γ -Terpineno	6,25 – 14,65
(<i>E</i>)-Hidrato de sabineno	0,39 – 8,46
(<i>Z</i>)-Hidrato de sabineno*	0,11 – 7,04
Borneol	0,31 – 4,79
Terpinen-4-ol	0,34 – 5,49
α -Terpineol	15,12 – 28,68
Verbenona	1,82 – 3,76
Éter metílico de carvacrol	0,04 – 1,05
Timol	15,19 – 22,65
Carvacrol	0,66 – 1,55

* Identificación tentativa.

Como se puede observar en la tabla precedente, los alcoholes (*E*) y (*Z*)-hidrato de sabineno, borneol y terpinen-4-ol también aparecen en porcentajes relativamente altos en las plantas que poseen este quimiotipo, aunque muestran una notable variación entre los tomillos analizados, oscilando entre cantidades mínimas y concentraciones

importantes. La verbenona, componente característico de esta especie, tiene igualmente una presencia marcada en estos aceites.

Quimiotipo linalol

Se presenta en el 5,50% de los casos, y ha sido determinado también por Sáez (1995b). Muestra como componente mayoritario este alcohol, distinguiéndose entre un quimiotipo linalol puro, con cantidades que pueden alcanzar hasta el 74% para este constituyente, y un quimiotipo mixto linalol/acetato de linalilo. La designación de un quimiotipo u otro depende de las concentraciones relativas de ambos componentes.

El primero es más frecuente, presentándose en cuatro de las seis plantas que se han encontrado con esta variedad química, aunque porcentajes de linalol que alcancen el 74% no son usuales, ya que sólo lo hemos encontrado en una de las muestras analizadas.

Los terpenos α -pineno y mirceno son también abundantes en estas plantas, además de p-cimeno y γ -terpineno, compuestos frecuentes en la naturaleza aunque no se trate de quimiotipos fenólicos.

La cosecha de invierno proporciona el siguiente resultado:

Tabla III.1–20. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo linalol.

Componentes	Concentración (%)
α -Pineno	0,15 – 2,04
Mirceno	0,37 – 2,29
p-Cimeno	2,67 – 21,71
Limoneno	0,31 – 1,60
1,8-Cineol	0,01 – 2,94
(<i>E</i>)- β -Ocimeno*	0,02 – 1,29
γ -Terpineno	1,22 – 7,19
Linalol	22,89 – 74,27
Borneol	0,44 – 8,73

Tabla III.1–20 (continuación)

Componentes	Concentración (%)
Terpinen-4-ol	0,16 – 1,52
α -Terpineol	0,18 – 6,03
Verbenona	0,70 – 5,44
Éter metílico de carvacrol	0,02 – 1,34
Geraniol + Acetato de linalilo	0,09 – 26,89
Timol	2,21 – 12,06
Carvacrol	0,08 – 1,18
Acetato de geranilo	0,02 – 2,97
(<i>E</i>)-Cariofileno	0,27 – 1,93

* Identificación tentativa.

Los tomillos con este quimiotipo recolectados en primavera ven disminuido su contenido en linalol respecto a invierno.

Quimiotipo carvacrol

Las plantas que presentan este fenol como componente más abundante suponen el 3,67% de las analizadas. Este quimiotipo aparece en plantas aisladas entre aquellas que contiene timol (Sáez, 1995b).

Los fenoles están ampliamente representados en el género *Thymus*, con el timol como componente más importante en la mayoría de plantas, en tanto que el carvacrol aparece como constituyente mayoritario en un número bastante inferior de individuos. Su precursor común p-cimeno conduce a la síntesis de timol o carvacrol, que se suelen encontrar juntos en la mayoría de las ocasiones, generalmente con la dominancia de uno de ellos. El que predomine un componente u otro está controlado genéticamente, dependiendo de la activación o inhibición de determinadas enzimas de la cadena biosintética de la que ambos son productos finales (Stahl-Biskup, 1991).

Los componentes más destacados encontrados entre estas plantas son:

Tabla III.1–21. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo carvacrol.

Componentes	Concentración (%)
α -Tujeno*	0,85 – 2,14
α -Pino	0,85 – 2,38
Canfeno	0,57 – 1,92
Mirceno	0,94 – 8,94
α -Terpineno	1,23 – 2,23
p-Cimeno	11,67 – 26,45
Limoneno	0,67 – 1,83
1,8-Cineol	0,02 – 2,19
(E)- β -Ocimeno*	0,05 – 2,22
γ -Terpineno	7,63 – 17,99
(E)-Hidrato de sabineno	0,40 – 3,86
(Z)-Hidrato de sabineno*	0,11 – 6,38
Linalol	0,37 – 2,11
Alcanfor	0,63 – 1,26
Borneol	1,83 – 6,43
Terpinen-4-ol	0,36 – 4,46
Verbenona	1,25 – 3,31
Éter metílico de carvacrol	0,22 – 1,42
Timol	0,35 – 4,79
Carvacrol	20,88 – 40,11

* Identificación tentativa.

En la segunda recolección se aprecia en general un descenso en el contenido de ambos fenoles, más señalada en el caso del timol.

Quimiotipo mixto, borneol/timol

Determinado en el 2,75% de las plantas analizadas, este quimiotipo mixto se caracteriza por presentar una alta concentración de ambos

componentes, que en uno de los casos es bastante similar, en tanto que en los otros dos tomillos encontrados con este quimiotipo el borneol es más abundante que el timol.

Los aceites de estas plantas muestran un perfil volátil que se resume en la Tabla II.1–22.

La presencia del precursor p-cimeno en estos aceites supera a la del timol, y en una de las muestras, el linalol alcanza un porcentaje muy similar al del fenol.

Tabla III.1–22. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo mixto borneol/timol.

Componentes	Concentración (%)
α-Pineno	0,62 – 3,66
Canfeno	4,33 – 5,54
Mirceno	0,55 – 1,04
α-Terpineno	0,49 – 1,94
p-Cimeno	10,00 – 24,58
Limoneno	0,89 – 1,93
(E)-β-Ocimeno*	0,01 – 1,93
γ-Terpineno	3,49 – 11,44
(E)-Hidrato de sabineno	0,54 – 6,49
Linalol	0,82 – 11,23
Alcanfor	1,69 – 2,94
Borneol	14,72 – 17,84
Terpinen-4-ol	0,83 – 4,46
α-Terpineol	0,23 – 4,70
Verbenona	3,09 – 4,99
Éter metílico de timol	0,14 – 1,30
Timol	9,79 – 17,27
Carvacrol	0,98 – 5,44

* Identificación tentativa.

Sáez (1996), también encuentra niveles elevados de borneol (hasta 18,1%) en individuos con altas concentraciones de timol y, especialmente, de ambos precursores fenólicos. Por su parte, Jiménez *et al.* (1989)

apuntan a la existencia de una ruta biosintética preferente, cuyo producto final serían los fenoles, y una segunda vía que conduce a la formación de borneol.

Es interesante mencionar que en estas plantas, la relación borneol/timol varía en primavera respecto a invierno, desplazándose en la segunda recolección hacia un mayor contenido en timol. Es posible, a falta de más ensayos, que en estos tomillos se active en primavera la síntesis de timol en respuesta a la temperatura más elevada de esta estación. Por eso pasaría de tener un quimiotipo mixto en invierno a un quimiotipo simple en primavera, con el fenol como componente destacado. En las plantas cuyo perfil se muestra en las Tablas III.1–16 y III.1–17, que presentan en invierno y en primavera el timol como constituyente mayoritario, éste disminuye su concentración en la segunda recolección, lo cual contradice lo anterior. Sin embargo, se debe considerar que en primavera las plantas disponen de menos tiempo para completar su ciclo fenológico, y la etapa de floración-fructificación, en la que se suele encontrar el máximo contenido en timol, es más corta, acelerándose la entrada en plena fructificación, por lo que la síntesis de timol no puede alcanzar los porcentajes de invierno. Las plantas con quimiotipo mixto, cuyo porcentaje de timol no es tan elevado en invierno, sí podrían alcanzar concentraciones más altas de este componente en primavera.

Quimiotipo mixto, linalol/timol

Estos tomillos representan el 1,83% de la población analizada. En ellos, también α -pineno, 1,8-cineol y borneol alcanzan valores elevados, así como terpenos menos volátiles, como (*E*)-cariofileno y valenceno.

En la Tabla III.1–23, en la que se muestra el perfil volátil de las dos plantas estudiadas, es posible observar que los porcentajes de linalol y timol son bastante parecidos en los tomillos que manifiestan este quimiotipo.

Tabla III.1–23. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo mixto linalol/timol.

Componentes	Concentración (%)	
	Muestra 1	Muestra 2
α -Pino	2,18	2,67
Canfeno	1,44	1,23
Mirceno	0,86	1,41
α -Terpino	0,57	1,05
p-Cimeno	13,87	16,38
Limoneno	0,84	1,56
1,8-Cineol	12,58	5,38
(<i>E</i>)- β -Ocimeno*	0,05	1,47
γ -Terpino	4,52	9,78
Linalol	18,56	16,62
Alcanfor	1,36	1,06
Borneol	6,17	4,67
α -Terpineol	1,44	0,98
Verbenona	4,09	4,75
Éter metílico de carvacrol	1,16	1,20
Timol	15,02	16,50
Carvacrol	0,45	0,29
(<i>E</i>)-Cariofileno	0,95	2,07
Valenceno	1,03	0,65

* Identificación tentativa.

En primavera se pudo analizar de nuevo una de estas plantas (muestra 2), advirtiéndose un marcado descenso en su contenido en linalol (5,89%). También baja, aunque de forma más ligera, el porcentaje de timol (13,60%). El 1,8-cineol reduce igualmente de forma notable su presencia en el aceite en primavera (0,02%), en tanto que se elevan las concentraciones de (*E*)-hidrato de sabineno (de 0,40 a 1,56%), (*Z*)-hidrato de sabineno (de 0,10 a 2,24%) y terpinen-4-ol (de 0,43 a 3,52%).

Quimiotipo α -terpineol

Esta variedad química se presenta en un porcentaje de plantas idéntico al anterior, 1,83%. En este quimiotipo, a diferencia del mixto α -terpineol/timol, la concentración del alcohol es claramente superior a la del fenol.

La presencia de precursores fenólicos también destaca en estos aceites esenciales, junto al linalol y 1,8-cineol, que pueden alcanzar una proporción superior al 4%. En la siguiente tabla se representa la concentración relativa de los principales constituyentes de las dos muestras recolectadas.

Tabla III.1–24. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo α -terpineol.

Componentes	Concentración (%)	
	Muestra 1	Muestra 2
α -Pino	1,14	0,21
Mirceno	1,87	1,60
p-Cimeno	22,39	8,00
Limoneno	1,58	0,59
1,8-Cineol	4,06	1,95
(E)- β -Ocimeno*	1,60	3,11
γ -Terpineno	7,34	7,85
Linalol	3,98	4,06
Borneol	2,34	2,67
α -Terpineol	30,95	48,73
Verbenona	3,77	0,72
Timol	5,38	11,36
Carvacrol	0,42	0,20

* Identificación tentativa.

Plantas con este quimiotipo no pudieron ser recolectadas en primavera.

Quimiotipos cuyo porcentaje no supera el 0,92%

Los cuatro últimos grupos de la Tabla III.1–15 se van a considerar en el mismo apartado, ya que su baja presencia en la población puede indicar que no se trata de variedades químicas, sino de hibridaciones puntuales con otras especies de tomillo.

- El quimiotipo *1,8-cineol* ha sido encontrado en *Th. hyemalis* por otros autores, como Cabo *et al.* (1986) y Cabo *et al.* (1987), que definen este componente como el más importante en plantas recolectadas en Almería y Granada, con un porcentaje que oscila entre 13,3 y 26,8%, en función de la zona y la época de recolección. Parece, por lo tanto, que se trata realmente de una variedad química definida, aunque no muy frecuente en la zona del Campo de Cartagena, de donde proceden las semillas empleadas en el presente estudio.

En los trabajos previos citados aparecen, además, cantidades elevadas de mirceno (hasta 31,3%), linalol (hasta 7,3%) y alcanfor (hasta 20,9%). Esos mismos componentes no alcanzan concentraciones tan elevadas en la muestra recolectada en nuestra parcela, detectándose porcentajes de 1,27%, 0,56%, y 0,62%, respectivamente, para cada uno de ellos.

En nuestro caso, el aceite esencial analizado se caracteriza por una presencia importante de eucaliptol, además de α -pineno, α -terpineol y timol, como puede verse en la tabla que se incluye en este apartado.

La distribución de los componentes más abundantes quedaría de la siguiente forma:

Tabla III.1–25. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo 1,8-cineol.

Componentes	Concentración (%)
α -Pino	5,79
β -Pino	2,17
Mirceno	1,27
p-Cimeno	19,53
1,8-Cineol	29,57
γ -Terpino	7,10
Borneol	2,58
α -Terpineol	8,60
Verbenona	1,41
Timol	8,80
Carvacrol	0,96

• El quimiotipo mixto binario *carvacrol/(E)-hidrato de sabineno* encontrado podría deberse a la introgresión con *Th. baeticus*, especie que convive con *Th. hyemalis*. La planta en la que se determina este perfil volátil se recolectó tanto en invierno como en primavera (Tabla III.1–26).

La cantidad de carvacrol y sus precursores es semejante en las dos recolecciones, con variaciones apenas reseñables.

Tabla III.1–26. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo mixto carvacrol/(E)-hidrato de sabineno.

Componentes	Concentración (%)	
	Inv.	Prim.
α -Pino	5,32	5,84
α -Terpino	2,62	3,56
p-Cimeno	14,46	13,10
Limoneno	2,88	3,30
γ -Terpino	15,48	17,04
(E)-Hidrato de sabineno	10,09	4,69
Linalol	4,36	4,25
Borneol	3,62	2,59
Terpinen-4-ol	6,52	10,83

Tabla III.1–26 (continuación)

Componentes	Concentración (%)	
	Inv.	Prim.
Verbenona	6,14	4,69
Timol	0,19	0,15
Carvacrol	8,86	10,01

Por otra parte, esta planta ilustra la correlación existente entre (*E*)-hidrato de sabineno y terpinen-4-ol, con porcentajes que pasan de 10,1 y 6,5%, respectivamente, en invierno, a 4,7 y 10,8% en primavera, es decir, cuando uno de estos compuestos incrementa su presencia en el aceite, el otro la reduce, por lo que parece confirmarse que terpinen-4-ol es precursor de (*E*)-hidrato de sabineno (Sotomayor, 1998).

- Otro quimiotipo mixto, *linalol/α-terpineol*, se detecta también en una sola planta, aunque los quimiotipos simples determinados por los dos alcoholes por separado son más abundantes. Los componentes más importantes en este tomillo son los que aparecen en la Tabla III.1–27.

Tabla III.1–27. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo mixto linalol/α-terpineol.

Componentes	Concentración (%)
α-Pineno	2,13
p-Cimeno	9,62
γ-Terpineno	6,42
(<i>E</i>)-Hidrato de sabineno	2,82
Linalol	19,08
Terpinen-4-ol	4,16
α-Terpineol	19,93
Verbenona	6,25
Timol	6,79
Carvacrol	0,44

• Por último, el quimiotipo mixto *mirceño/hidrato de sabineno* presenta una concentración destacada del terpeno, así como de (*E*) y (*Z*)-hidrato de sabineno. Como se ha comentado anteriormente, concentraciones tan altas de mirceño se han encontrado antes en *Th. hyemalis*, por parte de Cabo *et al.* (1986) y Cabo *et al.* (1987), en plantas ricas en 1,8-cineol.

Tabla III.1–28. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo mixto linalol/hidrato de sabineno.

Componentes	Concentración (%)
α -Tujeno*	3,21
α -Pino	6,64
Mirceño	20,76
p-Cimeno	5,78
Limoneno	2,83
1,8-Cineol	3,27
γ -Terpineno	4,31
(<i>E</i>)-Hidrato de sabineno	7,69
(<i>Z</i>)-Hidrato de sabineno*	13,25
Terpinen-4-ol	5,68
Verbenona	4,65
Timol	3,33
Carvacrol	0,23

* Identificación tentativa.

Esta riqueza en quimiotipos justifica la importancia comercial de este tomillo, ya que su variabilidad, asociada a una elevada actividad antioxidante y antimicrobiana, le permite ofrecer numerosas opciones a las diferentes industrias, que pueden seleccionar aquellas plantas que respondan mejor a sus intereses.

En este sentido, se ha realizado un estudio de las propiedades antioxidantes de los aceites esenciales de esta especie, empleando para ello muestras pertenecientes a la recolección de 2004. Los resultados

obtenidos varían en base al perfil volátil de cada muestra (Lax *et al.*, 2007).

Por lo que respecta al quimiotipo timol, se seleccionan los aceites de tres plantas, en los cuales se observan porcentajes de este fenol del 46, 36 y 25%, determinándose para tales aceites una actividad antirradicalaria (AA) del 60, 69 y 75% respectivamente, medida en base a su capacidad de captación del radical DPPH* (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo). Como se puede ver, el poder antioxidante de estas sustancias no se relaciona directamente con un alto contenido en timol, ya que la muestra más efectiva de las tres ensayadas es la que presenta una distribución más homogénea de sus constituyentes, especialmente en lo que se refiere al timol y su precursor p-cimeno.

Por otra parte, Rota *et al.* (2008) estudian las propiedades antibacterianas de diferentes aceites esenciales, constando que el procedente de *Th. hyemalis*, con un contenido en timol del 43%, resulta ser el más activo frente a bacterias que se transmiten a través de los alimentos.

Las cualidades de estas sustancias como agentes antimicrobianos o antioxidantes se asocian generalmente a su contenido fenólico, quedando de manifiesto que lograr el óptimo de eficacia requiere concentraciones relativas de timol más o menos elevadas en función de la actividad realizada por dichas sustancias.

En el trabajo de Lax *et al.* (2007) aparecen reflejados también los resultados obtenidos con otros quimiotipos descritos en *Th. hyemalis*.

El aceite esencial rico en carvacrol, con un contenido en dicho componente del 21%, demuestra ser un excelente agente antioxidante, ya que la AA medida en este caso es del 69%, lo que parece indicar que se precisa un menor porcentaje de carvacrol que de timol, en los aceites con quimiotipo fenólico, para conseguir un resultado equiparable. Sin embargo, analizando la efectividad de ambos componentes en solitario, el timol parece ser mejor antioxidante que el carvacrol (Yanishlieva *et al.*, 1999; Youdim *et al.*, 2002). Esto confirma la existencia de relaciones

sinérgicas entre los constituyentes mayoritarios de estas sustancias y aquellos que se encuentran en menor proporción, favoreciendo estas interacciones la eficacia de los aceites ricos en carvacrol.

Para el quimiotipo mixto borneol/timol, con porcentajes del 18% para el alcohol y 12% para el fenol, se señala igualmente una capacidad de captación del DPPH• del 69%. La planta estudiada revela además un alto contenido en linalol (11%).

Con relación a este alcohol, corresponde mencionar que la AA es también elevada en aceites con quimiotipo mixto linalol/timol, estimándose un valor de la misma del 67% en la muestra analizada. En dicha muestra se detectan concentraciones relativas de linalol y timol del 19 y 15% respectivamente, presentando también una cantidad de 1,8-cineol del 13%.

La efectividad disminuye en los tomillos con quimiotipo linalol puro. Un porcentaje de este alcohol del 74%, con una proporción de timol del 4%, manifiesta un poder de captación del radical DPPH• del 41%. El menor contenido fenólico es el principal responsable de este descenso.

Lo mismo ocurre con el α -terpineol, ya que aceites con un porcentaje mayoritario de este alcohol (cercano al 49%) no son tan buenos agentes antioxidantes como aquellos caracterizados con un quimiotipo mixto α -terpineol/timol, con una cantidad relativa del 15% para ambos componentes, y una AA del 58%, frente al 49% del quimiotipo puro.

Para terminar, con los datos reflejados en este trabajo ha quedado de manifiesto la necesidad de realizar una selección de estos tomillos previa a la plantación, tanto para generar plantas resistentes a las siegas como para asegurar la calidad del aceite esencial y ofrecer un contenido en timol, componente más apreciado, adecuado a las exigencias del mercado.

III. 1. **THYMUS HYEMALIS.**

A pesar del importante contenido fenólico que puede presentar su aceite esencial, *Th. hyemalis* no se cultiva habitualmente con fines comerciales, siendo su recolección en el monte la principal fuente de este tomillo en el mercado de las plantas aromáticas, lo que supone una dificultad a la hora de asegurar la calidad del producto presentado, debido a la gran variabilidad que presenta esta especie. Dado su potencial interés económico, se han establecido cultivos experimentales previos de esta labiada por parte de Sánchez Gómez *et al.* (1989) y Sotomayor (1998), ambos en condiciones de secano; y Sotomayor *et al.* (2001), en regadío.

En el presente ensayo hemos comprobado que esta especie produce dos cosechas anuales cuando se cultiva con regadío, ya que tras realizar una primera siega en invierno, su momento natural de floración, se origina un nuevo ciclo de desarrollo de la planta que culmina en primavera. Esto también puede ocurrir en plantas que crecen en estado silvestre, aunque únicamente cuando se dan inviernos suaves y primaveras lluviosas.

En general, las recolecciones de primavera generan menor cantidad de biomasa y aceite esencial, siendo este aceite además, en promedio, menos rico en compuestos fenólicos.

III. 1. 1. **EFFECTO DE LAS SIEGAS SOBRE LA SUPERVIVENCIA DE LAS PLANTAS.**

En primer lugar, analizamos las marras ocasionadas con los distintos tratamientos hídricos a lo largo de los tres años que comprende el ensayo (Tabla III.1-1). En esta tabla queda de manifiesto que suministrar un escaso riego a esta especie favorece su asentamiento en el terreno, dado que el porcentaje de marras observado el tercer año de

ensayo, con una cantidad de agua equivalente al 20% de la ETo, es inferior al que nos encontramos en 2002, con menos cortes, en los otros tres tratamientos.

Tabla III.1-1. Porcentaje de marras ocasionadas a lo largo de los tres años de cultivo.

	% ETo			
	80	60	40	20
	% marras			
2002	58	55	46	19
2003	66	62	54	29
2004	71	65	64	42

Estos mismos resultados se pueden apreciar gráficamente en la Figura III.1-1, donde están representadas las plantas de *Th. hyemalis* que han persistido por tratamientos y años.

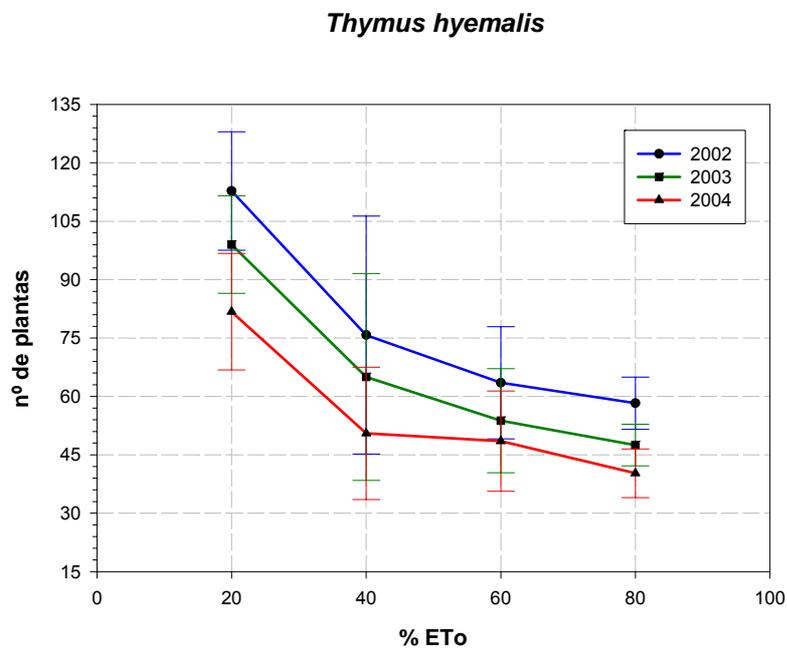


Fig. III.1-1. Número de plantas vivas, en función de la ETo, encontradas en los tres años de estudio.

Estas plantas han sido contadas siempre en los meses de verano, tras la segunda recolección. Se debe recordar que el número inicial de plantas es de 140 por subparcela.

Como se puede distinguir en la figura anterior, tras cada recolección hay un determinado número de plantas que no consigue rebrotar, siendo además evidente en cada año que el número de plantas vivas disminuye a medida que aumenta la cantidad de agua aportada a la plantación.

III. 1. 2. PRODUCCIÓN DE BIOMASA.

Los datos de producción reflejados en este apartado se refieren especialmente a los Kg de material vegetal desecado obtenido a partir del producto fresco recolectado en la parcela.

En primer lugar se exponen los resultados correspondientes a las recolecciones de invierno de los tres años que comprende el estudio, para detallar a continuación los rendimientos cosechados en primavera.

Los valores que se presentan entre paréntesis, tras cada porcentaje de la ETo, corresponden a las cantidades reales de agua que reciben las plantas, ligeramente diferentes de los valores propuestos, como ha sido detallado en la sección Material y Métodos.

III. 1. 2. 1. Invierno.

La Tabla III.1–2 muestra los rendimientos obtenidos en el invierno de 2002, cuando han transcurrido casi dos años desde el momento de la plantación. Es importante recordar que esta es la cuarta recolección efectuada a estas plantas, tras un primer corte realizado en diciembre de

2000, a los siete meses de iniciarse el cultivo, y las siegas de invierno y primavera de 2001. Los tratamientos de riego diferenciado comienzan a aplicarse en julio de ese mismo año.

Tabla III.1-2. Valores de producción, en función de la ETo, correspondientes a invierno de 2002.

	% ETo			
	80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Kg MF/ha	7.518,8 ± 2.060,95	6.974,4 ± 2.043,33	6.596,9 ± 946,51	5.751,6 ± 449,72
% MS	34,85	31,83	34,17	34,46
Kg MS/ha	2.620,3 ± 718,24	2.219,9 ± 650,39	2.254,2 ± 323,42	1.982,0 ± 154,97
% HS/MS	66,67	69,56	68,83	69,23
Kg HS/ha	1.747,0 ± 478,85	1.544,2 ± 452,41	1.551,5 ± 222,61	1.372,1 ± 107,29

± Desviación estándar.

Tras ocho meses en los que las plantas han estado recibiendo diferentes aportes de agua, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los distintos niveles de riego en la producción de fitomasa, siendo también similares los porcentajes de materia y hoja secas obtenidos con los cuatro tratamientos hídricos. Sólo el porcentaje de materia seca correspondiente al 60% de la ETo es ligeramente inferior al resto.

En esta primera recolección efectuada tras el inicio del riego diferenciado se observa, no obstante, que estas plantas tienden a elevar su producción de material en fresco a medida que aumenta la cantidad de agua que reciben, pudiéndose superar los 7.500 Kg/ha cuando se riega con el agua necesaria para compensar el 80% de la ETo. Sin el factor limitante de la disponibilidad de agua, las plantas se pueden desarrollar más y mejor, compensando así el menor número de las mismas encontrado respecto a riegos más reducidos.

En un trabajo experimental previo, desarrollado en secano, Sánchez Gómez *et al.* (1989) obtienen para *Th. hyemalis* una producción en fresco de 3.178 Kg/ha transcurrido un año desde la implantación del cultivo, y 3.376 Kg/ha en el segundo año, resultados que corresponden a una densidad de 25.000 plantas/ha.

Centrándonos en los kilos de hoja seca por hectárea, parámetro más importante desde el punto de vista comercial de los contemplados en este apartado, los más de 1.500 Kg obtenidos, 1.300 en el caso del menor aporte hídrico, son significativamente superiores a los alcanzadas por Sotomayor (1998), con un rendimiento máximo, obtenido en el tercer año de cultivo en secano, de 808 Kg/ha para esta especie, con 25.000 plantas/ha.

