

FACTORES DE EMISIÓN POR ESPECIE

5.1. INTRODUCCIÓN

El factor de emisión representa la velocidad de emisión de un determinado compuesto para un tipo de vegetación específica, relativa a la unidad de área o de biomasa foliar. Este valor depende de la fuente generadora y de la especie química involucrada.

Se expresa como la cantidad de emisión, ya sea en base al área de la hoja ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) o en base a la biomasa seca [$\mu\text{g (g peso seco)}^{-1} \text{h}^{-1}$]. Este valor lleva implícito el comportamiento medio de la especie química liberada en relación a la magnitud y la composición de esta emisión, como resultado de actividades biológicas, para una determinada biomasa vegetal emisora (hojas) en un tiempo determinado.

El factor de emisión estándar (E_s) representa la liberación en forma gaseosa de cada uno de los compuestos bajo condiciones estándar de temperatura (30 °C) y luz (radiación fotosintética activa; PAR = $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y se relaciona con la biomasa foliar y el tiempo.

Este factor es muy valioso para realizar inventarios de emisiones biogénicas, ya que determina la capacidad total de emisión por la vegetación (Harley *et al.*, 