Sotomayor *et al.* (2001), detallan en una publicación los resultados alcanzados tras la primera recolección efectuada a las plantas objeto de esta Tesis, con un período de cultivo de tan solo siete meses. En dicha recolección aún no ha comenzado a aplicarse el riego diferenciado, recibiendo todas las plantas la cantidad de agua necesaria para compensar el 60% de la ETo. El material en fresco obtenido para *Th. hyemalis* en estas condiciones alcanza los 7.059 Kg/ha, con un rendimiento en hoja seca de 1.200 Kg/ha. A pesar del temprano estado de desarrollo de los tomillos en esta primera cosecha, el producto fresco alcanza un valor similar al conseguido en 2002 con los riegos más abundantes. Sin embargo, el rendimiento en hoja seca en 2002 es superior al citado en la mencionada publicación, incluso con un menor suministro de agua. Esto puede ser debido a que las plantas jóvenes presentan tallos más herbáceos y un menor desarrollo de la estructura foliar.

En la recolección de invierno de 2003 (Tabla III.1–3) continúan sin advertirse diferencias significativas en ningún caso, aunque se puede constatar un cambio de tendencia en la producción de fitomasa de esta

especie, ya que el mejor resultado, en promedio, obtenido tanto para el material en fresco como para la hoja seca por hectárea corresponde al menor aporte hídrico, contrariamente a lo ocurrido en 2002.

Tabla III.1–3. Valores de producción, en función de la ETo, correspondientes a invierno de 2003.

	% ETo			
	80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Kg MF/ha	6.671,3 ± 1.238,17	6.906,0 ± 3.657,28	6.772,3 ± 2.122,81	7.213,7 ± 1.607,58
% MS	38,45	39,13	36,89	33,51
Kg MS/ha	2.565,1 ± 476,08	2.702,3 ± 1.431,09	2.498,3 ± 783,10	2.417,3 ± 538,70
% HS/MS	47,99	51,11	57,03	61,56
Kg HS/ha	1.231,0 ± 228,47	1.381,2 ± 731,43	1.424,8 ± 446,60	1.488,1 ± 331,62

± Desviación estándar.

En 2003 también se aprecian mayores diferencias entre los porcentajes de materia seca relativos a los cuatro tratamientos de riego, con valores más bajos en los tratamientos que conllevan menor humedad, contrariamente a lo que cabría esperar. Este comportamiento se explica considerando que *Th. hyemalis* es un tomillo que se hace más leñoso a medida que transcurren las recolecciones, pero este efecto no es perceptible con los suplementos hídricos más escasos dado el menor tamaño que generalmente alcanzan las plantas que disponen de poca agua para su crecimiento. Sin embargo, el porcentaje de hoja seca aumenta a medida que descende la cantidad de agua que reciben las plantas. En este año, por lo tanto, con un bajo nivel de riego obtenemos menor rendimiento en materia seca, pero un mayor porcentaje de la misma corresponde a hoja.

La tendencia que empezaba a sugerirse en 2003 se hace patente en 2004 (Tabla III.1–4), cuarto año de cultivo, en el cual la producción obtenida con el aporte hídrico más bajo, tanto de material en fresco como

desecado, es significativamente superior a la perteneciente a los tratamientos de más agua. El marcado incremento en la mortalidad de estos tomillos que acompaña a los riegos elevados, acaba influyendo decisivamente en la productividad del cultivo.

Tabla III.1–4. Valores de producción, en función de la ETo, correspondientes a invierno de 2004.

	% ETo			
	80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Kg MF/ha	4.956,9 ± 722,77 ^a	6.245,6 ± 986,27 ^a	7.164,8 ± 1.606,54 ^{ab}	8.899,0 ± 2.282,08 ^b
% MS	38,28	38,27	39,26	39,71
Kg MS/ha	1.897,5 ± 276,68 ^a	2.390,2 ± 377,45 ^a	2.812,9 ± 630,73 ^{ab}	3.533,8 ± 906,21 ^b
% HS/MS	62,10	61,52	64,39	63,87
Kg HS/ha	1.178,3 ± 171,82 ^a	1.470,4 ± 232,20 ^{ab}	1.811,2 ± 406,13 ^{bc}	2.257,0 ± 578,80 ^c

^{a, b, c} Valores con distinto superíndice en la misma línea presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$).
± Desviación estándar.

Los porcentajes de materia seca obtenidos con el 40 y, especialmente, el 20% de la ETo, se elevan respecto al año anterior, por lo que la estructura leñosa de *Th. hyemalis* se acentúa también con el paso del tiempo en condiciones de riego escaso.

Respecto a la hoja seca, se puede observar que los porcentajes determinados en 2004 superan también a los de 2003 con todos los tratamientos hídricos. En el último año de ensayo, suministrar a las plantas una cantidad de agua que compense el 20 ó el 40% de la ETo mejora significativamente el rendimiento en esta materia prima respecto al resultado alcanzado con el 80%.

Si bien no se encuentran diferencias en ningún caso entre administrar un riego equivalente al 40 ó al 20% de la ETo, es con este último tratamiento con el que se alcanzan los mejores promedios de

producción en esta recolección. Esta cantidad de agua, que en la práctica ha supuesto el 30% de la ETo, equivale a 370 mm anuales, sólo ligeramente superior a la pluviometría media de la zona en la que se han cultivado las plantas, que es de 308,3 mm/año.

Dado que la Región de Murcia es una zona con una manifiesta escasez de agua, estos resultados son bastante positivos desde el punto de vista del establecimiento de cultivos de esta especie de tomillo, ya que queda demostrado que estas plantas pueden ofrecer un rendimiento importante con unos requerimientos hídricos mínimos.

Los resultados de 2003 y 2004 corresponden al tercer y cuarto año de cultivo, con una plantación completamente establecida y madura, por lo que parece que son estas las máximas producciones que se pueden conseguir con las condiciones de cultivo descritas.

III. 1. 2. 2. Primavera.

El comportamiento de las plantas en la segunda recolección anual es distinto al encontrado en invierno, tanto en 2002 como en 2004.

En 2003 la parcela sufrió unas condiciones climáticas inusuales, con temperaturas muy elevadas en mayo y junio, originando una floración precipitada en plantas con escasa masa vegetativa, por lo que se ha decidido no incluir en esta memoria los resultados correspondientes a la primavera de este año.

Este tomillo ofrece un rendimiento sensiblemente inferior en la cosecha de primavera, lo que se justifica fácilmente teniendo en cuenta que, tras dicha recolección, las plantas disponen de varios meses hasta la siguiente cosecha, en invierno, para completar su ciclo vegetativo.

Cuando se procede a la siega de invierno, la nueva floración se produce tan solo tres meses después, por lo que los tomillos tienen poco

tiempo desde el corte anterior para desarrollarse. De ahí que, con frecuencia, su aspecto morfológico sea distinto al que presentan en invierno, momento óptimo para la recolección de esta planta. En primavera las plantas son en general más pequeñas, y con pocos tallos que diferencian inflorescencias.

En los datos de producción de la primavera de 2002 (Tabla III.1–5), no se aprecian diferencias significativas entre tratamientos, siendo por lo tanto aparentemente indistinto regar con más o menos agua. Sin embargo, en esta segunda recolección de 2002 se manifiesta una mayor retención de agua por parte de las plantas cuando reciben un riego abundante, por lo que, aunque no es posible distinguir una tendencia clara en cuanto al rendimiento en materia fresca, el porcentaje de materia seca obtenido a partir de la misma es mayor en los tratamientos que implican un menor aporte hídrico, especialmente en el equivalente al 20% de la ETo. Esto conduce a la obtención de valores medios más elevados de producto desecado al aplicar dicho riego.

Tabla III.1–5. Valores de producción, en función de la ETo, correspondientes a primavera de 2002.

	% ETo			
	80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Kg MF/ha	4.242,8 ± 865,90	4.244,4 ± 306,79	4.087,4 ± 1.115,95	4.274,6 ± 724,24
% MS	34,72	35,88	38,91	43,95
Kg MS/ha	1.473,1 ± 300,64	1.522,9 ± 110,07	1.590,4 ± 434,22	1.878,7 ± 318,31
% HS/MS	53,96	54,44	55,02	53,55
Kg HS/ha	794,9 ± 162,23	829,1 ± 59,92	875,0 ± 238,91	1.006,0 ± 170,45

± Desviación estándar.

En 2004 tampoco se encuentran diferencias con significación estadística (Tabla III.1–6), pero los resultados de este año permiten advertir una cierta disposición en las plantas, ya que los mejores promedios se obtienen con los riegos equivalentes al 60 y 40% de la ETo,

siendo bastante señalada esta tendencia en lo referente a la producción de hoja seca.

Tabla III.1–6. Valores de producción, en función de la ETo, correspondientes a primavera de 2004.

	% ETo			
	80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Kg MF/ha	3.397,2 ± 876,97	4.341,7 ± 1.200,88	4.160,7 ± 2.215,46	3.012,6 ± 1.029,99
% MS	38,90	38,25	40,08	40,33
Kg MS/ha	1.321,5 ± 341,14	1.660,7 ± 459,34	1.667,6 ± 887,96	1.215,0 ± 415,39
% HS/MS	43,79	48,80	51,16	53,72
Kg HS/ha	578,7 ± 149,39	810,4 ± 224,16	853,1 ± 454,28	652,7 ± 223,15

± Desviación estándar.

Es interesante advertir que el porcentaje de hoja seca disminuye de 2002 a 2004 con todos los tratamientos, salvo con el correspondiente al 20% de la ETo, al contrario de lo que ocurre con el porcentaje de materia seca, que aumenta de un año a otro exceptuado dicho tratamiento. Es decir, en 2004, de la producción en fresco se obtiene un mayor rendimiento en materia seca, sin embargo, la cantidad de hoja obtenida a partir de la planta desecada es inferior a la alcanzada el primer año de ensayo, excepto en el caso del menor aporte de agua.

De los datos de la segunda recolección de esta planta resulta más difícil extraer conclusiones, ya que en 2002 el efecto de los cuatro tratamientos es muy semejante, y es en 2004 cuando aparece la tendencia a mejorar la producción con los suplementos hídricos intermedios, lo cual se puede deber a diferencias en la climatología de ambos años, o puede ser efectivamente resultado de la adaptación de las plantas a las condiciones de cultivo. No disponer de los datos de 2003 imposibilita verificar dicha tendencia.

No obstante, en términos generales, podemos concluir que en primavera la cantidad de agua que reciben las plantas no afecta a la

producción de biomasa, aunque los resultados sugieren que en esta segunda siega *Th. hyemalis* acaba respondiendo mejor con un suministro de agua mayor del que requiere en invierno para alcanzar el óptimo de producción, muy probablemente para compensar la mayor temperatura a la que están expuestas las plantas en los meses primaverales. Este mayor aporte hídrico sería el equivalente al 40 ó 60% de la ETo, pero ya que los riegos elevados incrementan la mortalidad de estas plantas, el 40% se revela como el tratamiento más adecuado.

III. 1. 2. 3. Comparativa invierno/primavera.

Una vez constatado el rendimiento en biomasa sensiblemente inferior que ofrece esta planta en la segunda recolección, en este apartado determinaremos si tal descenso es o no significativo.

Tras comparar los datos de producción mediante un ANOVA, se comprueba que los resultados de invierno son, en efecto, significativamente superiores a los de primavera en la mayoría de los casos, como se aprecia en la Tabla III.1–7. Aplicar un tratamiento hídrico u otro no compensa la menor productividad de las plantas en primavera, especialmente en cuanto a la obtención de hoja seca, parámetro que siempre es significativamente inferior en esta estación.

Resulta interesante que, en 2004, con el riego equivalente al 40% de la ETo, las diferencias en producción de materia fresca y seca entre invierno y primavera no son significativas. Esto puede explicarse por la elevada desviación estándar que presenta este tratamiento en la segunda recolección (Tabla III.1–6), lo que implica puntos de solapamiento con la producción de invierno.

Tabla III.1-7. Análisis estadístico de las recolecciones de invierno y primavera.

		Kg MF/ha		Kg MS/ha		Kg HS/ha	
		2002	2004	2002	2004	2002	2004
% ETO	80 (81)	D	D	D	D	D	D
	60 (63)	D	D	ND	D	D	D
	40 (44)	D	ND	D	ND	D	D
	20 (30)	D	D	ND	D	D	D

D = Diferencias estadísticamente significativas entre estaciones ($P < 0,05$).

ND = No existen diferencias.

III. 1. 3. RENDIMIENTO EN ACEITE ESENCIAL.

Esta sección se refiere tanto al aceite esencial obtenido por destilación individual, en un sistema Clevenger, de las partes aéreas de las plantas recolectadas para su análisis, como a la producción por hectárea de esta sustancia. En ambos casos, el rendimiento en aceite se presenta respecto al peso seco, calculándose en base a los mililitros de aceite obtenidos por gramos de planta seca destilados, y en litros por hectárea al considerar la producción de toda la parcela.

Al igual que en el apartado anterior, los primeros datos analizados corresponden a las recolecciones de invierno, presentándose posteriormente los resultados de primavera.

III. 1. 3. 1. Invierno.

Con la recolección de invierno, época natural de floración de esta labiada, se obtienen en general los mejores rendimientos en aceite esencial, tanto considerando las plantas individuales como la producción por hectárea.

A) Destilación de plantas individuales.

El aceite esencial de *Th. hyemalis*, de un característico color amarillo, puede alcanzar rendimientos de más del 4% en algunas plantas, habiendo encontrado individuos que superan el 5%. Siendo esta sustancia el producto más valorado de los obtenidos del tomillo, este elevado rendimiento sitúa a esta especie entre las más interesantes desde el punto de vista comercial, especialmente teniendo en cuenta que su fenología invernal convierte a esta planta en fuente única de materias primas, en una época en la que aún no han comenzado a florecer la mayoría de los tomillos.

Otras especies de este género, como *Th. mastichina* (Salgueiro *et al.*, 1997a), *Th. pectinatus* (Vardar-Ünlü *et al.*, 2003) o *Th. lotocephalus* (Salgueiro *et al.*, 2000a) presentan rendimientos medios sensiblemente inferiores, alcanzando el 2,1, 1,8 y 1,1% (volumen/peso) respectivamente.

La elevada variabilidad intraespecífica encontrada en esta labiada afecta notablemente a su rendimiento en aceite, por lo que el porcentaje alcanzado varía mucho de unas plantas a otras, lo cual dificulta determinar si el hecho de aplicar distintos tratamientos de riego influye significativamente en la producción de aceite esencial.

La presencia o ausencia de diferencias significativas se determina mediante el análisis de la varianza, comparando los valores medios obtenidos para las 12 plantas recolectadas en función de cada aporte hídrico.

Con tales datos se elaboran las gráficas que se presentan a continuación, correspondiendo los intervalos a la menor diferencia significativa de Fisher, con un nivel de significación del 5%.

En la Figura III.1–2 quedan reflejados los resultados que proporciona *Th. hyemalis* en invierno de 2002, recolección en la que recibir distintas cantidades de agua no parece afectar a la síntesis de aceite esencial por parte de las plantas.

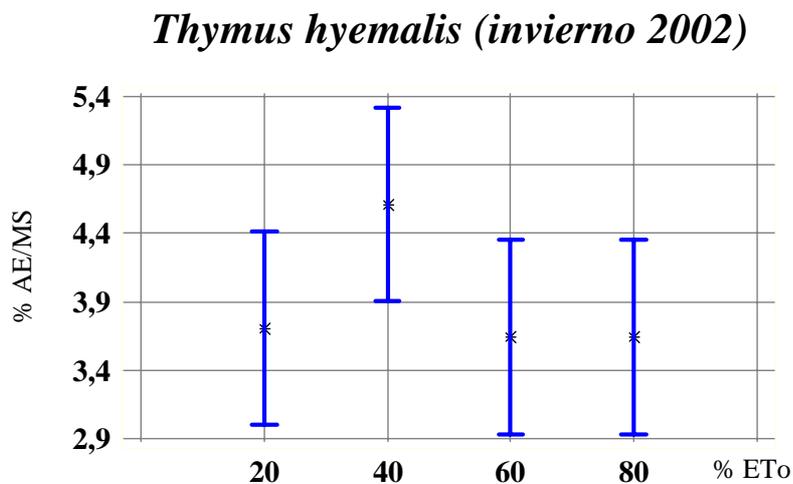


Fig. III.1-2. Rendimiento en aceite esencial, en función del riego, en invierno de 2002.

Los rendimientos obtenidos oscilan entre $3,6 \pm 0,43\%$ y $4,6 \pm 1,15\%$. Se puede advertir que con el riego equivalente al 40% de la ETo se consigue un resultado ligeramente superior, proporcionando el resto de tratamientos unos valores muy homogéneos.

En 2003 sin embargo, tras dos años de aplicación del riego diferenciado, el efecto del mismo sobre este parámetro se hace evidente (Figura III.1-3), encontrando que los tratamientos correspondientes al 60 y 40% de la ETo mejoran significativamente los resultados obtenidos con el 80%, y que con el aporte de agua equivalente al 20% ETo se alcanza un rendimiento superior a todos los demás.

En esta cosecha, los resultados se sitúan entre el $4,1 \pm 1,18\%$ del menor aporte hídrico y el $2,1 \pm 0,50\%$ correspondiente al 80% de la ETo.

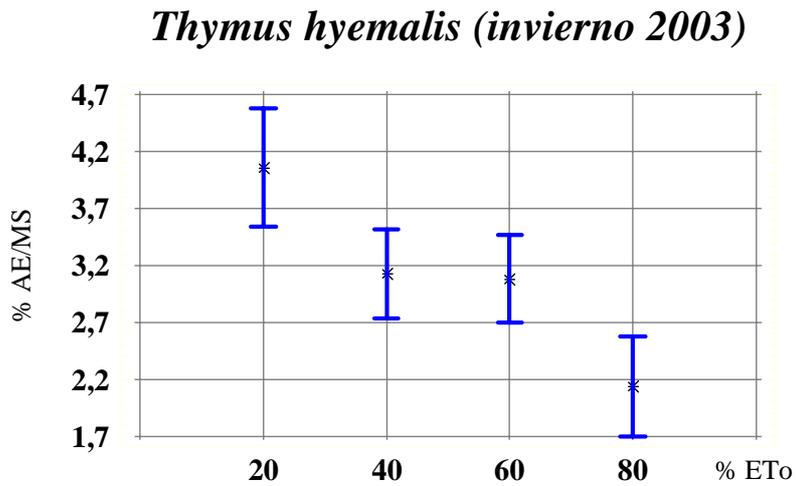


Fig. III.1-3. Rendimiento en aceite esencial, en función del riego, en invierno de 2003.

La recolección del invierno de 2004 (Figura III.1-4) es distinta a los dos años anteriores, ya que con el fin de realizar un estudio de la variabilidad encontrada en la composición química de estas sustancias, se elevó el número de muestras analizadas respecto a 2002 y 2003, recolectándose seis plantas por tratamiento en cada una de las cuatro repeticiones.

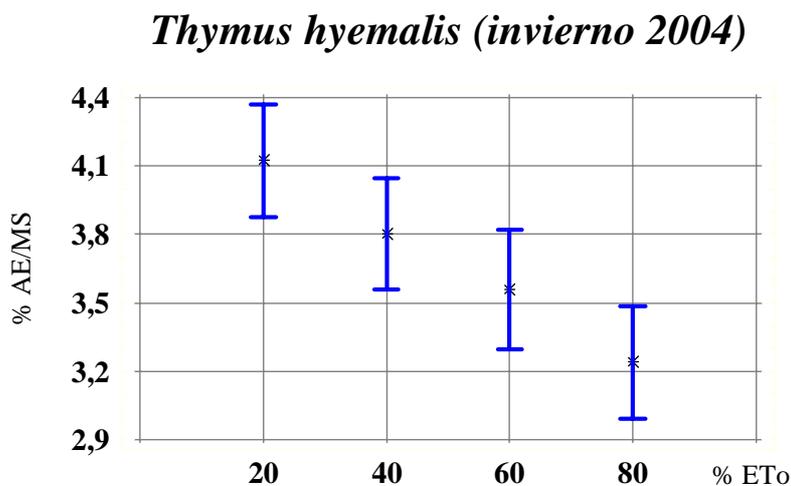


Fig. III.1-4. Rendimiento en aceite esencial, en función del riego, en invierno de 2004.

En la figura precedente es posible apreciar que también en 2004 aparecen diferencias significativas entre tratamientos, obteniéndose con el riego equivalente al 40% de la ETo un rendimiento en aceite significativamente mejor al alcanzado con el 80%, en tanto que el 20% de la ETo proporciona un resultado manifiestamente superior al 60 y al 80%. Tales valores oscilan entre $4,1 \pm 1,06\%$ y $3,2 \pm 0,85\%$, logrados con el menor y el mayor aporte hídrico respectivamente.

La diferencia con el año anterior radica en que en 2004 resulta indiferente regar con el 40 o el 20% de la ETo, mientras en 2003 el 20% es significativamente mejor que el 40%. Esto puede ser atribuido al aumento en el rendimiento determinado con este último tratamiento en 2004 respecto al alcanzado en 2003, aunque en promedio, un riego mínimo resulta más beneficioso para la producción de aceite también en 2004.

Observando las sucesivas recolecciones, los datos indican que someter a estas plantas a un riego diferenciado influye en su producción de aceite esencial, aumentando significativamente la síntesis de esta sustancia a medida que disminuye el agua que reciben las plantas. Esto verifica que una de las razones que induce a la elaboración de aceites por parte de los tomillos es la defensa frente a la desecación (Morales, 1989).

B) Producción por hectárea.

Conocidos los rendimientos en aceite esencial alcanzados con las plantas destiladas, se puede determinar la producción por hectárea de esta materia prima, aplicando los correspondientes porcentajes a los kilos de materia seca obtenidos con los diferentes riegos.

Los resultados se presentan en la Tabla III.1–8, en la que figuran los litros de aceite esencial obtenidos en las recolecciones de invierno de los tres años de ensayo.

Tabla III.1–8. Valores de producción de aceite esencial, en función de la ETo, correspondientes a las recolecciones de invierno.

		% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
L AE/ha	2002	95,4 ± 26,14	80,8 ± 23,67	103,9 ± 14,91	73,4 ± 5,74
	2003	54,9 ± 10,19	83,2 ± 44,08	78,2 ± 24,51	98,1 ± 21,87
	2004	61,5 ± 8,96 ^a	85,1 ± 13,44 ^{ab}	106,9 ± 23,97 ^b	145,6 ± 37,34 ^c

^{a, b, c} Valores con distinto superíndice en la misma línea presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$). ± Desviación estándar.

En invierno de 2002 no se presentan diferencias significativas entre los distintos niveles de agua, obteniéndose el mejor promedio de producción con el riego equivalente al 40% de la ETo.

En el trabajo que Sotomayor *et al.* (2001) publican acerca de los resultados que proporcionan, tras sólo siete meses de cultivo, las plantas empleadas en esta Memoria, la cantidad alcanzada con esta especie es de 68,5 L/ha, con un riego equivalente al 60% de la ETo. Este valor es inferior a los obtenidos en la primera recolección del presente ensayo con cualquiera de los tratamientos hídricos aplicados, por lo que parece que a medida que las plantas maduran, se optimiza su rendimiento en aceite esencial.

En 2003 tampoco se aprecian diferencias significativas, aunque en esta cosecha se advierte una tendencia a aumentar los valores medios de producción con el menor riego, debido al elevado contenido en aceite esencial de las plantas a las que se suministra dicho tratamiento en este año ($4,1 \pm 1,18\%$). El peor resultado corresponde al 80% de la ETo.

Esta tendencia señalada en 2003 se evidencia en 2004, cosecha en la que ya aparecen diferencias con significación estadística que determinan que un riego elevado (80 y 60% de la ETo) conlleva una

menor producción de aceite esencial por hectárea, e incluso el rendimiento obtenido con el 40% es significativamente inferior al que se alcanza aplicando el aporte hídrico más bajo, a pesar de que no existieran diferencias significativas entre estos dos tratamientos en cuanto a la cantidad de aceite que se extrae de las plantas destiladas, como se aprecia en la Figura III.1–4.

Estos resultados confirman que la obtención de aceite esencial se ve claramente favorecida aportando una cantidad de agua mínima al cultivo.

III. 1. 3. 2. Primavera.

En este apartado, las gráficas y tablas que presentan los resultados se han realizado siguiendo los criterios descritos anteriormente.

A) Destilación de plantas individuales.

Los rendimientos que se obtienen tras la destilación en esta segunda recolección anual se sitúan alrededor del 3%, superándose raramente el 4%.

En primavera de 2002 (Figura III.1–5), la prueba ANOVA no aprecia diferencias significativas entre tratamientos, obteniéndose los mejores resultados con los riegos necesarios para compensar el 20 ($3,4 \pm 0,10\%$) y el 40% de la ETo ($3,6 \pm 0,60\%$). Este último tratamiento proporciona igualmente el mejor rendimiento en la recolección de invierno de este año (Figura III.1–2).

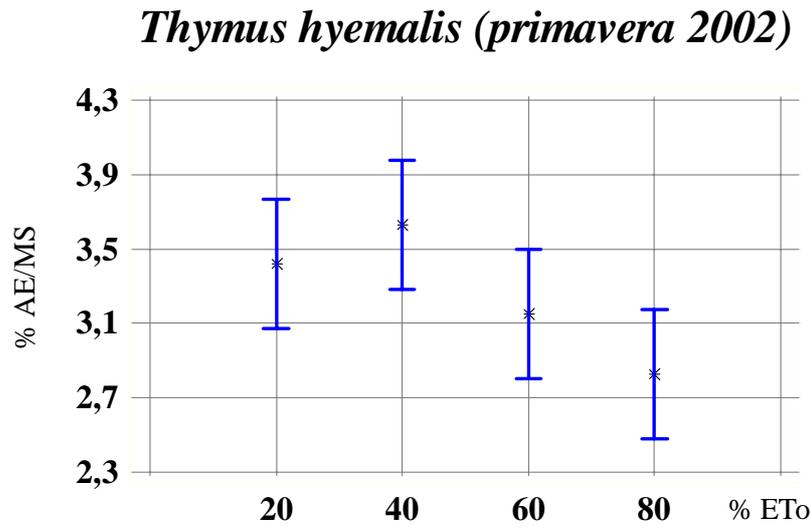


Fig. III.1–5. Rendimiento en aceite esencial, en función del riego, en primavera de 2002.

Los resultados correspondientes a 2004, a pesar del aumento en el número de plantas muestreadas, tampoco presentan diferencias significativas (Figura III.1–6), contrariamente a lo que ocurría en la cosecha de invierno. Se debe aclarar que en primavera se pretendía recolectar para su análisis las mismas plantas tomadas en invierno, sin embargo, el número de muestras resultó ser finalmente ligeramente inferior, dado que algunos de los tomillos estudiados en marzo no rebrotaron en junio.

Asimismo, en la segunda cosecha de 2004, no es posible distinguir una tendencia concreta en cuanto al efecto que el riego diferenciado pueda tener en la producción de aceite esencial, lo que, junto a los menores porcentajes alcanzados, constituye la principal diferencia con los resultados de invierno de este último año, en los cuales sí se observa una manifiesta trayectoria descendente en rendimiento a medida que aumenta la cantidad de agua que reciben las plantas. La explicación se encuentra en el efecto de la variabilidad intraespecífica, que se evidencia más en primavera debido al menor número de plantas recolectadas respecto a invierno.

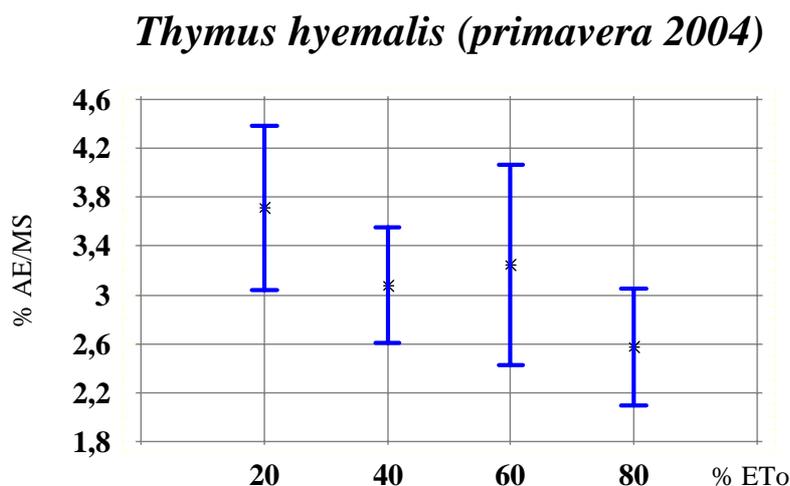


Fig. III.1-6. Rendimiento en aceite esencial, en función del riego, en primavera de 2004.

Sin embargo, al igual que ocurre en la primera cosecha anual, el tratamiento que proporciona el mejor promedio en junio es el equivalente al 20% de la ETo, con un rendimiento de $3,7 \pm 1,23\%$. Y del mismo modo, el peor resultado se obtiene con el riego ajustado para compensar el 80% de la ETo.

De los datos expuestos se puede deducir que la síntesis de aceite esencial por parte de *Th. hyemalis* acaba viéndose favorecida por un escaso aporte hídrico también en su segunda cosecha anual, aunque la elevada variabilidad intraespecífica presente en estas labiadas dificulta apreciar con claridad este efecto, determinando la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos en primavera.

B) Producción por hectárea.

Los litros de aceite esencial conseguidos con las recolecciones de primavera, al igual que ocurre con la producción de biomasa, son inferiores a los que se pueden alcanzar en invierno.

La Tabla III.1–9 muestra los resultados de las recolecciones de primavera, apreciándose en 2002 diferencias significativas entre los tratamientos correspondientes al 80 y 20% de la ETo, mejorando la producción con este último.

Regar con el agua necesaria para compensar el 80% de la ETo produce también una cantidad de materia seca ligeramente inferior, en promedio, al resto de tratamientos en la primavera del primer año de estudio (Tabla III.1–5), y, asimismo, el rendimiento en aceite esencial obtenido por destilación es también inferior con dicho aporte hídrico (Figura III.1–5), lo que explicaría las diferencias apreciadas con el 20% de la ETo, riego que resulta ser el más adecuado, dados los promedios alcanzados, en esta cosecha.

Tabla III.1–9. Valores de producción de aceite esencial, en función de la ETo, correspondientes a las recolecciones de primavera.

		% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
L AE/ha	2002	41,7 ± 8,50 ^a	48,0 ± 3,47 ^{ab}	57,8 ± 15,78 ^{ab}	64,2 ± 10,88 ^b
	2004	34,0 ± 8,77	53,8 ± 14,88	51,4 ± 27,35	45,2 ± 15,45

^{a,b} Valores con distinto superíndice en la misma línea presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$).
± Desviación estándar.

En 2004, sin embargo, no hay diferencias significativas entre los distintos niveles de agua, pero se aprecia la misma tendencia encontrada en la producción de fitomasa de este año (Tabla III.1–6), ya que los mejores promedios de producción se alcanzan con los riegos equivalentes al 40 y 60% de la ETo. Esto es lo que cabría esperar, teniendo en cuenta que los litros de aceite esencial por hectárea se calculan en base a la producción de materia seca y al porcentaje de dicho aceite obtenido tras la destilación. Este porcentaje, algo más elevado en las plantas que han

recibido el aporte hídrico equivalente al 20% de la ETo (Figura III.1–6), determina un mejor promedio de producción por hectárea para este tratamiento respecto al correspondiente al 80%.

Así pues, la producción de aceite esencial en primavera tiende a ser más elevada con los tratamientos hídricos intermedios al hablar de rendimiento por hectárea, dado que tal parámetro va a depender de la generación de biomasa, que es mayor con dichos tratamientos. El mejor resultado que proporciona el 20% de la ETo, tras la destilación individual de estos tomillos, no compensa la mayor producción de materia seca que se logra con el 40 y 60%.

III. 1. 3. 3. Comparativa invierno/primavera.

Comparando los resultados de producción de aceite esencial de invierno y primavera (Tabla III.1–10), observamos que las diferencias entre ambas estaciones no siempre presentan significación estadística.

Tabla III.1–10. Análisis estadístico de las recolecciones de invierno y primavera.

		% AE/MS		L AE/ha	
		2002	2004	2002	2004
% ETo	80 (81)	D	D	D	D
	60 (63)	ND	ND	D	D
	40 (44)	ND	D	D	D
	20 (30)	ND	ND	ND	D

D = Diferencias estadísticamente significativas entre estaciones ($P < 0,05$).

ND = No existen diferencias.

En 2002, las diferencias en cuanto al contenido en aceite esencial de estas plantas, determinado por destilación, sólo son significativas con

el tratamiento hídrico correspondiente al 80% de la ETo. Los litros por hectárea, sin embargo, resultan significativamente superiores en invierno con los aportes de agua necesarios para compensar el 80, 60 y 40% de la ETo.

El mejor rendimiento en materia seca del 20% en primavera (Tabla III.1–5), unido al descenso en producción de la misma en invierno con este tratamiento (Tabla III.1–2), justifican la no existencia de diferencias significativas al comparar los litros de aceite esencial por hectárea obtenidos en ambas estaciones con el menor aporte hídrico.

Respecto a 2004, los resultados de invierno son en general significativamente superiores a los de primavera, salvo en los porcentajes de aceite obtenidos de las plantas individuales con el 60 y 20% de la ETo, tratamientos con los que se alcanza el mejor rendimiento, en promedio, en la recolección de primavera de dicho año, presentando además unos intervalos de confianza bastante amplios, por lo que los valores alcanzados se pueden solapar en ambas estaciones.

III. 1. 4. EFECTO DEL RIEGO SOBRE LA EVOLUCIÓN DEL CULTIVO.

Examinar el efecto de las sucesivas siegas sobre cada uno de los aspectos que determinan el interés económico de este género, es un factor obligado porque aporta información necesaria sobre la adaptación de estas plantas al cultivo. Por lo que respecta a la biomasa, el aspecto más interesante a examinar es la producción de material vegetal desecado, en tanto que el aceite esencial representa la materia prima más importante de las obtenidas de estas labiadas desde el punto de vista comercial. Estudiar las tendencias de producción a lo largo de los tres años de ensayo es fundamental como referencia para considerar el interés de cada especie para ser cultivada.

Para facilitar la interpretación de la repercusión que las recolecciones tienen sobre la síntesis de estos productos, se ha considerado interesante realizar una representación gráfica de los datos que aparecen en las Tablas III.1–2 a III.1–6, así como III.1–8 y III.1–9, además de las Figuras III.1–2 a III.1–6, con el fin de obtener una mejor visualización de la evolución de la plantación, y efectuar un análisis de la influencia de cada uno de los cuatro tratamientos de riego, de forma independiente, sobre la producción de fitomasa y aceite esencial a lo largo del tiempo. Con ello se pretende confirmar la idoneidad de determinados tratamientos sobre otros.

Se debe señalar que en los resultados de cada año, además del número de cortes que puedan haber sufrido las plantas, influye de manera importante la climatología. Sin embargo, es posible determinar tendencias, bastante claras en algunos casos, que pueden aportar una información básica sobre la evolución de la plantación en función del aporte hídrico recibido.

III. 1. 4. 1. Invierno.

Observando la gráfica correspondiente al material desecado (Figura III.1–7a) se puede determinar el claro comportamiento que presenta *Th. hyemalis* ante el efecto combinado del aporte hídrico y las repetidas siegas: a medida que se suceden las recolecciones, y a pesar del descenso en el número de plantas viables, se origina un aumento en los promedios de producción de materia seca de 2002 a 2004 en los tratamientos correspondientes al 20 y 40% de la ETo, ocurriendo lo contrario con los de mayor aporte hídrico.

La prueba ANOVA aplicada a cada tratamiento por separado concluye que las diferencias entre los tres años no son significativas con los riegos equivalentes al 80, 60 y 40% de la ETo, pero sí son sustancialmente diferentes los resultados obtenidos con el 20%, ya que el

análisis estadístico interpreta la producción del año 2004 con este aporte de agua como significativamente superior a las de 2002 y 2003, que formarían un grupo homogéneo.

Centrándonos en el 40 y especialmente en el 20% de la ETo, el aumento en la producción que se observa con el tiempo se debe a que, si bien el número de plantas vivas por subparcela desciende a lo largo de los tres años de estudio, cabe pensar que las plantas supervivientes se adaptan bien a este bajo aporte hídrico y, al tener menos competencia por los recursos, pueden alcanzar mayor tamaño respecto a años anteriores, por lo que se produciría ese aumento de fitomasa.

Respecto a la producción de hoja seca por hectárea (Figura III.1–7b), los análisis estadísticos determinan los mismos resultados anteriores: no hay diferencias con el 80, 60 ni 40% de la ETo entre los tres años, pero sí las hay con el 20%, tratamiento que, según el test de Fisher, presenta un rendimiento en hoja significativamente superior en 2004.

Acerca del cambio de tendencia advertido entre 2002 y 2003 respecto a la figura que refleja la evolución del material desecado, se debe considerar que el porcentaje de hoja seca alcanzado en el segundo año de ensayo, como se aprecia en la Tabla III.1–3, es más bajo que el conseguido en 2002 y 2004 (Tablas III.1–2 y III.1–4) con todos los tratamientos hídricos. Esto justifica la producción más baja de esta materia prima en 2003, si la comparamos con el rendimiento en materia seca.

Para estudiar el aceite esencial, analizaremos en primer lugar el rendimiento en aceite obtenido por destilación, directamente de las plantas recolectadas (Figura III.1–7c).

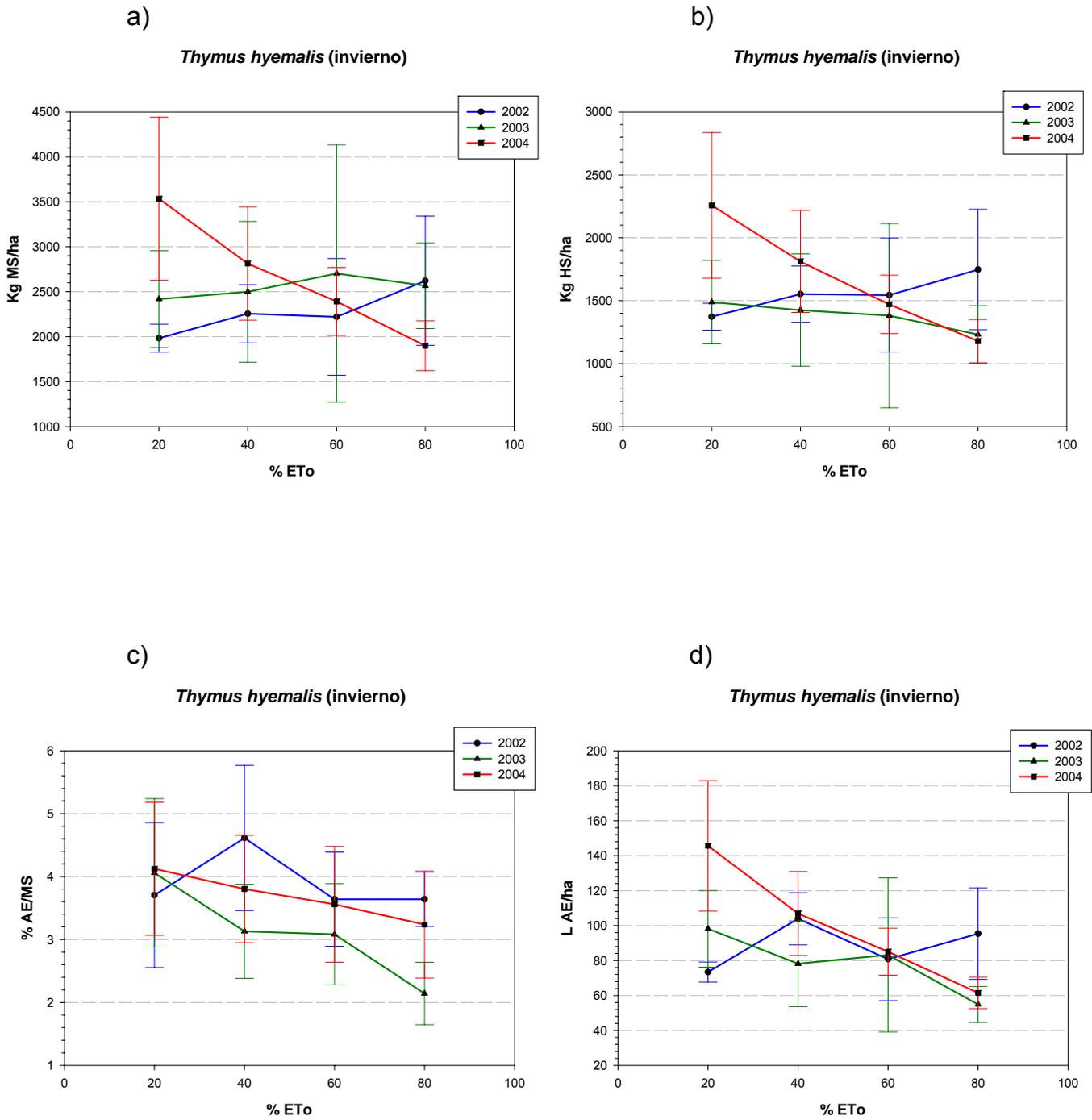


Fig. III.1-7. Evolución de la producción de materias primas, en la recolección de invierno, durante los tres años de ensayo.

Realizada la prueba ANOVA a los datos de cada tratamiento por separado, se determina que no existen diferencias significativas entre los tres años con los riegos equivalentes al 60 y al 20% de la ETo, con un nivel de significación del 5%. Sí las hay, sin embargo, cuando se analizan los valores alcanzados con el 80 y 40%. Con ambos aportes hídricos, los resultados de 2003 son significativamente inferiores a los de 2002 y 2004, que no presentan diferencias entre sí.

Por otra parte, si nos centramos en el aporte hídrico más bajo (20%), se observa que el rendimiento obtenido es bastante similar en los tres años, con un ligero aumento del promedio de 2002 a 2004 aunque, como se ha dicho, sin significación estadística. En el resto de tratamientos, los promedios de 2002 son mejores que los de los años siguientes, siendo más parecidos a los de 2004, probablemente por las condiciones climáticas un tanto atípicas de 2003.

Al contemplar la evolución de los litros de aceite producidos por hectárea (Figura III.1–7d), es posible advertir que, al igual que ocurría con el rendimiento de las plantas individuales, en el caso del riego equivalente al 20% de la ETo la producción aumenta de un año a otro, revelando además el análisis estadístico de los datos que con este mínimo aporte hídrico existen diferencias significativas entre los tres años, ya que la productividad alcanzada en 2004 es significativamente superior a las de 2002 y 2003, análogamente a lo que sucede con la generación de materia seca. Por el contrario, con el 80% de la ETo la cantidad de aceite conseguida en 2002 es significativamente más elevada que las de 2003 y 2004, debido a que en dicho tratamiento se suman la menor producción de materia seca de 2004 respecto a los otros dos años, y el bajo rendimiento obtenido por destilación en 2003 (2,1% en promedio frente a 3,6% de 2002 y 3,2% de 2004), determinando ambos factores el descenso en cuanto a litros de aceite por hectárea alcanzados los dos últimos años.

Los tratamientos intermedios tendrían un efecto similar a lo largo de las tres recolecciones.

Analizando todo lo expuesto, es un hecho que, con el transcurso del tiempo, *Th. hyemalis* se adapta mejor a condiciones de cultivo que impliquen un escaso aporte de agua, siendo perjudicial para la planta someterla a un riego abundante. Esta tendencia es especialmente perceptible en 2004.

Por otra parte, a la vista de estos resultados, cabe plantearse la modificación del marco inicial de plantación, ya que tanto en lo referente a producción en fresco como en seco, los mejores rendimientos se consiguen con el riego equivalente al 20% de la ETo en 2004, superando a los de años anteriores, con mayor número de plantas. Considerando que el número inicial de plantas es de 140 por subparcela, y que las marras correspondientes a dicho tratamiento en ese año alcanzan el 42%, los individuos que han persistido en las correspondientes subparcelas rondarían un promedio de 82, cantidad que sería suficiente para un buen rendimiento de la plantación, y que, extrapolarlo a hectáreas, proporciona una densidad de plantas de aproximadamente 53.000/ha, sensiblemente inferior a las 89.400 propuestas originalmente en el ensayo. Esto es muy importante, ya que con un número inferior de plantas, disminuyen los costes iniciales del cultivo, y se facilitan las labores agrícolas, sin que exista, como se ha comprobado, ninguna merma en la producción. Pero es también importante señalar que esto sólo sería posible partiendo de plantas seleccionadas, resistentes a las siegas, como las que subsisten en 2004.

III. 1. 4. 2. Primavera.

La evolución que presentan estas plantas en los tres años de estudio en lo referente a las recolecciones de primavera ofrece unos resultados distintos a los encontrados en invierno (Figura III.1–8).

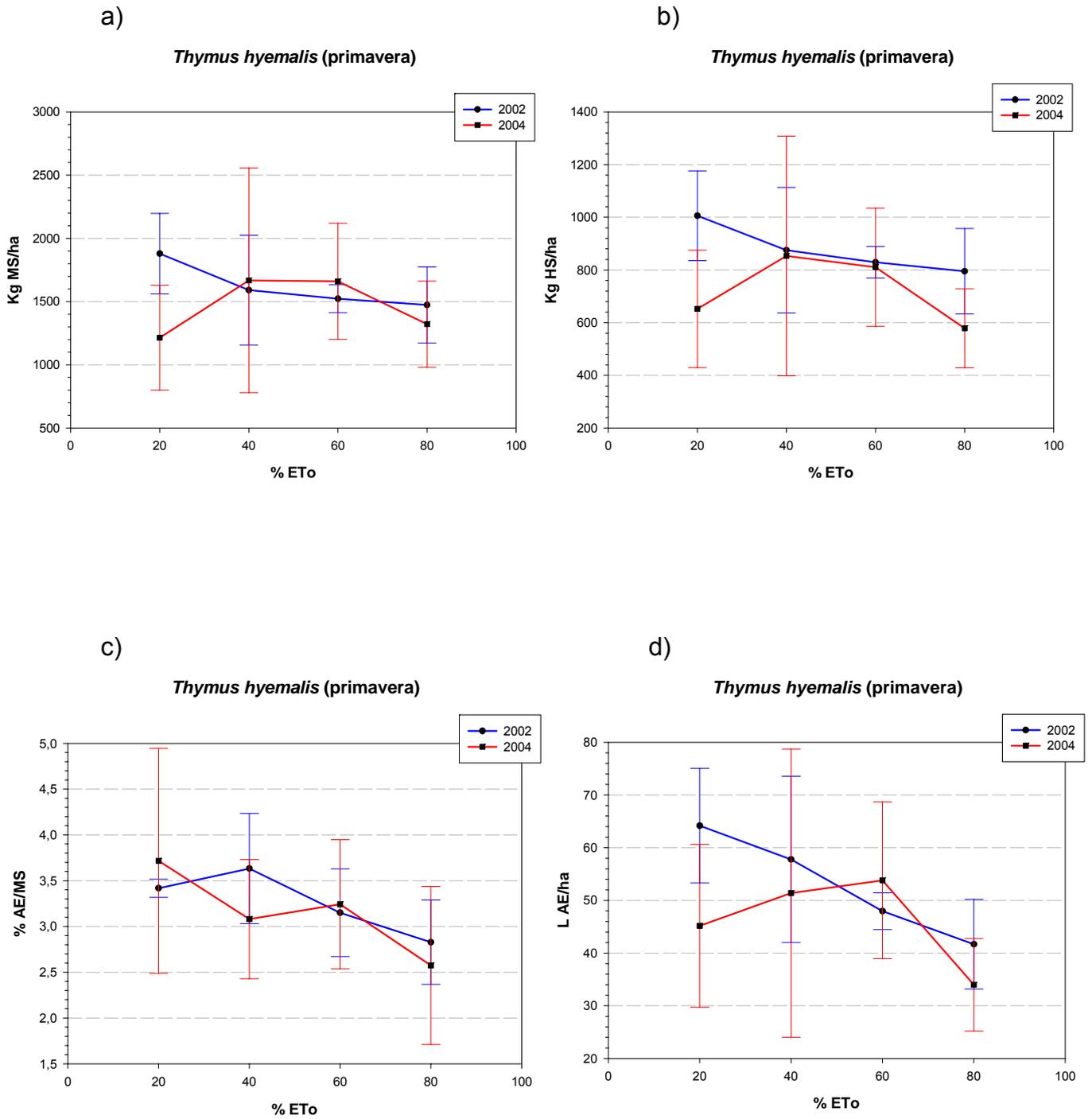


Fig. III.1–8. Evolución de la producción de materias primas, en la recolección de primavera, durante los dos años considerados.

Acerca de la producción de materia seca (Figura III.1–8a), la prueba ANOVA detecta diferencias con el aporte hídrico más bajo (20% ETo), significativamente superior en 2002 respecto a 2004, al contrario de lo que ocurre en la primera recolección anual. El resto de tratamientos afecta de la misma forma los dos años también en primavera.

Las diferencias encontradas en el caso del riego más escaso se pueden explicar, por una parte, por el menor porcentaje de materia seca obtenido a partir del tomillo fresco en 2004 respecto a 2002, en tanto que con el resto de tratamientos aumenta dicho porcentaje. Pero, por otra parte, es igualmente posible que en primavera la productividad se vea afectada por el descenso en el número de plantas viables que se aprecia año tras año, las cuales, con el 20% de la ETo, pasan de un promedio de 113 en 2002 a 82 en 2004 y, al no alcanzar las plantas un gran tamaño en la segunda recolección anual, no es posible compensar la producción como ocurre en invierno.

Por lo que respecta a la hoja seca (Figura III.1–8b), los rendimientos conseguidos en 2002 y 2004 también difieren de forma significativa únicamente con el 20% de la ETo.

En cuanto al aceite esencial, el análisis estadístico del contenido en esta sustancia entre las plantas recolectadas en primavera (Figura III.1–8c), no aprecia diferencias significativas al comparar los valores obtenidos con cada tratamiento en 2002 y 2004.

Finalmente, extrapolando a litros de aceite esencial por hectárea (Figura III.1–8d), tampoco se aprecian diferencias al comparar los datos de los dos años en ningún caso. La tendencia de ambos años es similar a la encontrada en la producción de materia seca, aunque se observa que con el 40% de la ETo los litros de aceite esencial alcanzados, en promedio, son ligeramente inferiores en 2004 respecto a 2002, al contrario de lo que sucedía con el producto desecado. Esto se debe a que, en la primavera de 2004, el contenido medio en aceite esencial de

las plantas regadas con este tratamiento es de los más bajos (Figura III.1–6), y al aplicar ese porcentaje a los kilos de materia seca, se reduce ligeramente la producción por hectárea de estos aceites respecto al primer año de ensayo.

También se puede comentar la evolución advertida con el 20% ETo, riego con el que el rendimiento conseguido al destilar, el más elevado en promedio en la segunda cosecha de 2004, atenúa las diferencias que encontrábamos entre los dos años con el mencionado tratamiento al analizar la producción de material desecado, de forma que en lo referente a litros de aceite por hectárea, tales diferencias no son significativas.

A la vista de estos datos, aunque con las oportunas reservas, dado que faltan los datos de 2003, podemos confirmar que a medida que se suceden las cosechas, la segunda recolección de *Th. hyemalis* se ve favorecida si el riego aportado al cultivo se eleva respecto al invierno, siendo el 40% de la ETo el suplemento hídrico más aconsejable. Los extremos, tanto por defecto como por exceso de agua, perjudican a la producción de esta planta en primavera.

III. 1. 5. PERFIL CROMATOGRÁFICO DEL ACEITE ESENCIAL.

Las propiedades beneficiosas que muestran estos aceites se fundamentan en su composición química, siendo por lo tanto este dato el más importante a la hora de valorar económicamente estas sustancias.

Actualmente, de los distintos constituyentes presentes en los aceites esenciales, son los compuestos fenólicos los más cotizados por las diferentes industrias que utilizan estas sustancias como materia prima, especialmente timol y carvacrol, ya que tales constituyentes han demostrado ser los más activos en la mayor parte de los ensayos realizados.

Es precisamente en la composición de estos aceites donde se hace más patente la gran variabilidad intraespecífica que presentan estas labiadas. La constatación de este hecho en las recolecciones de 2002 y 2003 nos llevó a duplicar el número de muestras analizadas en 2004, con el fin de plantear un estudio en profundidad de los distintos perfiles volátiles que se pueden encontrar en estas plantas. Se debe señalar que estas variaciones son siempre cuantitativas, ya que en general, los aceites esenciales de las plantas de este género son cualitativamente muy semejantes, siendo las cantidades relativas de los constituyentes lo que determina su calidad.

De esta forma, este apartado se va a abordar considerando por una parte las recolecciones de 2002 y 2003, con cuyos datos se analiza el efecto de las distintas condiciones hídricas sobre la calidad de los aceites; y por otra parte se exponen resultados de 2004, recolección en la que se estudia la variación en las proporciones relativas de los componentes del aceite entre las distintas plantas.

Las muestras de aceite esencial extraído de las plantas recolectadas son analizadas mediante Cromatografía de Gases y Espectrometría de Masas, proporcionando los datos que se exponen en las diferentes tablas presentadas en este apartado. Tales tablas se realizan comparando, con la prueba ANOVA, los resultados obtenidos con los cuatro tratamientos hídricos. Si con dicha prueba se concluye que recibir más o menos cantidad de agua afecta al perfil volátil de estos aceites, se realiza el Test de Fisher para determinar, en cada caso, aquellos tratamientos que resultan significativamente diferentes de los demás.

III. 1. 5. 1. Efecto del riego sobre la composición química del aceite esencial.

En *Th. hyemalis*, arbusto endémico del Sudeste Ibérico, la variabilidad intraespecífica es particularmente notoria, ya que esta planta

ha resultado ser la más compleja desde el punto de vista químico de las incluidas en esta Memoria. Esta variación comporta la existencia de diferentes quimiotipos dentro de la especie. Es oportuno recordar aquí el concepto de quimotaxonomía, clasificación de las plantas en función de la composición química de sus aceites esenciales, de forma que los componentes más abundantes de cada aceite determinan los distintos taxones químicos o quimiotipos.

Por lo que se refiere al presente ensayo, los análisis cromatográficos realizados al aceite esencial de *Th. hyemalis* han establecido un quimiotipo fenólico, con el timol como principal componente, para una proporción mayoritaria de las plantas analizadas.

Esto coincide con lo encontrado por Sáez (1995b) en su publicación sobre esta especie, en la cual afirma que el quimiotipo timol es el más representado en las formaciones vegetales en las que *Th. hyemalis* es predominante, y no existen interacciones con otras especies. Igualmente, Jiménez *et al.* (1989) determinan el carácter claramente fenólico de esta planta en un estudio llevado a cabo en cinco localizaciones de la provincia de Almería. Por su parte, Stahl-Biskup (1991), en su revisión sobre la composición química de los aceites esenciales en el género *Thymus*, incluye también a esta especie entre aquellas que contienen fenoles. Sin embargo, Cabo *et al.* (1987), encuentran 1,8-cineol como componente más importante en plantas recolectadas en la Sierra de Alfacar (Granada), apareciendo los fenoles en concentraciones inferiores al 3% en la mayoría de los análisis practicados, por lo que en este trabajo se clasifica a *Th. hyemalis* como tomillo “no fenólico”.

Dada la presencia dominante de timol en esta labiada, el estudio de la repercusión de los distintos niveles de riego sobre la composición química de su aceite esencial se lleva a cabo únicamente sobre este quimiotipo, descartándose para la realización de las correspondientes

tablas, tanto en 2002 como en 2003, aquellas plantas cuyo análisis cromatográfico determina un quimiotipo distinto.

El examen del perfil volátil de esta especie ha permitido la identificación de un total de 105 componentes, incluyendo 31 hidrocarburos terpénicos, 25 alcoholes, 14 aldehídos, 13 cetonas, 12 ésteres, seis fenoles, tres epóxidos y un éter, los cuales suponen aproximadamente el 97,3% de los constituyentes detectados por el cromatógrafo.

De ellos, 64 son descritos por primera vez en esta variedad de tomillo, incluyendo:

- *Hidrocarburos terpénicos*: m-xileno, triciclono, verbeneno, α -copaeno, α -gurjeneno, calereno, α -humuleno, elemeno, β -selineno, valenceno, α -muuroleno, γ -cadineno, δ -cadineno.
- *Alcoholes*: butanol, 3-metil-3-buten-1-ol, 3-penten-2-ol, 3-metil-2-buten-1-ol, (*Z*)-3-hexen-1-ol, (*E*)-2-hexen-1-ol, hexanol, 1-octen-3-ol, 3-octanol, (*Z*)-hidrato de sabineno, (*E*)-pinocarveol, (*E*)-verbenol, isoborneol, p-cimen-8-ol, carveol, nerol.
- *Aldehídos*: (*E*)-2-butenal, pentanal, hexanal, furfural, (*E*)-2-hexenal, heptanal, benzaldehído, nonanal, decanal, perialdehído.
- *Cetonas*: 3-hexanona, 3-heptanona, 3-octanona, β -tujona, pinocarvona, dihidrocarvona, carvona, timoquinona, (*Z*)-jasmona, α -ionona, β -ionona.
- *Ésteres*: acetato de etilo, butirato de metilo, butirato de etilo, acetato de bencilo, caprilato de etilo, acetato de timilo, acetato de nerilo, caprilato de butilo.
- *Fenoles*: éter metílico de timol, éter metílico de carvacrol, eugenol, (*E*)-isoeugenol.
- *Epóxidos*: (*Z*)-óxido de linalol, (*E*)-óxido de linalol.

Muchos de estos compuestos han sido identificados en otras especies del género *Thymus*, como *Th. vulgaris*, *Th. zygis*, *Th. pulegioides*, *Th. serpyllum*, *Th. satureioides*, *Th. praecox*, *Th. broussonetii*, *Th. maroccanus*, *Th. pallidus*, *Th. granatensis*, *Th. orospedanus*, *Th. chamaedris*, *Th. carnosus*, *Th. serpyllum*, *Th. quinquecostatus*, *Th. funkii*, *Th. aestivus*, *Th. baeticus*, *Th. camphoratus*, y *Th. sibthorpii* (Nijssen *et al.*, 1996).

Para presentar los resultados obtenidos con los diferentes suplementos hídricos, expondremos en primer lugar los resultados de los análisis efectuados a las plantas recolectadas en invierno de 2002 (primer año de ensayo); posteriormente, los datos de primavera de ese mismo año; y por último, la composición obtenida en 2003.

III. 1. 5. 1. 1. Invierno 2002.

Al examinar los datos debe tenerse en cuenta la gran variabilidad química presente en estas plantas, capaz de enmascarar en muchos casos el efecto que el riego diferenciado pueda tener sobre las concentraciones relativas de los constituyentes del aceite.

La Tabla III.1–11 muestra el perfil volátil de las plantas analizadas en invierno de 2002. Los componentes en los que los análisis estadísticos han detectado diferencias significativas en sus concentraciones relativas en función del riego recibido son: α -tujeno, mirceno, α -felandreno, Δ_3 -careno, γ -terpineno, α -gurjeneno, aloaromadendreno, elemeno, valenceno, α -muuroleno, γ -cadineno, δ -cadineno, butanol, hexanol, m-xileno, linalol, isoborneol, p-cimen-8-ol, α -terpineol, carveol, nerol, citronelol, geraniol, acetato de linalilo, espatulenol, (*E*)-2-hexenal, heptanal, nonanal, mirtenal, dihidrocarvona, decanal, cuminaldehído, neral, carvona, 3-octanona, alcanfor, pinocarvona, verbenona, (*Z*)-jasmona, β -ionona, acetato de bencilo, caprilato de etilo, acetato de terpenilo, acetato de timilo, timol, carvacrol y (*Z*)-óxido de linalol.

El componente mayoritario es timol, con altos niveles de los precursores p-cimeno y γ -terpineno. Recordemos que la secuencia que acaba en la síntesis de timol o su isómero carvacrol es:



Las concentraciones de ambos terpenos no cambian de acuerdo con las variaciones de sus correspondientes productos fenólicos, lo cual puede ser atribuido a la mencionada variabilidad intraespecífica (Sáez, 1995b). Según este autor, la presencia en cantidades importantes de componentes como cineol, borneol o α -pineno se debe a interacciones con otras especies de tomillo, como *Th. vulgaris* o *Th. baeticus*.

Con relación a los hidrocarburos terpénicos, los que se han identificado en mayor concentración, además de p-cimeno y γ -terpineno, son α -tujeno, α -pineno, canfeno, α -terpineno, limoneno, (*E*)-cariofileno, mirceno y valenceno.

El comportamiento de los terpenos en base al aporte hídrico no es igual en todos los casos. La síntesis de algunos de ellos parece verse perjudicada con un riego mínimo, como ocurre con Δ_3 -careno, que presenta un porcentaje significativamente inferior cuando la planta recibe el agua equivalente al 20% de la ETo, afectándole por igual el resto de tratamientos. Otro componente, el α -tujeno, muestra diferencias significativas entre el aporte hídrico más alto y el más bajo, alcanzando su máximo porcentaje con el 80% de la ETo. En el caso de mirceno y α -felandreno, tanto el riego más elevado como el más escaso originan un descenso en su concentración relativa, viéndose ésta favorecida con los aportes intermedios (60 y 40% de la ETo). El precursor γ -terpineno ofrece su mejor resultado con el 20% de la ETo, significativamente superior a los restantes suplementos hídricos. El p-cimeno, sin embargo, no presenta diferencias significativas en sus porcentajes, aunque el peor resultado, en promedio, se obtiene con el riego correspondiente al 20% de la ETo.

Tabla III.1–11. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, en función del aporte hídrico (Invierno 2002).

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Hidrocarburos terpénicos					
Triciclono*	931	0,03 ± 0,03	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,04
α-Tujeno*	940	1,34 ± 0,58 ^a	0,95 ± 0,06 ^{ab}	0,96 ± 0,13 ^{ab}	0,58 ± 0,06 ^b
α-Pineno	949	0,58 ± 0,37	0,84 ± 0,96	1,32 ± 0,70	1,68 ± 1,53
Canfeno	969	1,11 ± 1,08	0,44 ± 0,17	0,50 ± 0,66	1,26 ± 1,34
Verbeneno*	976	0,05 ± 0,00	0,04 ± 0,01	0,06 ± 0,02	0,06 ± 0,02
Sabineno	1001	0,22 ± 0,21	0,18 ± 0,14	0,23 ± 0,24	0,30 ± 0,29
β-Pineno	1007	0,24 ± 0,22	0,30 ± 0,15	0,16 ± 0,11	0,22 ± 0,23
Mirceno	1026	0,75 ± 0,30 ^a	0,90 ± 0,05 ^{ab}	0,95 ± 0,16 ^b	0,74 ± 0,07 ^a
α-Felandreno	1042	0,15 ± 0,01 ^a	0,19 ± 0,02 ^b	0,19 ± 0,03 ^b	0,15 ± 0,03 ^a
Δ ₃ -Careno	1048	0,06 ± 0,01 ^a	0,07 ± 0,01 ^a	0,06 ± 0,00 ^a	0,05 ± 0,01 ^b
α-Terpineno	1058	1,28 ± 0,01	1,83 ± 0,49	2,00 ± 0,69	1,55 ± 0,65
p-Cimeno	1068	26,67 ± 11,20	24,29 ± 2,76	25,41 ± 5,06	22,28 ± 6,40
Limoneno	1073	0,87 ± 0,10	0,85 ± 0,29	1,35 ± 0,42	1,28 ± 0,69
(Z)-β-Ocimeno	1086	0,02 ± 0,02	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,05	0,02 ± 0,02
(E)-β-Ocimeno*	1097	0,21 ± 0,22	0,04 ± 0,03	0,44 ± 0,73	0,06 ± 0,03
γ-Terpineno	1109	10,81 ± 1,78 ^a	13,38 ± 2,32 ^a	12,85 ± 3,87 ^a	17,58 ± 4,59 ^b
Terpinoleno + (E)-Óxido de linalol	1141	0,21 ± 0,01	0,29 ± 0,21	0,25 ± 0,19	0,35 ± 0,25
α-Copaeno	1378	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,00
α-Gurjeneno*	1408	0,02 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,03 ± 0,01 ^b
(E)-Cariofileno	1419	0,80 ± 0,23	1,23 ± 0,45	1,08 ± 0,74	1,00 ± 0,51
Calereno	1432	tr	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01
Aromadendreno	1440	0,06 ± 0,05	0,06 ± 0,02	0,05 ± 0,03	0,05 ± 0,06
α-Humuleno	1457	0,05 ± 0,02	0,08 ± 0,05	0,06 ± 0,02	0,13 ± 0,14
Aloaromadendreno	1465	0,09 ± 0,01 ^a	0,08 ± 0,03 ^a	0,08 ± 0,04 ^a	0,19 ± 0,08 ^b
Elemeno*	1481	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,01 ^b
β-Selineno*	1485	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01
Valenceno	1510	0,37 ± 0,03 ^a	0,27 ± 0,14 ^a	0,44 ± 0,15 ^a	0,76 ± 0,43 ^b
α-Muuroleno*	1516	0,02 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,03 ^b
γ-Cadineno*	1537	0,04 ± 0,02 ^a	0,05 ± 0,04 ^a	0,07 ± 0,02 ^{ab}	0,09 ± 0,04 ^b
δ-Cadineno	1553	0,09 ± 0,04 ^a	0,08 ± 0,05 ^a	0,13 ± 0,04 ^{ab}	0,20 ± 0,10 ^b
Alcoholes					
Butanol	742	0,01 ± 0,01 ^a	tr ^{ab}	0,01 ± 0,00 ^{ab}	tr ^b
3-Metil-3-buten-1-ol	766	tr	tr	tr	tr
3-penten-2-ol*	784	tr	tr	tr	tr
3-metil-2-buten-1-ol*	789	tr	tr	tr	tr
(Z)-3-Hexen-1-ol	852	tr	tr	tr	tr
(E)-2-Hexen-1-ol	865	tr	tr	tr	tr
Hexanol + m-Xileno	867	0,02 ± 0,01 ^a	0,03 ± 0,02 ^a	0,01 ± 0,00 ^b	0,01 ± 0,00 ^b
1-Octen-3-ol	1009	0,26 ± 0,05	0,18 ± 0,13	0,27 ± 0,16	0,18 ± 0,07
3-Octanol	1031	0,11 ± 0,06	0,07 ± 0,06	0,04 ± 0,03	0,18 ± 0,18

Tabla III.1-11 (continuación)

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Alcoholes (continuación)					
(E)-Hidrato de sabineno	1116	0,62 ± 0,15	1,39 ± 1,28	2,00 ± 2,83	1,78 ± 2,43
(Z)-Hidrato de sabineno*	1151	0,17 ± 0,05	1,74 ± 2,48	0,29 ± 0,22	0,48 ± 0,58
Linalol	1152	2,19 ± 0,04 ^a	1,54 ± 1,16 ^a	0,89 ± 0,56 ^a	8,63 ± 8,22 ^b
(E)-Pinocarveol	1186	0,16 ± 0,05	0,20 ± 0,02	0,18 ± 0,05	0,20 ± 0,07
(Z)-Verbenol	1189	0,29 ± 0,02	0,38 ± 0,22	0,56 ± 0,15	0,38 ± 0,24
(E)-Verbenol*	1197	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,05 ± 0,02
Isoborneol	1203	0,01 ± 0,00 ^a	tr ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,00 ^b
Borneol	1211	3,35 ± 2,95	0,38 ± 0,38	1,46 ± 2,21	4,17 ± 3,67
Terpinen-4-ol	1220	0,47 ± 0,15	1,48 ± 1,59	1,52 ± 1,75	2,31 ± 3,49
p-Cimen-8-ol	1227	0,15 ± 0,02 ^a	0,29 ± 0,06 ^b	0,22 ± 0,06 ^c	0,24 ± 0,05 ^{bc}
α-Terpineol	1231	4,71 ± 5,18 ^a	0,57 ± 0,26 ^b	0,59 ± 0,35 ^b	0,69 ± 0,52 ^b
Carveol	1252	tr ^a	0,01 ± 0,01 ^a	0,04 ± 0,03 ^b	0,06 ± 0,01 ^b
Nerol + Citronelol	1260	0,02 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,00 ^a	0,04 ± 0,01 ^b
Geraniol + Acetato de linalilo	1281	tr ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,02 ^b
Espatulenol	1640	0,24 ± 0,09 ^a	0,28 ± 0,07 ^a	0,32 ± 0,10 ^a	0,46 ± 0,12 ^b
Aldehídos					
(E)-2-Butenal*	735	tr	tr	tr	tr
Pentanal	754	tr	tr	tr	tr
Hexanal + Butirato de etilo	802	0,01 ± 0,00	tr	tr	tr
Furfural	832	tr	tr	tr	tr
(E)-2-Hexenal	849	0,01 ± 0,00 ^{ab}	0,01 ± 0,00 ^{ab}	0,01 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,01 ^b
Heptanal	904	tr ^{ab}	0,01 ± 0,01 ^a	tr ^b	tr ^b
Benzaldehído	987	0,01 ± 0,00	tr	tr	tr
Nonanal	1157	0,03 ± 0,00 ^a	0,04 ± 0,02 ^{ab}	0,08 ± 0,04 ^{bc}	0,09 ± 0,04 ^c
Mirtenal + Dihidrocarvona	1235	0,09 ± 0,05 ^a	0,10 ± 0,05 ^a	0,13 ± 0,02 ^a	0,21 ± 0,10 ^b
Decanal	1243	0,04 ± 0,02 ^a	0,04 ± 0,02 ^a	0,14 ± 0,08 ^b	0,16 ± 0,06 ^b
Cuminaldehído	1268	0,04 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,04 ± 0,02 ^a	0,13 ± 0,09 ^b
Neral + Carvona	1270	tr ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,15 ± 0,13 ^b	0,04 ± 0,02 ^a
Geranial + Perialdehído	1292	0,05 ± 0,03	0,07 ± 0,06	0,15 ± 0,14	0,08 ± 0,02
Cetonas					
3-Hexanona	795	tr	tr	tr	tr
3-Heptanona*	888	tr	tr	tr	tr
3-Octanona	1019	0,19 ± 0,02 ^a	0,03 ± 0,03 ^b	0,09 ± 0,03 ^c	0,08 ± 0,02 ^c
β-Tujona	1158	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,02	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,02
Alcanfor	1193	0,59 ± 0,29 ^a	0,81 ± 0,24 ^{ab}	0,92 ± 0,19 ^{bc}	1,18 ± 0,29 ^c
Pinocarvona*	1208	0,02 ± 0,02 ^{ab}	0,02 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,03 ^b
Verbenona	1245	2,22 ± 0,56 ^{ab}	1,52 ± 1,01 ^a	4,01 ± 1,83 ^c	3,13 ± 1,22 ^{bc}
Timoquinona	1276	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,02
(Z)-Jasmona	1399	tr ^a	tr ^a	0,01 ± 0,00 ^{ab}	0,01 ± 0,00 ^b
α-Ionona	1428	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01
β-Ionona	1497	0,01 ± 0,00 ^a	tr ^a	tr ^a	0,03 ± 0,02 ^b

Tabla III.1–11 (continuación)

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Ésteres					
Acetato de etilo	732	tr	tr	tr	tr
Butirato de metilo	763	tr	tr	tr	tr
Acetato de bencilo	1214	0,15 ± 0,05 ^a	0,05 ± 0,01 ^b	0,05 ± 0,01 ^b	0,04 ± 0,01 ^b
Caprilato de etilo	1239	0,03 ± 0,00 ^a	0,03 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,01 ^b	0,04 ± 0,02 ^{ab}
Acetato de bornilo	1302	0,15 ± 0,08	0,13 ± 0,08	0,09 ± 0,05	0,65 ± 0,85
Acetato de terpenilo	1353	tr ^a	tr ^a	0,03 ± 0,03 ^b	tr ^a
Acetato de timilo*	1356	0,19 ± 0,20 ^a	0,04 ± 0,04 ^{bc}	0,03 ± 0,02 ^b	0,14 ± 0,10 ^{ac}
Acetato de nerilo	1366	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01
Acetato de geranilo	1385	0,02 ± 0,02	0,07 ± 0,10	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,00
Caprilato de butilo	1388	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01
Fenoles					
Éter metílico de timol	1265	0,06 ± 0,00	0,38 ± 0,43	0,13 ± 0,15	0,87 ± 1,58
Éter metílico de carvacrol	1272	0,70 ± 0,01	0,07 ± 0,08	0,44 ± 0,57	0,30 ± 0,41
Timol	1308	29,55 ± 3,99 ^a	31,20 ± 2,08 ^a	25,92 ± 4,07 ^a	19,21 ± 4,23 ^b
Carvacrol	1314	1,57 ± 0,16 ^{ab}	1,74 ± 0,18 ^a	1,29 ± 0,38 ^{ab}	1,13 ± 0,39 ^b
Eugenol	1358	0,02 ± 0,00	0,04 ± 0,04	0,08 ± 0,12	0,01 ± 0,00
(E)-Isoeugenol	1453	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,02
Epóxidos					
(Z)-Óxido de linalol	1123	0,02 ± 0,01 ^{ab}	0,01 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,04 ± 0,03 ^b
Óxido de cariofileno	1650	0,19 ± 0,01	0,23 ± 0,06	0,24 ± 0,14	0,34 ± 0,16
Éter					
1,8-Cineol	1076	2,32 ± 2,64	3,30 ± 2,86	1,26 ± 2,29	1,89 ± 3,46

^{a,b,c} Valores con distinto superíndice en la misma línea presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$).

± Desviación estándar.

* Identificación tentativa.

I. R. Índices de Kovats (HP-5).

tr = trazas ($< 0,01\%$).

El m-xileno, que eluye con el hexanol, muestra su mejor rendimiento con las cantidades más altas de agua. El resto de hidrocarburos terpénicos cuya síntesis se ve afectada por el riego en esta recolección (α -gurjeneno, aloaromadendreno, elemeno, valenceno, α -muuroleno, γ -cadineno y δ -cadineno), alcanzan sus máximas concentraciones con el aporte hídrico más bajo.

En cuanto a los alcoholes, los más abundantes en esta especie de tomillo son (*E*) y (*Z*)-hidrato de sabineno, linalol, borneol, terpinen-4-ol y α -terpineol. En este grupo químico, 11 componentes se ven afectados por el riego diferenciado (butanol, hexanol, linalol, isoborneol, *p*-cimen-8-ol, α -terpineol, carveol, nerol, citronelol, geraniol y espatulenol). El butanol se encuentra en baja concentración, y alcanza sus mejores porcentajes con el tratamiento correspondiente al 80% de la ETo, significativamente superior al obtenido con el 20%. El α -terpineol, al igual que el hexanol, se ven favorecidos con el máximo aporte hídrico, aunque este último no parece distinguir entre el 80 y el 60% de la ETo. Por el contrario, linalol, isoborneol, carveol, nerol, citronelol, geraniol (integrado junto al acetato de linalilo) y espatulenol mejoran significativamente sus porcentajes con una cantidad de agua mínima. En los aceites esenciales ricos en linalol, uno de los componentes que se determina con mayor intensidad en las pruebas olfatométricas realizadas al aceite extraído de *Th. hyemalis* (Goodner *et al.*, 2006), se ha medido también una importante actividad antirradicalaria (Lax *et al.*, 2007). Por último, *p*-cimen-8-ol presenta su concentración más baja con el agua equivalente al 80% de la ETo, significativamente inferior al resto de tratamientos.

Los aldehídos, por su parte, no son especialmente abundantes en *Th. hyemalis*, encontrándose diferencias significativas en siete casos. Mirtenal y cuminaldehído ven significativamente aumentadas sus proporciones relativas cuando reciben el menor riego, en tanto que nonanal y decanal responden por igual al 40 y 20% de la ETo, con concentraciones significativamente superiores a las obtenidas cuando se les suministra más agua. El heptanal alcanza su mejor porcentaje con el 60% ETo, en tanto que el neral presenta un resultado significativamente superior con el 40%. (*E*)-2-hexenal no muestra diferencias entre 80, 60 y 20% de la ETo, siendo el porcentaje obtenido con el 40% significativamente inferior al alcanzado con el 20%. Todo esto nos lleva a pensar que en la presente recolección, la síntesis de estos compuestos se ve favorecida, en general, por bajos aportes hídricos.

Debe tenerse en cuenta que tanto mirtenal como neral se integran junto a dihidrocarvona y carvona respectivamente, y al igual que ocurre con los casos anteriormente mencionados en los que dos componentes distintos comparten el mismo pico cromatográfico, resulta difícil determinar si su comportamiento está motivado por su carácter aldehídico o cetónico.

Respecto a las cetonas, además de en las mencionadas dihidrocarvona y carvona, el análisis estadístico detecta diferencias significativas en seis casos más. Verbenona y alcanfor son los compuestos de este tipo más abundantes en *Th. hyemalis*. El alto contenido en verbenona es característico de esta especie, alcanzando su máxima proporción relativa con el aporte hídrico equivalente al 40% de la ETo, que resulta ser significativamente superior a la conseguida con el 80 y 60%. El 20% parece tener el mismo efecto que el 40 en este caso, al igual que ocurre con el alcanfor, cuyo mejor porcentaje se obtiene con estos dos tratamientos, en tanto que el alcanzado con el 80% de la ETo es significativamente más bajo. El riego equivalente al 60% de la ETo es el menos adecuado en el caso de 3-octanona, componente que mejora su rendimiento con el aporte hídrico más alto. Por el contrario, β -ionona, (Z)-jasmona y pinocarvona incrementan significativamente sus concentraciones relativas con la menor cantidad de agua. La β -ionona, a pesar de encontrarse en baja concentración, presenta una elevada intensidad de aroma (Goodner *et al.*, 2006).

Los ésteres que se presentan en mayor proporción en esta labiada son acetato de bornilo, acetato de timilo y acetato de bencilo. Los distintos niveles de riego producen cambios significativos en cinco de estos componentes. El acetato de linalilo muestra un porcentaje significativamente superior al resto de tratamientos con el aporte hídrico más bajo. Por el contrario, el acetato de bencilo alcanza su mayor concentración con el 80% de la ETo, al igual que el acetato de timilo, aunque este último no presenta diferencias significativas entre el 80 y el

20%, debido probablemente a la elevada desviación estándar detectada en ambos tratamientos. Por último, caprilato de etilo, y especialmente acetato de terpenilo, mejoran significativamente sus porcentajes si se riegan con el agua necesaria para compensar el 40% de la ETo, efecto que en el caso del caprilato de etilo es equiparable al conseguido con el 20%.

El apartado dedicado a los compuestos fenólicos es especialmente importante, teniendo en cuenta que el timol está considerado como el componente definitorio de calidad en estos aceites. Este fenol alcanza su máxima concentración relativa con el 60% de la ETo ($31,2 \pm 2,08\%$), no apreciándose diferencias significativas entre este tratamiento y los correspondientes al 80 y 40%. El aporte hídrico más bajo resulta ser el menos adecuado para la síntesis de este constituyente en invierno de 2002, con un porcentaje de $19,2 \pm 4,23\%$, significativamente inferior al resto. El carvacrol presenta unas proporciones relativas que varían con el riego de forma semejante a lo mencionado con el timol, aunque en este caso las únicas diferencias con significación estadística las encontramos entre el 60 y el 20% de la ETo. Ambos constituyentes muestran propiedades similares, pero el carvacrol suele aparecer en menor proporción en la mayoría de las plantas de esta especie, como quedará de manifiesto en el capítulo dedicado a la variabilidad intraespecífica.

Finalmente, sólo en un epóxido, (*Z*)-óxido de linalol, se aprecian diferencias significativas entre tratamientos, consiguiéndose el mejor resultado con el riego equivalente al 20% de la ETo, al igual que ocurría con el linalol, aunque tal resultado, en el caso del epóxido, no es significativamente superior al conseguido con el 80%.

Mencionar que el único éter identificado en esta labiada, 1,8-cineol, si bien no presenta diferencias significativas entre tratamientos, muestra sus mejores porcentajes con los aportes hídricos más altos, aunque la

variabilidad determina una desviación estándar muy elevada en todos los casos.

En resumen, considerando especialmente la tendencia observada en el timol, y que otros componentes responden igualmente bien con una cantidad de agua no demasiado alta, además del hecho de que numerosos constituyentes no parecen verse afectados por el riego diferenciado, podemos afirmar que en esta recolección un suplemento de agua que compense el 40% de la ETo es suficiente para asegurar una buena calidad en el aceite esencial.

III. 1. 5. 1. 2. Primavera 2002.

El análisis cromatográfico del aceite esencial extraído a las plantas de *Th. hyemalis* recolectadas en primavera (Tabla III.1–12), muestra variaciones con respecto a la recolección de invierno, que en algunos casos son bastante marcadas, no sólo por la presencia de diferencias significativas donde antes no las había y viceversa, sino también por las distintas concentraciones relativas de los componentes en ambas recolecciones.

Los hidrocarburos terpénicos que en primavera muestran diferencias significativas (triciclono, α -pineno, canfeno, verbeneno, sabineno, Δ_3 -careno, terpinoleno, aromadendreno, aloaromadendreno, elemeno, β -selineno, δ -cadineno y m-xileno) no coinciden con los de invierno en muchos casos. Triciclono, canfeno, verbeneno, sabineno y terpinoleno responden mejor en primavera con niveles bajos de agua (40 ó 20% de la ETo), en tanto que en invierno no se muestran sensibles a los diferentes riegos. Otro compuesto, el α -pineno, presenta en la segunda recolección un porcentaje significativamente más bajo cuando a las plantas se les aplica el riego equivalente al 80% de la ETo. No hay diferencias para este terpeno entre el 60, 40 y 20%, tratamientos con los

que eleva sus promedios respecto a invierno. El aromadendreno, por el contrario, disminuye su concentración con todos los tratamientos al cambiar la estación, y el rendimiento alcanzado con el suplemento hídrico más elevado es significativamente superior a los obtenidos con el 40 y 20% de la ETo en primavera. El β -selineno no varía apenas sus porcentajes respecto a invierno, aunque en primavera responde significativamente mejor con el 60% de la ETo, al igual que δ -cadineno, que reduce la cantidad detectada respecto a invierno con los suplementos hídricos más bajos. El elemeno presenta en primavera diferencias al comparar el 80 con el 40 y 20% de la ETo, resultando los menores aportes hídricos significativamente más eficaces. La presencia de Δ_3 -careno en la segunda cosecha se incrementa significativamente con el 80%, en tanto que en invierno le sucede lo propio con el 20%. El m-xileno, en la recolección de mayo, únicamente muestra diferencias significativas entre el 60 y 20% de la ETo, siendo más adecuado el primero; por su parte, el aloaromadendreno aumenta significativamente sus proporciones relativas con el 80%, pero no se aprecian diferencias entre dicho tratamiento y el equivalente al 20% de la ETo, con el que en invierno alcanza su mejor resultado.

De los alcoholes que demuestran distinguir entre riegos en la primavera de 2002, sólo hexanol, isoborneol, p-cimen-8-ol, α -terpineol y espatulenol lo hacen también en invierno. El hexanol, con diferencias significativas entre el 60 y 20% de la ETo en primavera, eleva su concentración con el 40 y 20% respecto a invierno. El isoborneol consigue sus mejores resultados con el 60 y 40% de la ETo, aunque sin diferencias significativas con el 20%. El α -terpineol incrementa significativamente su porcentaje con el 60% de la ETo en la segunda recolección, aunque registra una elevada desviación estándar en muchos casos, lo que demuestra de nuevo la variabilidad presente entre estas plantas. En primavera, espatulenol y p-cimen-8-ol necesitan poca cantidad de agua (20 ó 40% de la ETo) para alcanzar concentraciones óptimas, al igual que en invierno.

Tabla III.1–12. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, en función del aporte hídrico (Primavera 2002).

COMPONENTES	I. R.	% ETO			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Hidrocarburos terpénicos					
Triciclono*	931	0,01 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,03 ± 0,02 ^b	0,01 ± 0,00 ^{ab}
α-Tujeno*	940	1,04 ± 0,22	1,18 ± 0,81	1,30 ± 0,41	0,63 ± 0,04
α-Pineno	949	0,34 ± 0,06 ^a	2,47 ± 2,19 ^b	1,46 ± 0,82 ^{ab}	2,24 ± 1,77 ^b
Canfeno	969	0,35 ± 0,16 ^a	0,29 ± 0,10 ^a	1,06 ± 0,95 ^b	0,35 ± 0,03 ^a
Verbeneno*	976	0,05 ± 0,04 ^{ab}	0,03 ± 0,02 ^a	0,09 ± 0,05 ^b	0,05 ± 0,02 ^{ab}
Sabineno	1001	0,14 ± 0,10 ^a	0,40 ± 0,15 ^b	0,50 ± 0,32 ^b	0,83 ± 0,04 ^c
β-Pineno	1007	0,27 ± 0,15	0,20 ± 0,06	0,30 ± 0,21	0,16 ± 0,02
Mirceno	1026	0,90 ± 0,33	1,27 ± 0,74	1,07 ± 0,37	0,79 ± 0,05
α-Felandreno	1042	0,18 ± 0,03	0,18 ± 0,06	0,17 ± 0,04	0,16 ± 0,01
Δ ₃ -Careno	1048	0,07 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,02 ^b	0,06 ± 0,01 ^b	0,04 ± 0,00 ^b
α-Terpineno	1058	1,33 ± 0,51	1,26 ± 0,47	1,51 ± 0,47	1,70 ± 0,06
p-Cimeno	1068	27,29 ± 7,87	27,62 ± 9,50	28,94 ± 6,35	22,49 ± 0,72
Limoneno	1073	1,61 ± 0,64	1,34 ± 0,46	1,79 ± 0,79	2,18 ± 0,52
(Z)-β-Ocimeno	1086	0,04 ± 0,04	0,11 ± 0,18	0,06 ± 0,07	0,04 ± 0,04
(E)-β-Ocimeno*	1097	0,17 ± 0,21	0,52 ± 0,85	0,38 ± 0,46	0,18 ± 0,17
γ-Terpineno	1109	9,42 ± 4,25	9,24 ± 2,45	10,99 ± 3,89	9,07 ± 0,82
Terpinoleno + (E)-Óxido de linalol	1141	0,20 ± 0,03 ^a	0,35 ± 0,18 ^b	0,38 ± 0,17 ^b	0,54 ± 0,03 ^c
α-Copaeno	1378	tr	0,01 ± 0,00	tr	tr
α-Gurjeneno*	1408	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01
(E)-Cariofileno	1419	0,72 ± 0,23	0,76 ± 0,61	0,88 ± 0,35	0,31 ± 0,10
Calereno	1432	0,01 ± 0,02	tr	0,01 ± 0,01	tr
Aromadendreno	1440	0,04 ± 0,02 ^a	0,03 ± 0,02 ^{ab}	0,02 ± 0,01 ^b	0,01 ± 0,01 ^b
α-Humuleno	1457	0,03 ± 0,01	0,07 ± 0,09	0,05 ± 0,02	0,01 ± 0,00
Aloaromadendreno	1465	0,13 ± 0,05 ^a	0,07 ± 0,02 ^b	0,07 ± 0,01 ^b	0,12 ± 0,03 ^a
Elemeno*	1481	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^{ab}	0,01 ± 0,00 ^b	0,02 ± 0,00 ^b
β-Selineno*	1485	0,01 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,01 ^b	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a
Valenceno	1510	0,27 ± 0,08	0,32 ± 0,17	0,32 ± 0,04	0,41 ± 0,04
α-Muuroleno*	1516	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,02 ± 0,01
γ-Cadineno*	1537	0,05 ± 0,02	0,09 ± 0,03	0,06 ± 0,05	0,05 ± 0,02
δ-Cadineno	1553	0,10 ± 0,02 ^a	0,13 ± 0,02 ^b	0,08 ± 0,04 ^a	0,09 ± 0,03 ^a
Alcoholes					
Butanol	742	tr	tr	tr	tr
3-Metil-3-buten-1-ol	766	tr	tr	tr	tr
3-penten-2-ol*	784	tr	tr	tr	tr
3-metil-2-buten-1-ol*	789	tr	tr	tr	tr
(Z)-3-Hexen-1-ol	852	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
(E)-2-Hexen-1-ol	865	tr	tr	tr	tr
Hexanol + m-Xileno	867	0,02 ± 0,01 ^{ab}	0,03 ± 0,01 ^a	0,03 ± 0,00 ^{ab}	0,02 ± 0,00 ^b
1-Octen-3-ol	1009	0,13 ± 0,12	0,20 ± 0,14	0,13 ± 0,07	0,15 ± 0,05
3-Octanol	1031	0,02 ± 0,02 ^a	0,03 ± 0,03 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,09 ± 0,10 ^b

Tabla III.1–12 (continuación)

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Alcoholes (continuación)					
(E)-Hidrato de sabineno	1116	0,67 ± 0,24 ^a	2,76 ± 2,37 ^{ab}	3,32 ± 3,22 ^b	15,42 ± 0,28 ^c
(Z)-Hidrato de sabineno*	1151	0,17 ± 0,06	4,04 ± 4,24	3,19 ± 4,51	1,05 ± 0,19
Linalol	1152	3,18 ± 2,43	1,87 ± 1,53	1,58 ± 1,28	1,54 ± 0,04
(E)-Pinocarveol	1186	0,25 ± 0,28	0,22 ± 0,02	0,23 ± 0,11	0,20 ± 0,03
(Z)-Verbenol	1189	0,38 ± 0,13 ^a	0,86 ± 0,52 ^b	0,83 ± 0,40 ^b	0,86 ± 0,08 ^b
(E)-Verbenol*	1197	0,04 ± 0,01 ^a	0,03 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,00 ^a	0,06 ± 0,03 ^b
Isoborneol	1203	tr ^a	0,01 ± 0,00 ^b	0,01 ± 0,00 ^b	tr ^{ab}
Borneol	1211	1,09 ± 0,35 ^a	1,23 ± 0,50 ^a	3,84 ± 3,64 ^b	1,33 ± 0,00 ^{ab}
Terpinen-4-ol	1220	0,51 ± 0,14 ^a	1,34 ± 1,04 ^a	3,05 ± 2,67 ^b	4,14 ± 0,18 ^b
p-Cimen-8-ol	1227	0,18 ± 0,04 ^{ab}	0,14 ± 0,11 ^a	0,25 ± 0,04 ^c	0,24 ± 0,05 ^{bc}
α-Terpineol	1231	0,62 ± 0,26 ^a	12,83 ± 13,70 ^b	1,98 ± 2,37 ^a	1,54 ± 0,05 ^a
Carveol	1252	0,04 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,03	0,05 ± 0,02
Nerol + Citronelol	1260	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,02
Geraniol + Acetato de linalilo	1281	0,06 ± 0,05	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01
Espatulanol	1640	0,34 ± 0,06 ^a	0,29 ± 0,11 ^a	0,37 ± 0,09 ^{ab}	0,46 ± 0,08 ^b
Aldehídos					
(E)-2-Butenal*	735	tr	tr	tr	tr
Pentanal	754	tr	tr	tr	tr
Hexanal + Butirato de etilo	802	tr	tr	tr	tr
Furfural	832	tr	tr	tr	tr
(E)-2-Hexenal	849	tr	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
Heptanal	904	tr	tr	tr	tr
Benzaldehído	987	tr	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01
Nonanal	1157	0,04 ± 0,06	0,04 ± 0,02	0,08 ± 0,07	0,11 ± 0,01
Mirtenal + Dihidrocarvona	1235	0,13 ± 0,08	0,12 ± 0,05	0,16 ± 0,09	0,22 ± 0,05
Decanal	1243	0,06 ± 0,04 ^a	0,13 ± 0,17 ^{ab}	0,22 ± 0,15 ^b	0,23 ± 0,06 ^b
Cuminaldehído	1268	0,03 ± 0,02	0,07 ± 0,04	0,05 ± 0,02	0,06 ± 0,02
Neral + Carvona	1270	0,02 ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,02	0,03 ± 0,03
Geranial + Perialdehído	1292	0,19 ± 0,07	0,21 ± 0,02	0,23 ± 0,10	0,13 ± 0,03
Cetonas					
3-Hexanona	795	tr	tr	tr	tr
3-Heptanona*	888	tr	tr	tr	tr
3-Octanona	1019	0,07 ± 0,04	0,04 ± 0,02	0,06 ± 0,06	0,03 ± 0,00
β-Tujona	1158	0,02 ± 0,02	0,03 ± 0,02	0,03 ± 0,04	0,03 ± 0,00
Alcanfor	1193	0,96 ± 0,48 ^a	0,64 ± 0,16 ^a	1,04 ± 0,26 ^{ab}	1,50 ± 0,71 ^b
Pinocarvona*	1208	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,02	0,03 ± 0,03	0,02 ± 0,00
Verbenona	1245	4,33 ± 2,52	2,01 ± 1,37	4,10 ± 2,84	4,45 ± 1,20
Timoquinona	1276	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,03	0,03 ± 0,03	0,04 ± 0,03
(Z)-Jasmona	1399	tr ^a	0,01 ± 0,00 ^{ab}	0,01 ± 0,01 ^b	tr ^a
α-Ionona	1428	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	tr ^b
β-Ionona	1497	0,02 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,01 ^{ab}	tr ^b

Tabla III.1–12 (continuación)

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Ésteres					
Acetato de etilo	732	tr	tr	tr	tr
Butirato de metilo	763	tr	tr	tr	tr
Acetato de bencilo	1214	0,14 ± 0,14	0,10 ± 0,03	0,08 ± 0,02	0,07 ± 0,00
Caprilato de etilo	1239	0,07 ± 0,04	0,04 ± 0,01	0,07 ± 0,04	0,08 ± 0,00
Acetato de bornilo	1302	0,09 ± 0,02	0,10 ± 0,04	0,11 ± 0,01	0,08 ± 0,02
Acetato de terpenilo	1353	tr	0,04 ± 0,05	0,02 ± 0,02	tr
Acetato de timilo*	1356	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01
Acetato de nerilo	1366	0,03 ± 0,02	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,02	tr
Acetato de geranilo	1385	0,03 ± 0,05	0,02 ± 0,02	0,01 ± 0,01	tr
Caprilato de butilo	1388	0,01 ± 0,01 ^{ab}	0,02 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,01 ^{bc}	tr ^c
Fenoles					
Éter metílico de timol	1265	0,53 ± 0,55	0,18 ± 0,31	0,13 ± 0,09	0,48 ± 0,55
Éter metílico de carvacrol	1272	0,28 ± 0,30	0,43 ± 0,35	0,70 ± 0,59	0,07 ± 0,04
Timol	1308	29,20 ± 2,68 ^a	17,15 ± 8,62 ^b	14,46 ± 3,24 ^b	16,55 ± 2,12 ^b
Carvacrol	1314	2,05 ± 0,25 ^a	1,39 ± 0,79 ^b	0,98 ± 0,24 ^b	1,27 ± 0,30 ^b
Eugenol	1358	0,08 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,07 ± 0,06	0,08 ± 0,02
(<i>E</i>)-Isoeugenol	1453	0,03 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,01 ^b	0,02 ± 0,01 ^b	0,02 ± 0,00 ^b
Epóxidos					
(<i>Z</i>)-Óxido de linalol	1123	0,02 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,01 ^{ab}	tr ^b
Óxido de cariofileno	1650	0,25 ± 0,07	0,27 ± 0,12	0,33 ± 0,08	0,19 ± 0,07
Éter					
1,8-Cineol	1076	2,06 ± 2,21	1,41 ± 1,55	1,69 ± 2,04	0,61 ± 0,68

^{a,b,c} Valores con distinto superíndice en la misma línea presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$).

± Desviación estándar.

* Identificación tentativa.

I. R. Índices de Kovats (HP-5).

tr = trazas (< 0,01%).

Por otra parte, alcoholes como 3-octanol, (*E*)-hidrato de sabineno, (*Z*) y (*E*)-verbenol, borneol y terpinen-4-ol, presentan diferencias con significación estadística que no aparecen en invierno. Los dos primeros aumentan significativamente sus proporciones relativas con el nivel de agua más bajo, siendo esto especialmente relevante en el caso del (*E*)-hidrato de sabineno, que incrementa su concentración 23 veces al comparar con el 80% de la ETo; (*Z*)-verbenol muestra su peor porcentaje

con el 80% de la ETo, significativamente inferior al resto, elevando sus promedios respecto a invierno. Y (*E*)-verbenol presenta una concentración significativamente superior con el 20% en primavera, con unos valores medios similares a los de invierno. Por último, terpinen-4-ol y borneol mejoran significativamente su respuesta en la cosecha de mayo con los dos niveles de agua más bajos.

Cabe destacar el comportamiento del linalol, que en invierno alcanza valores significativamente más altos con el menor aporte hídrico, y en primavera no se muestra sensible a los distintos niveles de agua.

Sólo un aldehído, el decanal, presenta diferencias significativas en primavera. En esta estación, al igual que en invierno, los mejores resultados se consiguen con el 40 y 20% de la ETo, con la diferencia de que en la segunda recolección, el valor alcanzado con el 60% no es significativamente distinto de los demás.

Alcanfor, (*Z*)-jasmona, α y β -ionona, son las cetonas cuyos porcentajes presentan diferencias en función de agua recibida por las plantas en mayo. El alcanfor, que incrementa su presencia en el aceite esencial respecto a invierno con casi todos los tratamientos, mejora significativamente su concentración en primavera con el 40 y, especialmente, el 20% de la ETo. La (*Z*)-jasmona coincide en responder igualmente bien con el 40%, pero dicho tratamiento no es diferente del 60%. Otra cetona, α -ionona, cuya síntesis no se ve afectada en invierno por ningún riego, reduce significativamente su concentración en primavera con el 20% de la ETo, y β -ionona, por su parte, también obtiene en la recolección de mayo su peor resultado con el nivel de agua más bajo, pero en este caso sin mostrar diferencias con el 40% de la ETo.

Respecto a los ésteres, el caprilato de butilo es el único que distingue entre riegos en la segunda recolección, alcanzando con el 60% de la ETo un porcentaje significativamente superior al conseguido con el

40 y el 20%. Este componente no muestra diferencias entre tratamientos en invierno.

Timol y carvacrol manifiestan también en primavera diferencias en sus concentraciones en función del riego. El primero presenta un porcentaje significativamente superior con el aporte hídrico más elevado, que además es el único tratamiento con el que se mantiene una proporción relativa similar a la de invierno, ya que con el resto, este fenol reduce su presencia en el aceite esencial. El carvacrol adopta un comportamiento similar, con una concentración significativamente más alta con el 80% de la ETo, pero en este caso se incrementa el porcentaje alcanzado respecto a invierno tanto con dicho tratamiento como con el 20%, en tanto que disminuye con el 60 y 40%. Otro fenol, (*E*)-isoeugenol, que en invierno no muestra diferencias significativas, presenta en mayo una proporción significativamente mejor con el 80% de la ETo.

Finalmente, el (*Z*)-óxido de linalol alcanza con el 20% de la ETo una cantidad relativa significativamente inferior a las mostradas con el 80 y 60%, en tanto que en invierno exhibe un comportamiento opuesto, ya que obtiene su mejor porcentaje con el aporte hídrico más bajo.

A la vista de estos resultados, se puede concluir que la segunda recolección de *Th. hyemalis* requiere un aporte hídrico superior al de invierno para garantizar la calidad del aceite esencial, ya que parece que en primavera, los fenoles cuya síntesis se ve favorecida por un determinado nivel de riego mejoran sus porcentajes con la cantidad de agua más elevada de todas las ensayadas, aunque otros componentes de estas sustancias, entre los que se incluyen algunos terpenos y alcoholes con concentración relativa importante, no manifiestan este comportamiento, ya que incrementan su presencia en el aceite con suplementos hídricos bajos.

III. 1. 5. 1. 3. Comparativa invierno/primavera 2002.

Resulta interesante analizar si el perfil volátil del aceite esencial varía significativamente con el cambio de estación. Por ello, se ha realizado un estudio estadístico en el cual se determina, con los principales constituyentes de estos aceites, la presencia o ausencia de diferencias entre invierno y primavera en todos los tratamientos de riego (Tabla III.1–13).

Mirceno y p-cimeno, a pesar de elevar sus concentraciones en primavera con todos los tratamientos, no presentan diferencias significativas respecto a invierno. El γ -terpineno, sin embargo, muestra mayores porcentajes en la primera recolección, los cuales son incluso significativamente más altos con el 60 y 20% de la ETo.

Tabla III.1–13. Análisis estadístico comparativo invierno/primavera 2002.

Componentes	% ETo			
	80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Mirceno	ND	ND	ND	ND
p-Cimeno	ND	ND	ND	ND
γ -Terpineno	ND	D	ND	D
(E)-Hidrato de sabineno	ND	ND	ND	D
(Z)-Hidrato de sabineno	ND	ND	ND	ND
Linalol	ND	ND	ND	ND
Alcanfor	ND	ND	ND	ND
Borneol	D	D	ND	ND
α -Terpineol	D	ND	ND	D
Verbenona	ND	ND	ND	ND
Timol	ND	D	D	ND
Carvacrol	D	ND	ND	ND

D = Diferencias estadísticamente significativas entre estaciones ($P < 0,05$).
 ND = No existen diferencias.

Los alcoholes (*E*) y (*Z*)-hidrato de sabineno también incrementan su presencia en el aceite en mayo, especialmente el primero, que con el aporte hídrico equivalente al 20% de la ETo multiplica casi por nueve por su concentración respecto a invierno, lo que explica las diferencias significativas detectadas en ese tratamiento. Con el linalol se obtienen mejores resultados en primavera, al comparar con la primera recolección, con el 80, 60 y 40% de la ETo, pero no con el 20%, aunque este tratamiento, en invierno, si bien proporciona una concentración bastante alta en promedio, muestra una desviación estándar igualmente elevada, lo cual explica la ausencia de diferencias significativas. El borneol, por su parte, presenta en invierno porcentajes superiores en los tratamientos que implican el mayor y menor aporte hídrico, bajando su concentración con los tratamientos intermedios respecto a primavera, aunque las diferencias entre estaciones sólo son significativas con el 80 y 40% de la ETo. En cuanto al α -terpineol, su concentración de mayo se ve incrementada respecto a febrero con todos los tratamientos, excepto el 80% de la ETo, y se detectan diferencias significativas entre las dos estaciones con el 80 y 20%, a pesar del contraste en cuanto a presencia de este componente que encontramos en estas plantas.

La verbenona, cuya presencia en concentraciones relativamente altas caracteriza a *Th. hyemalis*, muestra en general un porcentaje superior en primavera, pero sin diferenciarse significativamente de invierno; en tanto que el aumento que presenta el alcanfor en su concentración en la segunda recolección con todos los tratamientos, salvo el correspondiente al 60% de la ETo, no resulta ser significativo.

Analizando el comportamiento del timol, vemos que la reducción de los porcentajes de este fenol en primavera respecto a invierno es significativa con el 60 y 40% de la ETo, ya que con ambos tratamientos el descenso en el contenido de timol es bastante notable, mientras el valor alcanzado con el 80% es muy semejante en ambas estaciones. El aporte hídrico más bajo no resulta adecuado para la producción de timol en el

primer año de aplicación del riego diferenciado en ninguna estación, ya que el valor alcanzado con dicho riego es relativamente bajo en ambos casos. El carvacrol, por su parte, sólo muestra diferencias significativas entre estaciones con el 80% de la ETo, con una concentración superior en primavera.

Basándonos en los datos comentados hasta ahora, es posible afirmar, a modo de resumen, que un porcentaje importante de componentes se ven favorecidos por los aportes hídricos más bajos (20 ó 40% de la ETo) en ambas estaciones, encontrándose entre éstos, en la recolección de invierno, γ -terpineno, aloaromadendreno, elemeno, valenceno, α -muuroleno, linalol, isoborneol, carveol, nerol, citronelol, geraniol, espatulenol, mirtenal, decanal, cuminaldehído, neral, alcanfor, dihidrocarvona, verbenona, carvona, β -ionona, caprilato de etilo, acetato de linalilo, acetato de terpenilo y (*Z*)-óxido de linalol; en primavera, los componentes que destacan con estos tratamientos son triciclono, canfeno, verbeneno, sabineno, terpinoleno, 3-octanol, (*E*)-hidrato de sabineno, (*E*)-verbenol, borneol, terpinen-4-ol, *p*-cimen-8-ol, espatulenol, decanal y alcanfor.

Los riegos más abundantes, por el contrario, benefician en invierno a *m*-xileno, hexanol, α -terpineol, heptanal, 3-octanona y acetato de bencilo; y en primavera, los componentes que se destacan con el 80 ó 60% de la ETo son Δ_3 -careno, aromadendreno, β -selineno, δ -cadineno, α -terpineol, caprilato de butilo, timol, carvacrol y (*E*)-isoeugenol.

El resto de componentes no muestran diferencias o bien no manifiestan una afinidad claramente definida hacia una cantidad escasa o elevada de agua, ya que pueden reaccionar igualmente bien con aportes hídricos muy diferentes.

Teniendo todo esto en cuenta, regar con el agua equivalente al 40% de la ETo es lo más indicado en la recolección de invierno correspondiente al primer año de ensayo, ya que la calidad del aceite esencial no mejora significativamente aplicando mayores cantidades de

agua. Por el contrario, en primavera de este mismo año, primero con riego diferenciado, se necesita más agua, hasta el 80% de la ETo, para conseguir una calidad óptima en el aceite.

Puede ser beneficioso, por lo tanto, establecer cultivos de *Th. hyemalis*, ya que su primera cosecha anual, con un escaso riego, puede proporcionar un aceite de calidad, adelantándose a la producción de otras especies de tomillo. La siega de primavera, ya que en nuestra región no resulta rentable aumentar el suplemento hídrico hasta el 80%, se podría dedicar a la obtención de hoja para ser empleada como condimento alimentario, puesto que en lo referente a la producción de biomasa, la segunda recolección de 2002 no se ve mermada por aplicar un escaso aporte de agua, que podría ser el equivalente al 40% de la ETo.

III. 1. 5. 1. 4. Invierno 2003.

En esta recolección (Tabla III.1–14), el efecto que los distintos tratamientos de riego pueden tener sobre el perfil volátil de estos aceites parece haberse atenuado, si lo comparamos con el invierno anterior, ya que únicamente se aprecian diferencias con significación estadística en seis componentes: linalol, benzaldehído, 3-hexanona, caprilato de butilo, carvacrol y (Z)-óxido de linalol.

Si nos detenemos en los terpenos, observamos que en esta recolección no se aprecian diferencias significativas entre tratamientos en ningún caso, a diferencia de lo ocurrido en 2002. De hecho, en algunos componentes, como α -tujeno y mirceno, el resultado es completamente distinto en los dos años, ya que en 2003 aparecen los promedios más elevados en los tratamientos que en 2002 proporcionaban los peores rendimientos. Continuando con el seguimiento a los constituyentes que en invierno de 2002 mostraban diferencias significativas, el α -felandreno presenta en 2003 el mejor resultado con el aporte hídrico más bajo, a

diferencia de 2002, recolección en la que se necesita aumentar el riego hasta el 40 o 60% de la ETo para aumentar la concentración relativa de este compuesto. El m-xileno mejora sus porcentajes en 2003 respecto a 2002 con aportes de agua bajos. Por el contrario, aloaromadendreno, elemeno, valenceno, α -muuroleno y γ y δ -cadineno necesitan en 2003 más agua que en 2002 para alcanzar sus mejores promedios. Por su parte, la tendencia de Δ_3 -careno y α -gurjeneno en 2003 es igual a la de 2002, ya que el primero disminuye su concentración relativa con el suplemento de agua más bajo, y el segundo la aumenta. El precursor fenólico γ -terpineno ve mejorado su porcentaje en 2003 a medida que disminuye el agua que reciben las plantas.

Es importante recordar que, por lo que respecta a los terpenos, en 2003 sólo podemos señalar tendencias, ya que el diferente aporte de agua no afecta significativamente a su presencia en el aceite esencial de la planta.

En cuanto a los alcoholes, sólo el linalol se muestra sensible a los distintos tratamientos hídricos en esta recolección, alcanzando cantidades relativas significativamente más elevadas con los riegos abundantes, equivalentes al 80 y 60% de la ETo. El porcentaje más bajo aparece con el 20%, tratamiento con el que en 2002 se consigue el mejor resultado. El resto de alcoholes que anteriormente mostraban diferencias entre riegos varían ligeramente su respuesta en 2003. Algunos de ellos, como hexanol, no necesitan en 2003 un suplemento hídrico elevado para obtener un buen resultado, en tanto que nerol y citronelol mejoran el porcentaje logrado con el 80, 60 y 40% respecto al año anterior, al igual que carveol y espatulenol. El butanol aumenta la concentración alcanzada con el 40% de la ETo con relación a 2002, al igual que el isoborneol, que además muestra un descenso con el 20% respecto al primer año de ensayo. El p-cimen-8-ol y el α -terpineol presentan en 2003 sus promedios más elevados con el 80%, y el geraniol pasa, con dicho tratamiento, de aparecer en trazas en 2002 a tener un promedio relativamente alto en 2003, pero con una desviación estándar muy elevada.

Tabla III.1–14. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, en función del aporte hídrico (Invierno 2003).

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Hidrocarburos terpénicos					
Triciclono*	931	0,02 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,02	0,03 ± 0,02
α-Tujeno*	940	0,83 ± 0,12	1,05 ± 0,32	0,96 ± 0,39	1,16 ± 0,84
α-Pineno	949	1,19 ± 1,09	1,10 ± 0,48	0,98 ± 0,26	2,72 ± 2,77
Canfeno	969	0,99 ± 1,01	0,69 ± 0,36	0,92 ± 0,62	1,10 ± 0,63
Verbeneno*	976	0,09 ± 0,03	0,08 ± 0,02	0,06 ± 0,03	0,10 ± 0,07
Sabineno	1001	0,12 ± 0,11	0,17 ± 0,16	0,20 ± 0,25	0,27 ± 0,30
β-Pineno	1007	0,22 ± 0,17	0,18 ± 0,13	0,11 ± 0,01	0,29 ± 0,21
Mirceno	1026	0,86 ± 0,63	0,63 ± 0,16	0,69 ± 0,24	0,85 ± 0,23
α-Felandreno	1042	0,12 ± 0,03	0,15 ± 0,02	0,15 ± 0,01	0,16 ± 0,03
Δ ₃ -Careno	1048	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,05 ± 0,01
α-Terpineno	1058	0,97 ± 0,41	1,29 ± 0,32	1,39 ± 0,39	1,51 ± 0,67
p-Cimeno	1068	32,36 ± 2,73	30,73 ± 5,55	31,42 ± 10,16	26,68 ± 7,43
Limoneno	1073	0,97 ± 0,36	1,14 ± 0,29	1,24 ± 0,16	1,38 ± 0,34
(Z)-β-Ocimeno	1086	0,03 ± 0,03	tr	0,05 ± 0,06	0,01 ± 0,00
(E)-β-Ocimeno*	1097	0,07 ± 0,08	0,03 ± 0,01	0,34 ± 0,45	0,05 ± 0,02
γ-Terpineno	1109	6,23 ± 3,57	9,31 ± 4,07	10,28 ± 2,47	11,50 ± 3,76
Terpinoleno + (E)-Óxido de linalol	1141	0,24 ± 0,06	0,23 ± 0,12	0,23 ± 0,10	0,28 ± 0,27
α-Copaeno	1378	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
α-Gurjeneno*	1408	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,06 ± 0,05
(E)-Cariofileno	1419	0,78 ± 0,25	1,23 ± 0,59	0,82 ± 0,22	0,51 ± 0,25
Calereno	1432	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
Aromadendreno	1440	0,05 ± 0,04	0,11 ± 0,06	0,06 ± 0,07	0,05 ± 0,03
α-Humuleno	1457	0,06 ± 0,02	0,07 ± 0,07	0,04 ± 0,02	0,03 ± 0,02
Aloaromadendreno	1465	0,06 ± 0,02	0,07 ± 0,07	0,11 ± 0,06	0,03 ± 0,02
Elemeno*	1481	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01
β-Selineno*	1485	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,01
Valenceno	1510	0,24 ± 0,07	0,48 ± 0,37	0,39 ± 0,27	0,34 ± 0,16
α-Muuroleno*	1516	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,02 ± 0,01
γ-Cadineno*	1537	0,04 ± 0,02	0,09 ± 0,06	0,09 ± 0,03	0,07 ± 0,01
δ-Cadineno	1553	0,08 ± 0,02	0,12 ± 0,06	0,15 ± 0,04	0,11 ± 0,02
Alcoholes					
Butanol	742	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01	tr
3-Metil-3-buten-1-ol	766	tr	tr	tr	tr
3-penten-2-ol*	784	tr	tr	tr	tr
3-metil-2-buten-1-ol*	789	0,01 ± 0,00	tr	tr	tr
(Z)-3-Hexen-1-ol	852	tr	tr	tr	tr
(E)-2-Hexen-1-ol	865	tr	tr	tr	tr
Hexanol + m-Xileno	867	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,02 ± 0,01
1-Octen-3-ol	1009	0,19 ± 0,07	0,18 ± 0,13	0,18 ± 0,04	0,17 ± 0,09
3-Octanol	1031	0,04 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,06 ± 0,05

Tabla III.1-14 (continuación)

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Alcoholes (continuación)					
(<i>E</i>)-Hidrato de sabineno	1116	0,75 ± 0,35	1,24 ± 1,35	3,44 ± 4,76	1,33 ± 1,38
(<i>Z</i>)-Hidrato de sabineno*	1151	0,46 ± 0,57	0,84 ± 1,50	0,35 ± 0,27	1,65 ± 2,90
Linalol	1152	2,21 ± 0,54 ^a	1,78 ± 0,63 ^a	0,90 ± 0,32 ^b	0,45 ± 0,25 ^b
(<i>E</i>)-Pinocarveol	1186	0,23 ± 0,12	0,22 ± 0,08	0,20 ± 0,01	0,33 ± 0,15
(<i>Z</i>)-Verbenol	1189	0,50 ± 0,24	0,78 ± 0,45	0,52 ± 0,20	0,69 ± 0,26
(<i>E</i>)-Verbenol*	1197	0,07 ± 0,04	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,07 ± 0,02
Isoborneol	1203	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
Borneol	1211	3,63 ± 3,51	2,51 ± 1,17	3,51 ± 2,17	3,52 ± 1,34
Terpinen-4-ol	1220	0,77 ± 0,35	1,00 ± 1,26	1,09 ± 1,16	1,76 ± 2,65
p-Cimen-8-ol	1227	0,38 ± 0,08	0,27 ± 0,05	0,29 ± 0,05	0,29 ± 0,09
α-Terpineol	1231	1,55 ± 2,35	0,45 ± 0,15	0,50 ± 0,33	0,63 ± 0,28
Carveol	1252	0,05 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,04
Nerol + Citronelol	1260	0,03 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,05 ± 0,03	0,05 ± 0,02
Geraniol + Acetato de linalilo	1281	0,13 ± 0,19	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01
Espatulenol	1640	0,41 ± 0,10	0,38 ± 0,22	0,35 ± 0,24	0,33 ± 0,18
Aldehídos					
(<i>E</i>)-2-Butenal*	735	tr	tr	tr	tr
Pentanal	754	tr	tr	tr	tr
Hexanal + Butirato de etilo	802	0,01 ± 0,00	tr	tr	tr
Furfural	832	0,01 ± 0,00	tr	tr	tr
(<i>E</i>)-2-Hexenal	849	0,01 ± 0,00	tr	tr	tr
Heptanal	904	tr	0,01 ± 0,00	tr	tr
Benzaldehído	987	0,01 ± 0,00 ^a	tr ^b	tr ^b	tr ^b
Nonanal	1157	0,06 ± 0,03	0,06 ± 0,03	0,06 ± 0,02	0,08 ± 0,03
Mirtenal + Dihidrocarvona	1235	0,15 ± 0,08	0,12 ± 0,07	0,13 ± 0,01	0,22 ± 0,09
Decanal	1243	0,17 ± 0,12	0,21 ± 0,11	0,21 ± 0,09	0,20 ± 0,09
Cuminaldehído	1268	0,07 ± 0,04	0,05 ± 0,02	0,07 ± 0,03	0,06 ± 0,02
Neral + Carvona	1270	0,03 ± 0,04	0,10 ± 0,08	0,17 ± 0,21	0,11 ± 0,08
Geranial + Perialdehído	1292	0,13 ± 0,05	0,21 ± 0,15	0,21 ± 0,25	0,16 ± 0,11
Cetonas					
3-Hexanona	795	tr ^a	0,01 ± 0,01 ^b	tr ^a	tr ^a
3-Heptanona*	888	tr	0,01 ± 0,01	tr	tr
3-Octanona	1019	0,13 ± 0,10	0,10 ± 0,05	0,12 ± 0,03	0,11 ± 0,09
β-Tujona	1158	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,02
Alcanfor	1193	0,90 ± 0,41	1,06 ± 0,32	1,06 ± 0,20	1,36 ± 0,45
Pinocarvona*	1208	0,04 ± 0,02	0,02 ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,05 ± 0,03
Verbenona	1245	3,12 ± 1,99	4,38 ± 1,69	4,13 ± 0,81	4,28 ± 1,17
Timoquinona	1276	0,06 ± 0,04	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01
(<i>Z</i>)-Jasmona	1399	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	tr	0,01 ± 0,00
α-Ionona	1428	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
β-Ionona	1497	0,01 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01

Tabla III.1–14 (continuación)

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Ésteres					
Acetato de etilo	732	tr	tr	tr	tr
Butirato de metilo	763	tr	tr	tr	tr
Acetato de bencilo	1214	0,04 ± 0,02	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,03 ± 0,03
Caprilato de etilo	1239	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,03	0,06 ± 0,02	0,07 ± 0,03
Acetato de bornilo	1302	0,09 ± 0,04	0,15 ± 0,12	0,09 ± 0,02	0,13 ± 0,09
Acetato de terpenilo	1353	tr	tr	tr	tr
Acetato de timilo*	1356	0,04 ± 0,05	0,04 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,05 ± 0,05
Acetato de nerilo	1366	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,02	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
Acetato de geranilo	1385	0,01 ± 0,01	0,07 ± 0,15	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01
Caprilato de butilo	1388	tr ^a	0,02 ± 0,01 ^b	tr ^a	tr ^a
Fenoles					
Éter metílico de timol	1265	0,92 ± 1,04	0,33 ± 0,43	0,41 ± 0,66	0,19 ± 0,16
Éter metílico de carvacrol	1272	0,35 ± 0,34	0,21 ± 0,26	0,43 ± 0,62	0,49 ± 0,49
Timol	1308	27,38 ± 5,25	27,31 ± 3,57	24,65 ± 2,51	24,24 ± 5,00
Carvacrol	1314	1,73 ± 0,05 ^{ab}	1,96 ± 0,44 ^a	1,33 ± 0,37 ^{bc}	1,24 ± 0,18 ^c
Eugenol	1358	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,02	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01
(E)-Isoeugenol	1453	0,03 ± 0,03	0,03 ± 0,02	0,02 ± 0,00	0,01 ± 0,00
Epóxidos					
(Z)-Óxido de linalol	1123	0,03 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,01 ^b	0,02 ± 0,01 ^b	0,01 ± 0,00 ^b
Óxido de cariofileno	1650	0,37 ± 0,14	0,34 ± 0,11	0,24 ± 0,08	0,21 ± 0,10
Éter					
1,8-Cineol	1076	2,80 ± 3,27	1,32 ± 2,72	0,11 ± 0,15	2,14 ± 2,97

^{a,b,c} Valores con distinto superíndice en la misma línea presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$).

± Desviación estándar.

* Identificación tentativa.

I. R. Índices de Kovats (HP-5).

tr = trazas (< 0,01%).

Los aldehídos también modifican su comportamiento respecto al primer año de estudio, encontrando en 2003 que únicamente uno de estos compuestos, el benzaldehído, distingue entre tratamientos, con un porcentaje alcanzado con el 80% de la ETo significativamente superior al resto. Este componente, en 2002, no presenta diferencias entre los distintos riegos, aunque el resultado sea aparentemente el mismo, al contrario que el heptanal, que en 2003 no muestra diferencias

significativas que sí se detectan en 2002. El decanal experimenta un aumento en sus concentraciones relativas en todos los tratamientos en 2003, lo cual atenúa las diferencias mostradas en 2002, mientras el (*E*)-2-hexenal sufre el efecto contrario, mostrando valores más bajos con el 60, 40 y 20% de la ETo en 2003. El nonanal también disminuye las diferencias entre tratamientos en 2003 respecto a 2002, ya que eleva los porcentajes alcanzados con el 80 y 60%, y los baja ligeramente con el 40 y 20% de la ETo, en tanto que el cuminaldehído muestra igualmente un peor resultado con el 20%, pero mejora con el resto de aportes hídricos. Mirtenal y neral mantienen su mejor respuesta al mismo tratamiento, 20 y 40% respectivamente, en ambas recolecciones, pero en 2003 los promedios conseguidos con todos los riegos están más equilibrados, aunque en el caso del neral con una desviación estándar muy elevada.

El caso de las cetonas es semejante, con 3-hexanona mostrando diferencias significativas que no aparecen en 2002; en 2003, el suplemento hídrico equivalente al 60% de la ETo es significativamente mejor que el resto. No se detectan más diferencias en la respuesta al riego entre estos compuestos en 2003, pero comparando con el año anterior, vemos que en la mayor parte de los casos las concentraciones relativas determinadas en 2003 para las cetonas experimentan un aumento respecto a 2002. Esto sucede en todos los tratamientos en el caso de alcanfor, mientras otros constituyentes del aceite, como pinocarvona, o verbenona mantienen el mismo porcentaje alcanzado en 2002 con algunos tratamientos, y lo mejoran en otros. La 3-octanona, que en 2002 presenta su mejor resultado con el 80% de la ETo, disminuye este porcentaje en 2003, en tanto que eleva los promedios conseguidos con el 60, 40 y 20%. La (*Z*)-jasmona incrementa sus concentraciones con los tratamientos hídricos más abundantes en el segundo año de ensayo, y la β -ionona, por su parte, reduce ligeramente en 2003 la proporción alcanzada con el 20%, mejorando visiblemente con el 60 y 40% de la ETo. Todo esto contribuye a atenuar las diferencias entre riegos encontradas en 2002.

El caprilato de butilo es el único éster cuya producción se ve favorecida por un suplemento de agua específico en 2003.

Concretamente, el porcentaje alcanzado con el 60% de la ETo es significativamente superior a los demás tratamientos. Este compuesto experimenta un descenso en sus concentraciones respecto a 2002 en todos los casos, salvo en el mencionado tratamiento, lo que explica las diferencias encontradas en el segundo año de ensayo, las cuales no aparecen en el primero. Continuando con estos compuestos, el acetato de bencilo ve disminuidos sus porcentajes con el 80% en 2003, y para el acetato de timilo el descenso se produce tanto con el 80 como con el 20%. El acetato de terpenilo reduce su presencia a trazas con todos los tratamientos en la recolección de 2003. Otro éster, el caprilato de etilo, incrementa de forma general sus concentraciones relativas respecto al año anterior, y el acetato de linalilo, como ya se ha comentado en el caso del geraniol, junto al que se integra, aumenta su porcentaje con el 80%.

Por lo que se refiere a los fenoles, es importante mencionar que para el timol, en 2003 el análisis estadístico no aprecia diferencias significativas entre los porcentajes alcanzados con los cuatro aportes hídricos, aunque los promedios más elevados corresponden al 80 y 60% de la ETo. El carvacrol, sin embargo, presenta diferencias entre riegos en 2003, al igual que en 2002, siendo el porcentaje conseguido con el 60% significativamente superior a los alcanzados con el 40 y 20%.

En cuanto a los epóxidos, únicamente el (Z)-óxido de linalol muestra diferencias significativas en 2003, paralelamente a lo ocurrido en 2002. Tales diferencias aparecen con el tratamiento equivalente al 80% de la ETo, significativamente superior a los demás. El porcentaje alcanzado con el 20% disminuye respecto al año anterior.

Una vez más, en el 1,8-cineol no se detectan diferencias entre tratamientos, debido a la gran diversidad cuantitativa que presenta este componente en estas plantas.

Se debe comentar que al analizar conjuntamente las recolecciones de 2002 y 2003 es necesario considerar dos factores: la variabilidad intraespecífica y la diferente climatología de ambos años. Todo ello afecta al perfil volátil de estas labiadas, haciendo difícil establecer paralelismos entre dos cosechas distintas. Si nos restringimos a 2003, teniendo en cuenta las pocas diferencias significativas que se detectan, y que en concreto el timol, aunque alcanza mejores promedios con los aportes hídricos más elevados, no muestra tales diferencias, se puede pensar que un riego equivalente al 20% de la ETo es suficiente para conseguir un buen aceite esencial en este segundo año de aplicación del riego diferenciado, al igual que ocurre con la producción de biomasa y el rendimiento en dicho aceite.

III. 1. 5. 2. Estudio de la variabilidad intraespecífica.

Los componentes volátiles presentes en el aceite esencial de *Th. hyemalis* presentan variaciones cuantitativas importantes entre las distintas plantas, como hemos podido comprobar en los análisis cromatográficos efectuados a las muestras recolectadas en 2002 y 2003.

Esta evidencia es la base del estudio de variabilidad intraespecífica que se lleva a cabo en 2004, el cual se expone en este apartado. El estudio, en el caso de esta especie, se lleva a cabo sobre un número de individuos superior al propuesto inicialmente para este fin, ya que en lugar de 96 plantas se recolectan 109, seleccionadas entre los distintos tratamientos de riego. Tales plantas no muestran diferencias morfológicas reseñables, por lo que la diversidad se presenta en los aceites esenciales extraídos a partir de ellas, afectando tanto a su rendimiento como a su composición química. Los resultados de este estudio podrían extrapolarse a la población en general de esta especie, dado que se realiza sobre un número bastante elevado de plantas, las cuales proceden de semillas recolectadas en tomillares silvestres.

Como se ha mencionado anteriormente, el componente más destacado en un porcentaje mayoritario de los aceites analizados en esta Memoria es el timol, detectándose también concentraciones considerables de su isómero carvacrol, así como de los precursores fenólicos p-cimeno y γ -terpineno. Por otra parte, algunas plantas examinadas no presentan quimiotipo fenólico, mostrando como constituyentes más abundantes α -terpineol, linalol o borneol.

El aceite esencial de esta labiada ha sido estudiado con anterioridad por numerosos autores, generalmente analizando plantas procedentes de poblaciones espontáneas.

Adzet *et al.* (1976b), en su trabajo, determinan la presencia dominante de carvacrol, en cantidades que oscilan entre 70–80%. La proporción de borneol es también bastante alta, siendo en algunos casos este alcohol el componente mayoritario, con un porcentaje de 40–60%.

En otras publicaciones (Cabo *et al.*, 1986; Cabo *et al.*, 1987), se habla de altas concentraciones de 1,8-cineol, alcanfor, linalol y mircenol entre las plantas estudiadas.

Sáez (1996) identifica 38 componentes en los aceites analizados, variando sus proporciones en función de las localidades de las que proceden las plantas. El quimiotipo timol es el más extendido, con unas cantidades relativas para este fenol de hasta el 36,7%, presentando algunas plantas su isómero carvacrol como componente mayoritario, que puede alcanzar el 56,5%. En ambos casos se encuentran también muy elevados los precursores de estos fenoles (γ -terpineno y p-cimeno). El quimiotipo linalol también se presenta en esta especie, con una cantidad máxima del 34,4% para este componente. Otros constituyentes encontrados por este autor en concentraciones importantes son 1,8-cineol, borneol, α -terpineol, α -pineno y canfeno.

En un trabajo previo sobre el perfil volátil de este tomillo creciendo en condiciones de cultivo, Sotomayor (1998) identifica 30 componentes, señalando el quimiotipo timol para todas las plantas analizadas. Las cantidades de este componente varían en función de la edad y el estado fenológico de las plantas en el momento de su recolección.

En el presente estudio, los quimiotipos determinados se distribuyen tal como se aprecia en la Tabla III.1–15, en la que se especifica entre paréntesis el número de plantas que presenta cada uno de ellos, así como el porcentaje que suponen sobre el total de las plantas analizadas (109). Tales quimiotipos se exponen de mayor a menor presencia en la población.

Tabla III.1–15. Quimiotipos determinados y porcentaje de los mismos en la población.

Quimiotipos (nº de plantas)	Porcentaje (%)		
Fenólico*, timol > 20% (55)	50,46	74,31 ⁽¹⁾	
Fenólico*, timol ≤ 20% (18)	16,51		
Fenólico* (timol ≤ 20%), con precursores elevados (8)	7,34		
Mixto, α-terpineol/timol (7)	6,42		
Linalol* (6)	5,50		
Fenólico*, carvacrol (4)	3,67		
Mixto, borneol/timol* (3)	2,75		
Mixto, linalol/timol* (2)	1,83		
α-Terpineol (2)	1,83		
1,8-Cineol* (1)	0,92		
Mixto, carvacrol/(E)-hidrato de sabineno (1)	0,92		
Mixto, linalol/α-terpineol (1)	0,92		
Mixto, mirceno/hidrato de sabineno (1)	0,92		
Nº total de plantas: 109			

⁽¹⁾ Este porcentaje equivale a la suma de los tres primeros, que presentan al timol como componente más importante.

* Quimiotipos identificados por otros autores en esta especie.

Dentro del quimiotipo fenólico, el más abundante, se distingue entre plantas con un contenido en timol claramente superior al resto de componentes, y otros tomillos en los que si bien el timol continua siendo mayoritario, aparecen distintos constituyentes que también alcanzan una cantidad relativa en algunos casos similar a la de timol, o incluso superior cuando se trata de quimiotipos fenólicos con una concentración predominante de los precursores p-cimeno y γ -terpineno. Los tres primeros grupos que aparecen en la tabla engloban a estos individuos.

Se ha estimado conveniente hacer esta distinción entre ellos, únicamente a título informativo, con el fin de aportar una explicación detallada sobre el modo en que se distribuyen los componentes en las plantas, en base al contenido en timol y su relación con los precursores fenólicos y otros constituyentes del aceite esencial. No obstante, los tres grupos presentan el timol como componente destacado, y sumando las plantas que integran dichos grupos encontramos un porcentaje del 74,31%, visiblemente mayoritario en la población, al cual hay que añadir aquellos tomillos con presencia dominante de carvacrol en sus aceites, lo que les confiere también quimiotipo fenólico.

A continuación se exponen las principales características de los diferentes perfiles volátiles encontrados, siguiendo el mismo orden que aparece en la tabla anterior.

Quimiotipo fenólico, con timol > 20%

Las plantas de esta categoría suponen el 50,46% del total de muestras recolectadas. Presentan un quimiotipo simple, con el timol como componente destacado, ya que la concentración de este fenol es superior al 20% en todos los casos. Sobre este grupo, que constituye un porcentaje mayoritario de las plantas analizadas, se ha llevado a cabo un estudio similar al de años anteriores, para comprobar el comportamiento de los tomillos frente al diferente aporte hídrico en este tercer año de ensayo. Sus resultados se muestran en las Tablas III.1–16 y III.1–17, en

las que se recogen los porcentajes determinados para los distintos constituyentes del aceite esencial en las recolecciones de invierno y primavera, respectivamente. En tales tablas aparecen únicamente aquellos componentes para los que se determina una concentración relativa igual o superior a 0,1%, lo que supone un total de 45 constituyentes, ya que el propósito del apartado que nos ocupa es el estudio de la variabilidad química presente en estas plantas, por lo que se ha considerado suficiente hacer un seguimiento de la respuesta frente al riego en 2004 sólo sobre aquellos componentes que se encuentran en proporciones importantes. Tales componentes representan el 95,7% del total.

A) Invierno.

Como se puede ver en la Tabla III.1–16, en invierno de 2004 sólo un compuesto, (*E*)-hidrato de sabineno, muestra una respuesta diferente en función del riego recibido por las plantas.

La concentración de los hidrocarburos terpénicos no varía significativamente al aplicar los distintos tratamientos en esta recolección, al igual que ocurre en 2003. Dado que en 2002 sí se aprecian diferencias, parece que las plantas se van adaptando a los recursos hídricos de los que disponen, de forma que suplementos de agua que en el primer año de ensayo provocan un aumento o descenso en la síntesis de determinados terpenos, no tienen un efecto significativamente distinto del resto de tratamientos en el segundo y tercer año.

Compuestos como α -tujeno, α -pineno, canfeno, α -terpineno y limoneno, además de *p*-cimeno y γ -terpineno, son los terpenos más abundantes en esta recolección. Respecto a ambos precursores fenólicos, la presencia de *p*-cimeno en invierno de 2004 es similar a la de años anteriores con todos los tratamientos; en tanto que el γ -terpineno experimenta un descenso en casi todos sus promedios en 2004 con

relación al primer año de ensayo, especialmente marcado en el caso del 20% de la ETo.

Los alcoholes son el único grupo en el que se aprecian diferencias significativas en esta cosecha, ya que (*E*)-hidrato de sabineno, que en 2002 y 2003 no muestra tales diferencias, presenta en 2004 una concentración significativamente superior cuando a las plantas se les aplica el agua necesaria para compensar el 20% de la ETo, aunque dicha concentración no es distinta de la alcanzada con el 40%. Como ya ocurriera en la primavera de 2002, la síntesis de este alcohol acaba viéndose favorecida por aportes bajos de agua también en la primera recolección anual, transcurridos tres años desde el inicio del riego diferenciado.

Del resto de alcoholes, linalol y borneol destacan por su marcada presencia en el aceite esencial, detectándose en ambos una desviación estándar bastante alta.

La síntesis de los cuatro aldehídos mayoritarios en esta recolección no está influida por el riego, como tampoco lo está la de las cetonas. Verbenona y alcanfor son las que presentan las proporciones relativas más elevadas.

El acetato de bornilo, por su parte, no ha visto afectada su presencia en los aceites por los distintos niveles de riego en ninguna recolección, al igual que ocurre con las recolecciones invernales de los epóxidos (*E*)-óxido de linalol y óxido de cariofileno.

En la concentración de los fenoles incluidos en la tabla de 2004 tampoco se encuentran diferencias significativas en función del suplemento hídrico.

Tabla III.1–16. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo timol, en función del aporte hídrico (Invierno 2004).

COMPONENTES	I.R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Hidrocarburos Terpénicos					
α -Tujeno*	940	0,90 \pm 0,23	1,00 \pm 0,14	1,02 \pm 0,16	0,94 \pm 0,10
α -Pino	949	1,73 \pm 1,59	1,09 \pm 0,44	1,59 \pm 0,87	1,32 \pm 1,09
Canfeno	969	0,41 \pm 0,15	1,46 \pm 1,05	1,10 \pm 0,84	1,07 \pm 1,04
Verbeneno*	976	0,10 \pm 0,07	0,09 \pm 0,02	0,07 \pm 0,03	0,07 \pm 0,03
Sabineno	1001	0,13 \pm 0,09	0,15 \pm 0,13	0,18 \pm 0,10	0,16 \pm 0,11
β -Pino	1007	0,20 \pm 0,15	0,20 \pm 0,15	0,26 \pm 0,15	0,19 \pm 0,17
Mirceno	1026	0,81 \pm 0,23	0,75 \pm 0,26	0,88 \pm 0,16	0,79 \pm 0,15
α -Felandreno	1042	0,17 \pm 0,03	0,16 \pm 0,03	0,18 \pm 0,03	0,16 \pm 0,03
α -Terpineno	1058	1,17 \pm 0,34	1,28 \pm 0,39	1,44 \pm 0,28	1,25 \pm 0,35
p-Cimeno	1068	24,54 \pm 6,89	28,60 \pm 6,84	25,63 \pm 4,89	23,78 \pm 6,61
Limoneno	1073	1,26 \pm 0,51	1,07 \pm 0,18	1,08 \pm 0,31	1,09 \pm 0,33
(<i>E</i>)- β -Ocimeno*	1097	0,08 \pm 0,12	0,73 \pm 1,46	0,30 \pm 0,45	0,27 \pm 0,60
γ -Terpineno	1109	8,99 \pm 2,93	11,07 \pm 4,52	12,94 \pm 4,16	9,80 \pm 2,67
Terpinoleno + (<i>E</i>)-Óxido de linalol	1141	0,23 \pm 0,08	0,20 \pm 0,03	0,18 \pm 0,04	0,20 \pm 0,05
(<i>E</i>)-Cariofileno	1419	0,88 \pm 0,38	0,95 \pm 0,35	0,82 \pm 0,31	0,78 \pm 0,29
Aloaromadendreno	1465	0,10 \pm 0,06	0,11 \pm 0,03	0,09 \pm 0,05	0,12 \pm 0,06
Valenceno	1510	0,40 \pm 0,24	0,49 \pm 0,24	0,50 \pm 0,37	0,54 \pm 0,34
δ -Cadineno	1553	0,17 \pm 0,10	0,13 \pm 0,08	0,14 \pm 0,08	0,11 \pm 0,08
Alcoholes					
1-Octen-3-ol	1009	0,27 \pm 0,20	0,23 \pm 0,15	0,14 \pm 0,08	0,18 \pm 0,09
(<i>E</i>)-Hidrato de sabineno	1116	0,47 \pm 0,11 ^a	0,58 \pm 0,15 ^a	0,62 \pm 0,25 ^{ab}	0,82 \pm 0,39 ^b
(<i>Z</i>)-Hidrato de sabineno*	1151	0,11 \pm 0,03	0,17 \pm 0,05	0,22 \pm 0,19	0,18 \pm 0,07
Linalol	1152	4,35 \pm 4,09	2,69 \pm 2,34	1,81 \pm 1,13	2,02 \pm 1,22
(<i>E</i>)-Pinocarveol	1186	0,20 \pm 0,11	0,15 \pm 0,05	0,17 \pm 0,05	0,18 \pm 0,06
(<i>Z</i>)-Verbenol	1189	0,67 \pm 0,40	0,51 \pm 0,14	0,48 \pm 0,27	0,51 \pm 0,20
Borneol	1211	1,57 \pm 0,82	5,05 \pm 3,73	3,46 \pm 2,44	4,07 \pm 3,99
Terpinen-4-ol	1220	0,50 \pm 0,05	0,65 \pm 0,19	0,57 \pm 0,26	0,60 \pm 0,18
p-Cimen-8-ol	1227	0,23 \pm 0,06	0,23 \pm 0,10	0,21 \pm 0,05	0,19 \pm 0,07
α -Terpineol	1231	0,53 \pm 0,32	0,46 \pm 0,24	0,52 \pm 0,32	0,75 \pm 0,75
Espatulenol	1640	0,34 \pm 0,14	0,41 \pm 0,21	0,31 \pm 0,18	0,38 \pm 0,18
Aldehídos					
Mirtenal + Dihidrocarvona	1235	0,16 \pm 0,07	0,11 \pm 0,03	0,14 \pm 0,03	0,14 \pm 0,08
Decanal	1243	0,19 \pm 0,15	0,15 \pm 0,08	0,11 \pm 0,06	0,20 \pm 0,20
Geranial + Perialdehído	1292	0,12 \pm 0,11	0,14 \pm 0,11	0,08 \pm 0,06	0,08 \pm 0,04
Cetonas					
3-Octanona	1019	0,15 \pm 0,09	0,13 \pm 0,09	0,10 \pm 0,08	0,07 \pm 0,04
Alcanfor	1193	1,00 \pm 0,55	1,01 \pm 0,32	0,89 \pm 0,26	0,97 \pm 0,46
Verbenona	1245	4,85 \pm 2,22	3,14 \pm 1,05	2,94 \pm 1,28	3,77 \pm 1,53
Éster					
Acetato de bornilo	1302	0,10 \pm 0,05	0,12 \pm 0,06	0,08 \pm 0,03	0,21 \pm 0,20

Tabla III.1–16 (continuación)

COMPONENTES	I.R.	% ETo			
		80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Fenoles					
Éter metílico de timol	1265	1,04 ± 1,19	0,10 ± 0,10	0,37 ± 0,53	0,51 ± 0,96
Éter metílico de carvacrol	1272	0,47 ± 0,47	0,23 ± 0,29	0,11 ± 0,12	0,44 ± 0,45
Timol	1308	31,55 ± 3,67	26,91 ± 4,34	29,75 ± 4,17	33,06 ± 8,79
Carvacrol	1314	2,04 ± 0,94	1,77 ± 0,42	1,91 ± 0,28	1,80 ± 0,58
Epóxido					
Óxido de cariofileno	1650	0,24 ± 0,09	0,27 ± 0,13	0,19 ± 0,05	0,21 ± 0,10
Éter					
1,8-Cineol	1076	2,12 ± 2,77	1,16 ± 2,32	2,30 ± 2,16	1,59 ± 2,09

^{a,b} Valores con distinto superíndice en la misma línea presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$).

± Desviación estándar.

* Identificación tentativa.

I. R. Índices de Kovats (HP-5).

El timol, componente más importante desde el punto de vista comercial, alcanza con el 20% de la ETo un porcentaje medio que supera a los conseguidos con el resto de tratamientos, contrariamente a lo ocurrido los dos años anteriores. En la Figura III.1–9 se describe la distribución de las diferentes plantas, en función de la ETo, de acuerdo a su contenido en timol. La gráfica muestra la mediana (línea negra) y la media (línea roja discontinua), así como los percentiles 10, 25, 75 y 90, representados como cajas verticales con barras de error. En esta figura es posible apreciar que con el riego equivalente al 20% de la ETo, de acuerdo con el valor de la mediana, la mitad de los tomillos recolectados tienen un contenido en timol superior al 32%, muy semejante a lo que ocurre con el 80% de la ETo.

Sin embargo, al observar el P_{75} , encontramos que con el aporte hídrico más bajo, el 75% de las plantas presenta una concentración de este fenol igual o inferior al 40%, en tanto que en el caso del riego más elevado, el valor del mismo percentil nos sitúa en un porcentaje de timol igual o inferior al 34%. Esto indica que una proporción importante de tomillos que han recibido el suplemento hídrico necesario para compensar

el 20% de la ETo son más ricos en timol que aquellos que han sido regados más abundantemente, por lo que parece que un escaso aporte de agua es más favorable para la síntesis de este componente, a pesar de la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos.

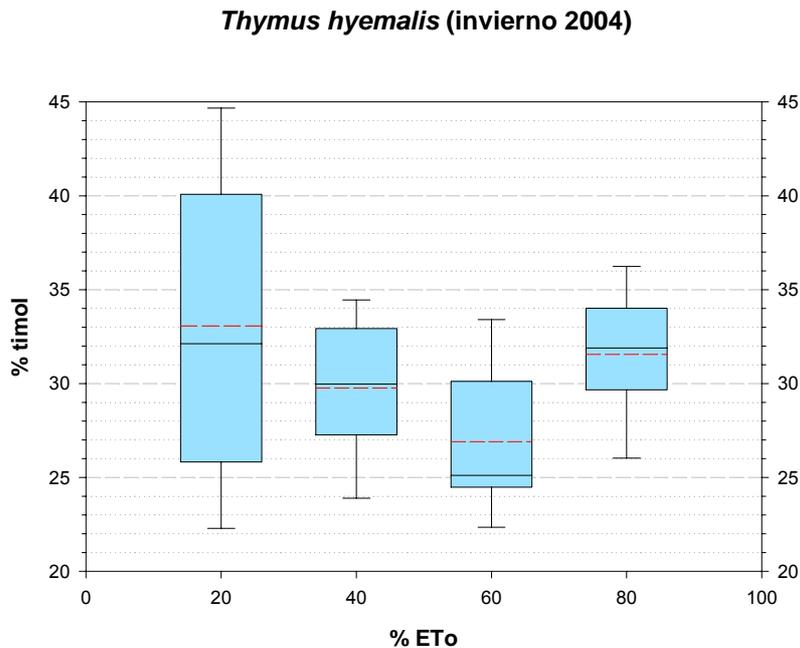


Fig. III.1-9. Distribución de las plantas según su contenido en timol.

El peor resultado corresponde al 60% de la ETo, ya que con esta cantidad de agua, el 50% de las plantas tiene una proporción de timol inferior al 25,11%, que es el valor de la mediana en este caso.

También es interesante advertir cómo, en este último año de ensayo, los porcentajes medios determinados para el timol con cada aporte hídrico resultan inversos al perfil seguido por el p-cimeno, coincidiendo el máximo de uno con el mínimo del otro (Figura III.1-10). Al tratarse de precursor y producto final, esto es lo que cabría esperar, aunque el hecho no es tan evidente los dos años anteriores, debido probablemente a que al haber un mayor número de muestras en 2004, se ha atenuado el efecto de la variabilidad intraespecífica.

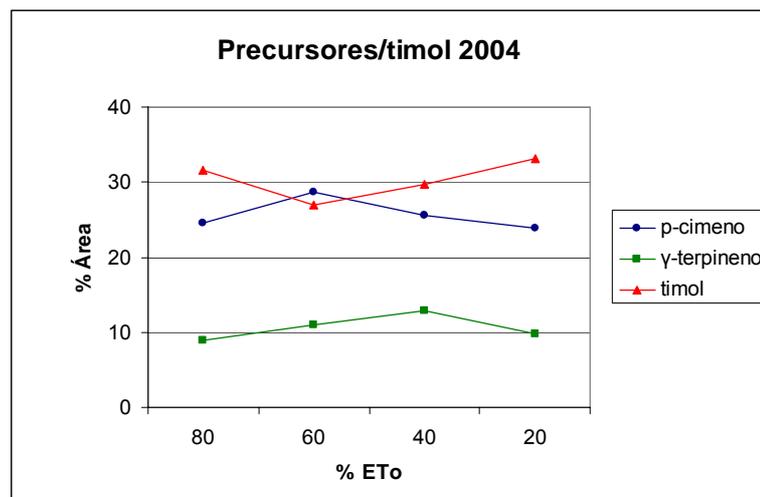


Fig. III.1–10. Estudio comparativo del comportamiento del timol y sus precursores, en función del aporte hídrico.

Por último, el carvacrol, cuya producción se ve afectada por el riego tanto en 2002 y 2003, presenta en 2004 unos porcentajes más igualados, de forma que ya no hay diferencias entre tratamientos.

Teniendo todo esto en cuenta, se puede afirmar que, si bien la variabilidad intraespecífica y la climatología influyen de nuevo en estos resultados, es posible advertir una tendencia en los tomillos hacia el equilibrio entre los distintos tratamientos, ya que, aunque en un principio la respuesta de las plantas ante la modificación de los suplementos hídricos que reciben se traduce en una alteración en la síntesis de componentes volátiles, efecto que se hace patente en 2002, tales plantas se readaptan a la nueva situación, imponiéndose el condicionamiento genético y logrando una síntesis de componentes relativamente estable, sin influencias del riego, aunque la producción de timol acaba viéndose favorecida en esta especie por aportes de agua mínimos.

La predisposición observada, que conduce a la equivalencia entre tratamientos, coincide con lo publicado por Ložienė y Venskutonis (2005), trabajo en el que queda de manifiesto que una modificación repentina de las condiciones de crecimiento de *Th. pulegioides* puede afectar al perfil

volátil de algunas de estas plantas, las cuales, transcurrido un tiempo, recuperan una composición similar a la que mostraban originalmente. La conclusión alcanzada apunta a una composición cualitativa estable del aceite esencial de estos individuos, la cual estaría predeterminada genéticamente.

B) Primavera.

Por lo que respecta a la primavera de 2004 (Tabla III.1–17), ninguno de los componentes considerados en dicha recolección ve afectada su síntesis por el aporte hídrico recibido.

(*E*)-cariofileno, aloaromadendreno, valenceno y δ -cadineno, hidrocarburos terpénicos más complejos estructuralmente, tienden a disminuir su concentración respecto a invierno con todos los tratamientos hídricos. El resto de los terpenos, en general, son más abundantes en primavera, aunque en algunos casos, como canfeno, verbeneno, α -terpineno, p-cimeno, (*E*)- β -ocimeno, γ -terpineno y terpinoleno, el porcentaje alcanzado en promedio en la segunda recolección aumenta respecto a la primera sólo con determinados tratamientos. El p-cimeno, en concreto, incrementa su proporción en junio únicamente con el 40% de la ETo.

(*E*)-hidrato de sabineno, alcohol que en invierno mejora su respuesta con el aporte hídrico más bajo, disminuye sus porcentajes en primavera con dicho tratamiento, de manera que en la segunda recolección las concentraciones están más igualadas y las diferencias entre los distintos niveles de agua no son significativas.

En los aldehídos, se puede apreciar una tendencia a mejorar su concentración relativa respecto a la de invierno con el 40 y 20% de la ETo, especialmente en el caso de geranial y perialdehído.

Tabla III.1–17. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo timol, en función del aporte hídrico (Primavera 2004).

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80	60	40	20
Hidrocarburos Terpénicos					
α -Tujeno*	940	0,97 \pm 0,22	1,08 \pm 0,08	1,02 \pm 0,14	0,96 \pm 0,14
α -Pinoeno	949	3,43 \pm 2,95	1,91 \pm 0,36	2,77 \pm 1,75	2,58 \pm 1,47
Canfeno	969	0,49 \pm 0,45	3,05 \pm 1,97	0,92 \pm 0,86	1,90 \pm 1,90
Verbeneno*	976	0,08 \pm 0,05	0,08 \pm 0,04	0,10 \pm 0,05	0,14 \pm 0,09
Sabineno	1001	0,22 \pm 0,17	0,21 \pm 0,11	0,34 \pm 0,26	0,31 \pm 0,30
β -Pinoeno	1007	0,32 \pm 0,21	0,40 \pm 0,25	0,44 \pm 0,31	0,41 \pm 0,34
Mirceno	1026	1,09 \pm 0,39	0,95 \pm 0,17	0,96 \pm 0,06	1,11 \pm 0,41
α -Felandreno	1042	0,20 \pm 0,06	0,18 \pm 0,03	0,21 \pm 0,03	0,19 \pm 0,02
α -Terpinoeno	1058	1,38 \pm 0,50	1,43 \pm 0,38	1,54 \pm 0,25	1,23 \pm 0,22
p-Cimeno	1068	23,55 \pm 6,36	22,54 \pm 3,77	27,70 \pm 3,08	19,59 \pm 7,21
Limoneno	1073	1,64 \pm 0,68	1,28 \pm 0,24	1,60 \pm 0,48	1,52 \pm 0,27
(<i>E</i>)- β -Ocimeno*	1097	0,30 \pm 0,46	0,85 \pm 1,33	0,27 \pm 0,55	0,98 \pm 1,70
γ -Terpinoeno	1109	12,01 \pm 4,86	13,26 \pm 5,80	13,44 \pm 2,60	9,63 \pm 1,60
Terpinoleno + (<i>E</i>)-Óxido de linalol	1141	0,21 \pm 0,04	0,25 \pm 0,07	0,21 \pm 0,05	0,20 \pm 0,05
(<i>E</i>)-Cariofileno	1419	0,66 \pm 0,28	0,84 \pm 0,18	0,52 \pm 0,30	0,47 \pm 0,35
Aloaromadendreno	1465	0,06 \pm 0,01	0,09 \pm 0,02	0,07 \pm 0,05	0,08 \pm 0,03
Valenceno	1510	0,31 \pm 0,18	0,34 \pm 0,17	0,48 \pm 0,27	0,40 \pm 0,20
δ -Cadineno	1553	0,12 \pm 0,05	0,13 \pm 0,02	0,11 \pm 0,08	0,06 \pm 0,01
Alcoholes					
1-Octen-3-ol	1009	0,13 \pm 0,09	0,31 \pm 0,09	0,15 \pm 0,13	0,22 \pm 0,14
(<i>E</i>)-Hidrato de sabineno	1116	0,49 \pm 0,10	0,64 \pm 0,21	0,76 \pm 0,59	0,60 \pm 0,20
(<i>Z</i>)-Hidrato de sabineno*	1151	0,21 \pm 0,17	0,24 \pm 0,10	0,17 \pm 0,05	0,18 \pm 0,07
Linalol	1152	1,92 \pm 0,77	3,03 \pm 1,12	1,61 \pm 0,43	2,15 \pm 0,47
(<i>E</i>)-Pinocarveol	1186	0,17 \pm 0,05	0,14 \pm 0,06	0,19 \pm 0,09	0,23 \pm 0,09
(<i>Z</i>)-Verbenol	1189	0,67 \pm 0,45	0,54 \pm 0,20	0,77 \pm 0,39	0,92 \pm 0,29
Borneol	1211	1,41 \pm 1,00	8,77 \pm 5,23	2,61 \pm 2,42	6,22 \pm 6,32
Terpinen-4-ol	1220	0,73 \pm 0,27	0,63 \pm 0,09	0,79 \pm 0,49	0,62 \pm 0,21
p-Cimen-8-ol	1227	0,17 \pm 0,04	0,14 \pm 0,04	0,24 \pm 0,04	0,20 \pm 0,09
α -Terpineol	1231	0,66 \pm 0,34	0,42 \pm 0,09	0,76 \pm 0,52	0,70 \pm 0,47
Espatuleno	1640	0,31 \pm 0,15	0,32 \pm 0,18	0,39 \pm 0,26	0,36 \pm 0,13
Aldehídos					
Mirtenal + Dihidrocarvona	1235	0,14 \pm 0,07	0,11 \pm 0,04	0,16 \pm 0,05	0,17 \pm 0,14
Decanal	1243	0,13 \pm 0,09	0,11 \pm 0,06	0,21 \pm 0,14	0,22 \pm 0,19
Geranial + Perialdehído	1292	0,18 \pm 0,14	0,12 \pm 0,06	0,15 \pm 0,04	0,19 \pm 0,10
Cetonas					
3-Octanona	1019	0,08 \pm 0,05	0,09 \pm 0,02	0,05 \pm 0,04	0,11 \pm 0,08
Alcanfor	1193	0,96 \pm 0,56	1,31 \pm 0,39	1,07 \pm 0,22	1,57 \pm 0,79
Verbenona	1245	4,17 \pm 2,84	2,18 \pm 1,18	3,63 \pm 1,53	4,32 \pm 1,08
Éster					
Acetato de bornilo	1302	0,12 \pm 0,08	0,18 \pm 0,12	0,06 \pm 0,01	0,30 \pm 0,37

Tabla III.1-17 (continuación)

COMPONENTES	I. R.	% ETo			
		80	60	40	20
Fenoles					
Éter metílico de timol	1265	0,60 ± 0,48	0,05 ± 0,03	0,31 ± 0,41	0,72 ± 0,97
Éter metílico de carvacrol	1272	0,30 ± 0,17	0,40 ± 0,40	0,07 ± 0,04	0,12 ± 0,07
Timol	1308	30,14 ± 3,68	24,14 ± 4,59	22,94 ± 4,84	28,34 ± 6,56
Carvacrol	1314	1,82 ± 0,31	1,46 ± 0,34	1,63 ± 0,37	1,91 ± 0,54
Epóxido					
Óxido de cariofileno	1650	0,26 ± 0,17	0,27 ± 0,04	0,23 ± 0,06	0,21 ± 0,13
Éter					
1,8-Cineol	1076	2,79 ± 3,80	1,37 ± 1,37	4,13 ± 4,54	3,25 ± 4,40

^a Valores con idéntico superíndice en la misma línea no presentan diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo con el test de la Menor Diferencia Significativa de Fisher ($P < 0,05$).

± Desviación estándar.

* Identificación tentativa.

I. R. Índices de Kovats (HP-5).

Y las cetonas muestran mejores promedios en la recolección de junio si se aplica el aporte hídrico más bajo. Por su parte, el acetato de bornilo incrementa su presencia en el aceite esencial en primavera con todos los tratamientos, salvo el 40% de la ETo.

El timol, por el contrario, es menos abundante en la recolección de primavera, y el mejor promedio en esta recolección se obtiene con el nivel de agua más alto, aunque no es significativamente diferente del resto. En este punto se debe mencionar que en primavera de 2002, el resultado conseguido con dicho aporte hídrico es significativamente superior a los alcanzados con los otros tratamientos.

Lo que ocurre es que este fenol ha incrementado su concentración en la segunda recolección de 2004 respecto a la de 2002 especialmente con el 60, 40 y 20% de la ETo, por lo que los porcentajes obtenidos en este tercer año de ensayo están bastante ponderados, compensándose las diferencias observadas en 2002.

En la Figura III.1–11 se puede apreciar el comportamiento de las plantas en cuanto a la síntesis de timol en función del riego.

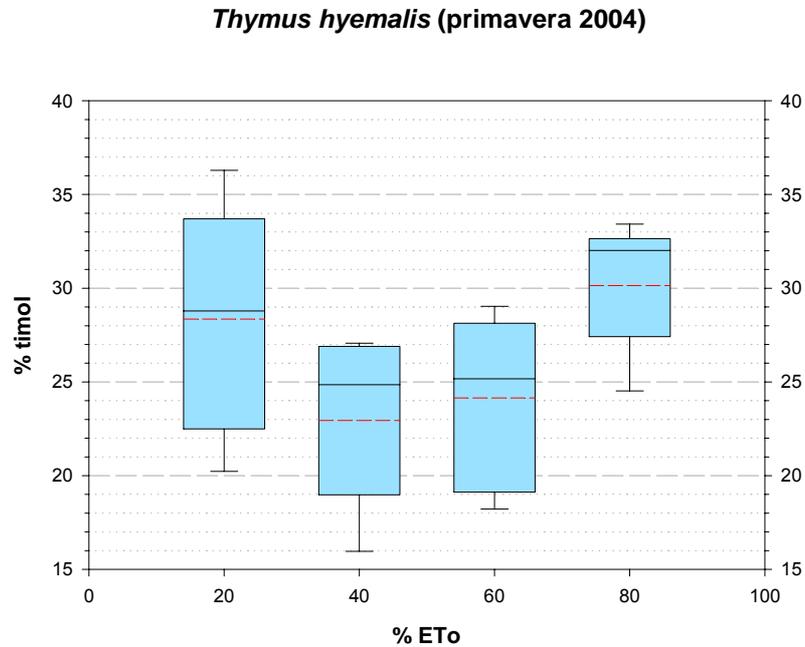


Fig. III.1–11. Distribución de las plantas según su contenido en timol.

En este caso, con el menor suplemento de agua, el valor de la mediana corresponde a una concentración de timol del 28,8%, y con el aporte hídrico más elevado tal valor se sitúa en el 32,0%. Los resultados obtenidos con el 60 y 40% de la ETo son semejantes, determinándose para la mitad de las plantas en ambos tratamientos una concentración de timol igual o inferior al 25%.

Al igual que sucede con el timol, la síntesis de carvacrol no se muestra afectada por el riego en 2004.

Se puede concluir, por todo ello, que la tendencia de las plantas hacia el equilibrio entre tratamientos a medida que transcurre el tiempo también se hace patente en primavera, por lo que en 2004, a diferencia de 2002, la ausencia de diferencias significativas implica que no es

necesario un aporte hídrico elevado para conseguir una buena calidad en el aceite esencial.

Por otra parte, en 2004, de la misma forma que en el primer año de ensayo, se ha realizado un análisis comparativo con los componentes volátiles más abundantes, a fin de determinar si las diferencias entre las concentraciones de invierno y primavera son o no significativas. Los resultados de ese análisis se muestran en la Tabla III.1–18.

Tabla III.1–18. Análisis estadístico comparativo invierno/primavera 2004.

Componentes	% ETo			
	80 (81)	60 (63)	40 (44)	20 (30)
Mirceno	ND	ND	ND	ND
p-Cimeno	ND	ND	ND	ND
γ-Terpineno	ND	ND	ND	ND
(E)-Hidrato de sabineno	ND	ND	ND	ND
(Z)-Hidrato de sabineno	ND	ND	ND	ND
Linalol	ND	ND	ND	ND
Alcanfor	ND	ND	ND	ND
Borneol	ND	ND	ND	ND
α-Terpineol	ND	ND	ND	ND
Verbenona	ND	ND	ND	ND
Timol	ND	ND	D	ND
Carvacrol	ND	ND	ND	ND

D = Diferencias estadísticamente significativas entre estaciones ($p < 0,05$).
 ND = No existen diferencias.

En la gran mayoría de componentes los resultados son equiparables en las dos recolecciones, y el incremento en la concentración de timol en invierno respecto a primavera es sólo significativo con el aporte hídrico equivalente al 40% de la ETo. Todo ello confirma que, en este tercer año de ensayo, también en primavera es posible dedicar la cosecha a la obtención de un aceite esencial de

excelentes propiedades con un escaso riego, por lo que la segunda cosecha que presenta esta planta en condiciones de cultivo es interesante ya que asegura una producción adicional de aceite y hoja al agricultor.

Como nota de interés, podemos incluir aquí un apunte sobre el comportamiento específico de algunas plantas en lo referente a la síntesis de compuestos al cambiar de estación. En concreto, se ha detectado que el descenso en timol en la segunda recolección es muy acusado en determinados casos, pudiendo reducirse incluso hasta la mitad, y en algún individuo aumenta notablemente la presencia de linalol o borneol en primavera, descendiendo la concentración de timol.

Las condiciones ambientales y el hecho de realizar dos cortes al año afectan, por lo tanto, a la síntesis de componentes volátiles por parte de estas plantas, siendo esto particularmente evidente en algunas de ellas.

C) Evolución de la influencia del riego en la síntesis de fenoles.

Dada la importancia que actualmente tienen los compuestos fenólicos en el mercado de plantas aromáticas, estudiar el grado de incidencia de las siegas periódicas sobre su producción, es un punto necesario para determinar el interés que pueden tener estas plantas para ser consideradas como un cultivo rentable.

Para una correcta visualización de estos datos, se representan gráficamente, en función del aporte hídrico recibido por las plantas, los porcentajes de timol y carvacrol detectados en los diferentes análisis cromatográficos. Se han empleado con este fin aquellos tomillos para los cuales se ha determinado un quimiotipo timol simple, cuyo perfil volátil se muestra en las Tablas III.1–11, III.1–12, III.1–14, III.1–16 y III.1–17.

En la Figura III.1–12 aparece la evolución de estos componentes correspondiente a las recolecciones de invierno de *Th. hyemalis*.

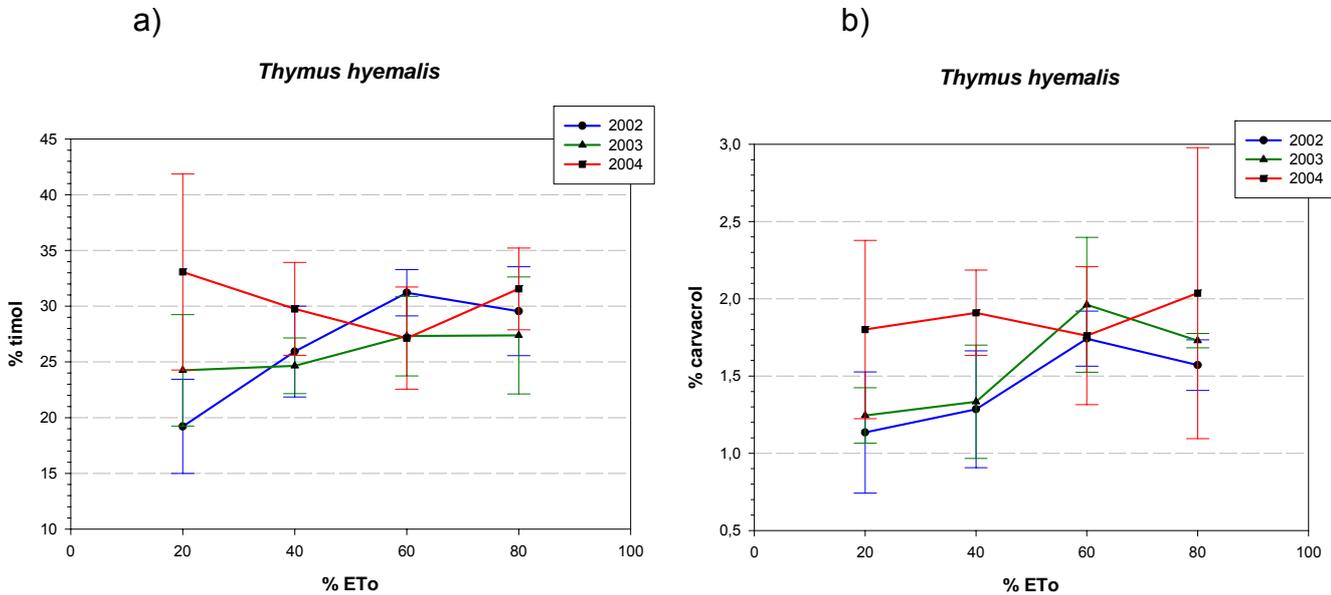


Fig. III.1–12. Evolución de la síntesis de compuestos fenólicos (invierno).

El timol (Figura III.1–12a) eleva en 2004 el promedio alcanzado respecto a 2002 y 2003 con todos los tratamientos, excepto con el 60% de la ET0. La subida es particularmente relevante en el caso del aporte hídrico más bajo, de forma que los porcentajes alcanzados por este fenol en 2004 con el 20% de la ET0 son significativamente superiores a los de los dos años precedentes. Esto es muy importante, ya que confirma que el timol aumenta de forma manifiesta su presencia en el aceite esencial, a medida que pasa el tiempo, cuando a las plantas se les suministra el riego más reducido.

Es interesante destacar que la tendencia observada en la gráfica correspondiente a este componente es prácticamente opuesta en 2002 y 2004, lo que permite apreciar ciertamente la rectificación progresiva de la respuesta de estas plantas ante los distintos suministros de agua.

En el caso del carvacrol (Figura III.1–12b), los riegos equivalentes al 80 y 60% de la ETo tienen un efecto comparable los tres años de estudio, pero los aportes hídricos más bajos afectan a la síntesis de este componente a medida que transcurren las cosechas, ya que los resultados conseguidos en 2004 con el riego necesario para compensar el 40% de la ETo son significativamente superiores a los de 2002 y 2003, en tanto que con el 20%, los porcentajes del último año mejoran significativamente a los del primero.

En *Th. hyemalis*, la trayectoria seguida en cuanto a la producción de timol y carvacrol en función del riego, muestra un cierto paralelismo en 2002 y 2003, con valores que aumentan a medida que se incrementa el riego hasta el 60% de la ETo, y descienden o se mantienen entre el 60 y el 80%. En 2004, sin embargo, la tendencia cambia, invirtiéndose claramente en el caso del timol, en tanto que el carvacrol modifica su respuesta respecto a años anteriores cuando la cantidad de agua se eleva por encima del 40% de la ETo. Esto lleva a pensar que la síntesis de ambos fenoles a partir de p-cimeno acaba viéndose favorecida con suplementos hídricos escasos, ya que los porcentajes determinados en 2004 con niveles bajos de agua mejoran sustancialmente los de años anteriores. Si recordamos que a partir de 2003 ya no hay diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a la producción de timol, podemos concluir que en una plantación establecida, un elevado aporte hídrico no mejora la calidad de estos aceites, lo cual se hace patente ya en el segundo año de ensayo.

Por lo que respecta a la primavera, recolección que sólo se considera en 2002 y 2004, la síntesis de timol (Figura III.1–13a) no muestra diferencias al comparar los valores de los dos años cuando a las plantas se les suministran los mayores aportes hídricos, sin embargo, si esos riegos se reducen hasta el 40 y 20% de la ETo, los resultados de 2004 son significativamente superiores a los de 2002.

El carvacrol (Figura III.1–13b) sólo muestra diferencias entre los dos años con el riego equivalente al 40% de la ETo, con el que se obtienen resultados significativamente mejores en 2004. Con el 20%, aunque superiores en promedio en dicho año, los porcentajes no son manifiestamente distintos en las dos recolecciones.

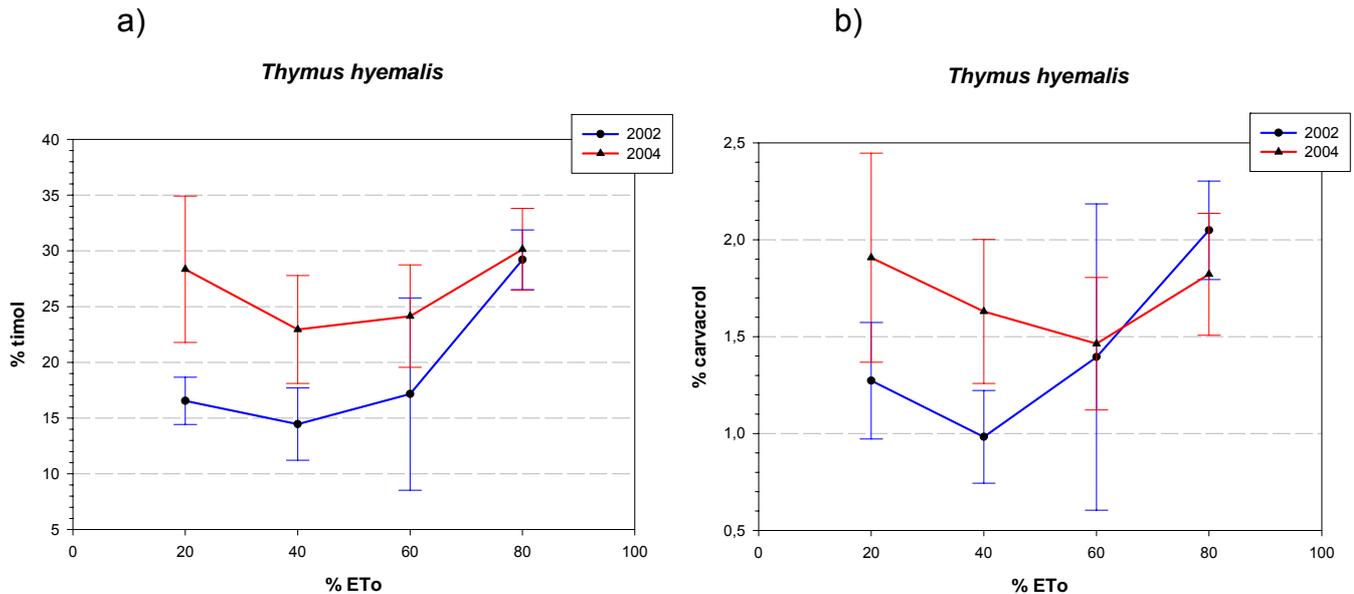


Fig. III.1–13. Evolución de la síntesis de compuestos fenólicos (primavera).

Analizado en detalle el quimiotipo timol, continuamos, de forma más resumida, con la exposición del resto de quimiovariedades encontradas en *Th. hyemalis*.

Quimiotipo fenólico, con timol $\leq 20\%$

El segundo grupo que aparece en la Tabla III.1–15 lo componen individuos con quimiotipo fenólico, pero con una concentración de timol que oscila entre el 12 y el 20%, inferior a la que presentan las plantas del apartado precedente, y un contenido en carvacrol del 0,9 al 5,5%. Estos tomillos suponen el 16,51% de la población, y se caracterizan por mostrar

altas concentraciones de los precursores p-cimeno y γ -terpineno (hasta un 45% con la suma de ambos), características de los quimiotipos fenólicos, pero también muestran porcentajes elevados de otros componentes, como α -pineno (2,2–6,7%), canfeno (1,2–3,5%), 1,8-cineol (2,3–7,4%), (*E*)-hidrato de sabineno (2,3–13,0%), (*Z*)-hidrato de sabineno (2,8–8,1%), linalol (2,3–8,0%), borneol (2,4–11,4%), terpinen-4-ol (2,6–7,0%), y verbenona (2,8–9,0%). La presencia en cantidades relativamente altas de todos estos componentes origina un descenso en el porcentaje de timol detectado por el cromatógrafo, aunque continúa siendo el componente mayoritario.

Quimiotipo fenólico, con timol \leq 20%, y precursores elevados

La tercera categoría está constituida por plantas que manifiestan igualmente quimiotipo fenólico, pero con una presencia dominante de ambos precursores, especialmente p-cimeno. Estas plantas representan un porcentaje del 7,34%, y en ellas el timol se encuentra en una proporción fijada entre el 10 y el 20%. Estos individuos se han considerado en un grupo separado de los anteriores porque en ellos, la suma de p-cimeno y γ -terpineno supera el 50% del porcentaje de área, pudiendo alcanzar casi el 70% en algún caso. El p-cimeno es el constituyente más abundante en estas plantas, mostrando una concentración que se sitúa entre el 30 y el 50%. El γ -terpineno suele estar en menor concentración, oscilando entre 5 y 27%. Ambos terpenos mantienen sus niveles elevados independientemente del estado fenológico de la planta, por lo que parece que se trata de tomillos que no son capaces de sintetizar altas cantidades de timol a partir de sus precursores.

A modo de ejemplo, podemos ver la evolución de una de estas plantas en dos recolecciones diferentes: invierno de 2003 e invierno de 2004.

	<i>Inv 03</i>	<i>Inv 04</i>
Estado fenológico	FL-fr	FL-FR
p-cimeno	57,2%	48,9%
γ-terpineno	4,7%	9,4%
Timol	9,2%	13,8%

FL: floración

FR: fructificación; fr: fructificación apenas iniciada

Como se puede apreciar, el contenido en timol varía levemente de un año a otro, incrementándose su cantidad en 2004, pero sin alcanzar concentraciones elevadas. Es importante recordar que estas plantas se deben recolectar cuando se encuentran en floración-fructificación, ya que este es el estado fenológico más adecuado tanto en lo referente a la producción de biomasa como al rendimiento y calidad del aceite esencial (Sotomayor, 1998; Jordán *et al.*, 2006). Teniendo esto en cuenta, se observa que los porcentajes de p-cimeno y γ-terpineno se muestran diferentes los dos años. Tales diferencias pueden ser debidas a que la planta se encontrase en 2003 en un momento más temprano de su ciclo fenológico, habiendo transcurrido menos tiempo desde el inicio de la fructificación que en 2004 en el momento de su recolección, por lo que en dicho año la ruta que conduce a la síntesis de timol a partir de p-cimeno se ha completado, de ahí el mayor contenido en el fenol, y el porcentaje más bajo de su precursor inmediato, y por otra parte, se está comenzando a sintetizar más γ-terpineno, preparando un nuevo ciclo.

Quimiotipo mixto α-terpineol/timol

Con este quimiotipo encontramos un 6,42% de la población. Estas plantas se caracterizan por presentar un porcentaje elevado de ambos componentes, mostrando un perfil volátil que se puede resumir como se presenta en la Tabla III.1–19, en la que aparecen únicamente aquellos constituyentes que en algún caso alcanzan una concentración superior al

1%, con los valores máximos y mínimos que presentan entre las distintas plantas.

Proporciones relativas de α -terpineol tan elevadas como los que se muestran aquí no han sido detectadas por Sotomayor (1998), ni por Sáez (1996). Este último autor encuentra cantidades relativas de este alcohol que oscilan entre 0 y 16,1%.

Tabla III.1–19. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo mixto α -terpineol/timol.

Componentes	Concentración (%)
α -Pino	0,28 – 2,07
Mirceno	1,01 – 1,73
α -Terpineno	1,14 – 2,35
p-Cimeno	11,44 – 25,01
Limoneno	0,81 – 1,46
(<i>E</i>)- β -Ocimeno*	0,03 – 2,09
γ -Terpineno	6,25 – 14,65
(<i>E</i>)-Hidrato de sabineno	0,39 – 8,46
(<i>Z</i>)-Hidrato de sabineno*	0,11 – 7,04
Borneol	0,31 – 4,79
Terpinen-4-ol	0,34 – 5,49
α -Terpineol	15,12 – 28,68
Verbenona	1,82 – 3,76
Éter metílico de carvacrol	0,04 – 1,05
Timol	15,19 – 22,65
Carvacrol	0,66 – 1,55

* Identificación tentativa.

Como se puede observar en la tabla precedente, los alcoholes (*E*) y (*Z*)-hidrato de sabineno, borneol y terpinen-4-ol también aparecen en porcentajes relativamente altos en las plantas que poseen este quimiotipo, aunque muestran una notable variación entre los tomillos analizados, oscilando entre cantidades mínimas y concentraciones

importantes. La verbenona, componente característico de esta especie, tiene igualmente una presencia marcada en estos aceites.

Quimiotipo linalol

Se presenta en el 5,50% de los casos, y ha sido determinado también por Sáez (1995b). Muestra como componente mayoritario este alcohol, distinguiéndose entre un quimiotipo linalol puro, con cantidades que pueden alcanzar hasta el 74% para este constituyente, y un quimiotipo mixto linalol/acetato de linalilo. La designación de un quimiotipo u otro depende de las concentraciones relativas de ambos componentes.

El primero es más frecuente, presentándose en cuatro de las seis plantas que se han encontrado con esta variedad química, aunque porcentajes de linalol que alcancen el 74% no son usuales, ya que sólo lo hemos encontrado en una de las muestras analizadas.

Los terpenos α -pineno y mirceno son también abundantes en estas plantas, además de p-cimeno y γ -terpineno, compuestos frecuentes en la naturaleza aunque no se trate de quimiotipos fenólicos.

La cosecha de invierno proporciona el siguiente resultado:

Tabla III.1–20. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo linalol.

Componentes	Concentración (%)
α -Pineno	0,15 – 2,04
Mirceno	0,37 – 2,29
p-Cimeno	2,67 – 21,71
Limoneno	0,31 – 1,60
1,8-Cineol	0,01 – 2,94
(<i>E</i>)- β -Ocimeno*	0,02 – 1,29
γ -Terpineno	1,22 – 7,19
Linalol	22,89 – 74,27
Borneol	0,44 – 8,73

Tabla III.1–20 (continuación)

Componentes	Concentración (%)
Terpinen-4-ol	0,16 – 1,52
α -Terpineol	0,18 – 6,03
Verbenona	0,70 – 5,44
Éter metílico de carvacrol	0,02 – 1,34
Geraniol + Acetato de linalilo	0,09 – 26,89
Timol	2,21 – 12,06
Carvacrol	0,08 – 1,18
Acetato de geranilo	0,02 – 2,97
(<i>E</i>)-Cariofileno	0,27 – 1,93

* Identificación tentativa.

Los tomillos con este quimiotipo recolectados en primavera ven disminuido su contenido en linalol respecto a invierno.

Quimiotipo carvacrol

Las plantas que presentan este fenol como componente más abundante suponen el 3,67% de las analizadas. Este quimiotipo aparece en plantas aisladas entre aquellas que contiene timol (Sáez, 1995b).

Los fenoles están ampliamente representados en el género *Thymus*, con el timol como componente más importante en la mayoría de plantas, en tanto que el carvacrol aparece como constituyente mayoritario en un número bastante inferior de individuos. Su precursor común p-cimeno conduce a la síntesis de timol o carvacrol, que se suelen encontrar juntos en la mayoría de las ocasiones, generalmente con la dominancia de uno de ellos. El que predomine un componente u otro está controlado genéticamente, dependiendo de la activación o inhibición de determinadas enzimas de la cadena biosintética de la que ambos son productos finales (Stahl-Biskup, 1991).

Los componentes más destacados encontrados entre estas plantas son:

Tabla III.1–21. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo carvacrol.

Componentes	Concentración (%)
α -Tujeno*	0,85 – 2,14
α -Pino	0,85 – 2,38
Canfeno	0,57 – 1,92
Mirceno	0,94 – 8,94
α -Terpineno	1,23 – 2,23
p-Cimeno	11,67 – 26,45
Limoneno	0,67 – 1,83
1,8-Cineol	0,02 – 2,19
(<i>E</i>)- β -Ocimeno*	0,05 – 2,22
γ -Terpineno	7,63 – 17,99
(<i>E</i>)-Hidrato de sabineno	0,40 – 3,86
(<i>Z</i>)-Hidrato de sabineno*	0,11 – 6,38
Linalol	0,37 – 2,11
Alcanfor	0,63 – 1,26
Borneol	1,83 – 6,43
Terpinen-4-ol	0,36 – 4,46
Verbenona	1,25 – 3,31
Éter metílico de carvacrol	0,22 – 1,42
Timol	0,35 – 4,79
Carvacrol	20,88 – 40,11

* Identificación tentativa.

En la segunda recolección se aprecia en general un descenso en el contenido de ambos fenoles, más señalada en el caso del timol.

Quimiotipo mixto, borneol/timol

Determinado en el 2,75% de las plantas analizadas, este quimiotipo mixto se caracteriza por presentar una alta concentración de ambos

componentes, que en uno de los casos es bastante similar, en tanto que en los otros dos tomillos encontrados con este quimiotipo el borneol es más abundante que el timol.

Los aceites de estas plantas muestran un perfil volátil que se resume en la Tabla II.1–22.

La presencia del precursor p-cimeno en estos aceites supera a la del timol, y en una de las muestras, el linalol alcanza un porcentaje muy similar al del fenol.

Tabla III.1–22. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo mixto borneol/timol.

Componentes	Concentración (%)
α-Pineno	0,62 – 3,66
Canfeno	4,33 – 5,54
Mirceno	0,55 – 1,04
α-Terpineno	0,49 – 1,94
p-Cimeno	10,00 – 24,58
Limoneno	0,89 – 1,93
(E)-β-Ocimeno*	0,01 – 1,93
γ-Terpineno	3,49 – 11,44
(E)-Hidrato de sabineno	0,54 – 6,49
Linalol	0,82 – 11,23
Alcanfor	1,69 – 2,94
Borneol	14,72 – 17,84
Terpinen-4-ol	0,83 – 4,46
α-Terpineol	0,23 – 4,70
Verbenona	3,09 – 4,99
Éter metílico de timol	0,14 – 1,30
Timol	9,79 – 17,27
Carvacrol	0,98 – 5,44

* Identificación tentativa.

Sáez (1996), también encuentra niveles elevados de borneol (hasta 18,1%) en individuos con altas concentraciones de timol y, especialmente, de ambos precursores fenólicos. Por su parte, Jiménez *et al.* (1989)

apuntan a la existencia de una ruta biosintética preferente, cuyo producto final serían los fenoles, y una segunda vía que conduce a la formación de borneol.

Es interesante mencionar que en estas plantas, la relación borneol/timol varía en primavera respecto a invierno, desplazándose en la segunda recolección hacia un mayor contenido en timol. Es posible, a falta de más ensayos, que en estos tomillos se active en primavera la síntesis de timol en respuesta a la temperatura más elevada de esta estación. Por eso pasaría de tener un quimiotipo mixto en invierno a un quimiotipo simple en primavera, con el fenol como componente destacado. En las plantas cuyo perfil se muestra en las Tablas III.1–16 y III.1–17, que presentan en invierno y en primavera el timol como constituyente mayoritario, éste disminuye su concentración en la segunda recolección, lo cual contradice lo anterior. Sin embargo, se debe considerar que en primavera las plantas disponen de menos tiempo para completar su ciclo fenológico, y la etapa de floración-fructificación, en la que se suele encontrar el máximo contenido en timol, es más corta, acelerándose la entrada en plena fructificación, por lo que la síntesis de timol no puede alcanzar los porcentajes de invierno. Las plantas con quimiotipo mixto, cuyo porcentaje de timol no es tan elevado en invierno, sí podrían alcanzar concentraciones más altas de este componente en primavera.

Quimiotipo mixto, linalol/timol

Estos tomillos representan el 1,83% de la población analizada. En ellos, también α -pineno, 1,8-cineol y borneol alcanzan valores elevados, así como terpenos menos volátiles, como (*E*)-cariofileno y valenceno.

En la Tabla III.1–23, en la que se muestra el perfil volátil de las dos plantas estudiadas, es posible observar que los porcentajes de linalol y timol son bastante parecidos en los tomillos que manifiestan este quimiotipo.

Tabla III.1–23. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo mixto linalol/timol.

Componentes	Concentración (%)	
	Muestra 1	Muestra 2
α -Pino	2,18	2,67
Canfeno	1,44	1,23
Mirceno	0,86	1,41
α -Terpino	0,57	1,05
p-Cimeno	13,87	16,38
Limoneno	0,84	1,56
1,8-Cineol	12,58	5,38
(<i>E</i>)- β -Ocimeno*	0,05	1,47
γ -Terpino	4,52	9,78
Linalol	18,56	16,62
Alcanfor	1,36	1,06
Borneol	6,17	4,67
α -Terpineol	1,44	0,98
Verbenona	4,09	4,75
Éter metílico de carvacrol	1,16	1,20
Timol	15,02	16,50
Carvacrol	0,45	0,29
(<i>E</i>)-Cariofileno	0,95	2,07
Valenceno	1,03	0,65

* Identificación tentativa.

En primavera se pudo analizar de nuevo una de estas plantas (muestra 2), advirtiéndose un marcado descenso en su contenido en linalol (5,89%). También baja, aunque de forma más ligera, el porcentaje de timol (13,60%). El 1,8-cineol reduce igualmente de forma notable su presencia en el aceite en primavera (0,02%), en tanto que se elevan las concentraciones de (*E*)-hidrato de sabineno (de 0,40 a 1,56%), (*Z*)-hidrato de sabineno (de 0,10 a 2,24%) y terpinen-4-ol (de 0,43 a 3,52%).

Quimiotipo α -terpineol

Esta variedad química se presenta en un porcentaje de plantas idéntico al anterior, 1,83%. En este quimiotipo, a diferencia del mixto α -terpineol/timol, la concentración del alcohol es claramente superior a la del fenol.

La presencia de precursores fenólicos también destaca en estos aceites esenciales, junto al linalol y 1,8-cineol, que pueden alcanzar una proporción superior al 4%. En la siguiente tabla se representa la concentración relativa de los principales constituyentes de las dos muestras recolectadas.

Tabla III.1–24. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo α -terpineol.

Componentes	Concentración (%)	
	Muestra 1	Muestra 2
α -Pino	1,14	0,21
Mirceno	1,87	1,60
p-Cimeno	22,39	8,00
Limoneno	1,58	0,59
1,8-Cineol	4,06	1,95
(<i>E</i>)- β -Ocimeno*	1,60	3,11
γ -Terpineno	7,34	7,85
Linalol	3,98	4,06
Borneol	2,34	2,67
α -Terpineol	30,95	48,73
Verbenona	3,77	0,72
Timol	5,38	11,36
Carvacrol	0,42	0,20

* Identificación tentativa.

Plantas con este quimiotipo no pudieron ser recolectadas en primavera.

Quimiotipos cuyo porcentaje no supera el 0,92%

Los cuatro últimos grupos de la Tabla III.1–15 se van a considerar en el mismo apartado, ya que su baja presencia en la población puede indicar que no se trata de variedades químicas, sino de hibridaciones puntuales con otras especies de tomillo.

- El quimiotipo *1,8-cineol* ha sido encontrado en *Th. hyemalis* por otros autores, como Cabo *et al.* (1986) y Cabo *et al.* (1987), que definen este componente como el más importante en plantas recolectadas en Almería y Granada, con un porcentaje que oscila entre 13,3 y 26,8%, en función de la zona y la época de recolección. Parece, por lo tanto, que se trata realmente de una variedad química definida, aunque no muy frecuente en la zona del Campo de Cartagena, de donde proceden las semillas empleadas en el presente estudio.

En los trabajos previos citados aparecen, además, cantidades elevadas de mirceno (hasta 31,3%), linalol (hasta 7,3%) y alcanfor (hasta 20,9%). Esos mismos componentes no alcanzan concentraciones tan elevadas en la muestra recolectada en nuestra parcela, detectándose porcentajes de 1,27%, 0,56%, y 0,62%, respectivamente, para cada uno de ellos.

En nuestro caso, el aceite esencial analizado se caracteriza por una presencia importante de eucaliptol, además de α -pineno, α -terpineol y timol, como puede verse en la tabla que se incluye en este apartado.

La distribución de los componentes más abundantes quedaría de la siguiente forma:

Tabla III.1–25. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo 1,8-cineol.

Componentes	Concentración (%)
α -Pino	5,79
β -Pino	2,17
Mirceno	1,27
p-Cimeno	19,53
1,8-Cineol	29,57
γ -Terpino	7,10
Borneol	2,58
α -Terpineol	8,60
Verbenona	1,41
Timol	8,80
Carvacrol	0,96

• El quimiotipo mixto binario *carvacrol/(E)-hidrato de sabineno* encontrado podría deberse a la introgresión con *Th. baeticus*, especie que convive con *Th. hyemalis*. La planta en la que se determina este perfil volátil se recolectó tanto en invierno como en primavera (Tabla III.1–26).

La cantidad de carvacrol y sus precursores es semejante en las dos recolecciones, con variaciones apenas reseñables.

Tabla III.1–26. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo mixto carvacrol/(E)-hidrato de sabineno.

Componentes	Concentración (%)	
	Inv.	Prim.
α -Pino	5,32	5,84
α -Terpino	2,62	3,56
p-Cimeno	14,46	13,10
Limoneno	2,88	3,30
γ -Terpino	15,48	17,04
(E)-Hidrato de sabineno	10,09	4,69
Linalol	4,36	4,25
Borneol	3,62	2,59
Terpinen-4-ol	6,52	10,83

Tabla III.1–26 (continuación)

Componentes	Concentración (%)	
	Inv.	Prim.
Verbenona	6,14	4,69
Timol	0,19	0,15
Carvacrol	8,86	10,01

Por otra parte, esta planta ilustra la correlación existente entre (*E*)-hidrato de sabineno y terpinen-4-ol, con porcentajes que pasan de 10,1 y 6,5%, respectivamente, en invierno, a 4,7 y 10,8% en primavera, es decir, cuando uno de estos compuestos incrementa su presencia en el aceite, el otro la reduce, por lo que parece confirmarse que terpinen-4-ol es precursor de (*E*)-hidrato de sabineno (Sotomayor, 1998).

- Otro quimiotipo mixto, *linalol/α-terpineol*, se detecta también en una sola planta, aunque los quimiotipos simples determinados por los dos alcoholes por separado son más abundantes. Los componentes más importantes en este tomillo son los que aparecen en la Tabla III.1–27.

Tabla III.1–27. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo mixto linalol/α-terpineol.

Componentes	Concentración (%)
α-Pineno	2,13
p-Cimeno	9,62
γ-Terpineno	6,42
(<i>E</i>)-Hidrato de sabineno	2,82
Linalol	19,08
Terpinen-4-ol	4,16
α-Terpineol	19,93
Verbenona	6,25
Timol	6,79
Carvacrol	0,44

• Por último, el quimiotipo mixto *mirreno/hidrato de sabineno* presenta una concentración destacada del terpeno, así como de (*E*) y (*Z*)-hidrato de sabineno. Como se ha comentado anteriormente, concentraciones tan altas de mirreno se han encontrado antes en *Th. hyemalis*, por parte de Cabo *et al.* (1986) y Cabo *et al.* (1987), en plantas ricas en 1,8-cineol.

Tabla III.1–28. Composición porcentual del aceite esencial de *Th. hyemalis*, quimiotipo mixto linalol/hidrato de sabineno.

Componentes	Concentración (%)
α -Tujeno*	3,21
α -Pino	6,64
Mirceno	20,76
p-Cimeno	5,78
Limoneno	2,83
1,8-Cineol	3,27
γ -Terpineno	4,31
(<i>E</i>)-Hidrato de sabineno	7,69
(<i>Z</i>)-Hidrato de sabineno*	13,25
Terpinen-4-ol	5,68
Verbenona	4,65
Timol	3,33
Carvacrol	0,23

* Identificación tentativa.

Esta riqueza en quimiotipos justifica la importancia comercial de este tomillo, ya que su variabilidad, asociada a una elevada actividad antioxidante y antimicrobiana, le permite ofrecer numerosas opciones a las diferentes industrias, que pueden seleccionar aquellas plantas que respondan mejor a sus intereses.

En este sentido, se ha realizado un estudio de las propiedades antioxidantes de los aceites esenciales de esta especie, empleando para ello muestras pertenecientes a la recolección de 2004. Los resultados

obtenidos varían en base al perfil volátil de cada muestra (Lax *et al.*, 2007).

Por lo que respecta al quimiotipo timol, se seleccionan los aceites de tres plantas, en los cuales se observan porcentajes de este fenol del 46, 36 y 25%, determinándose para tales aceites una actividad antirradicalaria (AA) del 60, 69 y 75% respectivamente, medida en base a su capacidad de captación del radical DPPH* (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo). Como se puede ver, el poder antioxidante de estas sustancias no se relaciona directamente con un alto contenido en timol, ya que la muestra más efectiva de las tres ensayadas es la que presenta una distribución más homogénea de sus constituyentes, especialmente en lo que se refiere al timol y su precursor p-cimeno.

Por otra parte, Rota *et al.* (2008) estudian las propiedades antibacterianas de diferentes aceites esenciales, constando que el procedente de *Th. hyemalis*, con un contenido en timol del 43%, resulta ser el más activo frente a bacterias que se transmiten a través de los alimentos.

Las cualidades de estas sustancias como agentes antimicrobianos o antioxidantes se asocian generalmente a su contenido fenólico, quedando de manifiesto que lograr el óptimo de eficacia requiere concentraciones relativas de timol más o menos elevadas en función de la actividad realizada por dichas sustancias.

En el trabajo de Lax *et al.* (2007) aparecen reflejados también los resultados obtenidos con otros quimiotipos descritos en *Th. hyemalis*.

El aceite esencial rico en carvacrol, con un contenido en dicho componente del 21%, demuestra ser un excelente agente antioxidante, ya que la AA medida en este caso es del 69%, lo que parece indicar que se precisa un menor porcentaje de carvacrol que de timol, en los aceites con quimiotipo fenólico, para conseguir un resultado equiparable. Sin embargo, analizando la efectividad de ambos componentes en solitario, el timol parece ser mejor antioxidante que el carvacrol (Yanishlieva *et al.*, 1999; Youdim *et al.*, 2002). Esto confirma la existencia de relaciones

sinérgicas entre los constituyentes mayoritarios de estas sustancias y aquellos que se encuentran en menor proporción, favoreciendo estas interacciones la eficacia de los aceites ricos en carvacrol.

Para el quimiotipo mixto borneol/timol, con porcentajes del 18% para el alcohol y 12% para el fenol, se señala igualmente una capacidad de captación del DPPH• del 69%. La planta estudiada revela además un alto contenido en linalol (11%).

Con relación a este alcohol, corresponde mencionar que la AA es también elevada en aceites con quimiotipo mixto linalol/timol, estimándose un valor de la misma del 67% en la muestra analizada. En dicha muestra se detectan concentraciones relativas de linalol y timol del 19 y 15% respectivamente, presentando también una cantidad de 1,8-cineol del 13%.

La efectividad disminuye en los tomillos con quimiotipo linalol puro. Un porcentaje de este alcohol del 74%, con una proporción de timol del 4%, manifiesta un poder de captación del radical DPPH• del 41%. El menor contenido fenólico es el principal responsable de este descenso.

Lo mismo ocurre con el α -terpineol, ya que aceites con un porcentaje mayoritario de este alcohol (cercano al 49%) no son tan buenos agentes antioxidantes como aquellos caracterizados con un quimiotipo mixto α -terpineol/timol, con una cantidad relativa del 15% para ambos componentes, y una AA del 58%, frente al 49% del quimiotipo puro.

Para terminar, con los datos reflejados en este trabajo ha quedado de manifiesto la necesidad de realizar una selección de estos tomillos previa a la plantación, tanto para generar plantas resistentes a las siegas como para asegurar la calidad del aceite esencial y ofrecer un contenido en timol, componente más apreciado, adecuado a las exigencias del mercado.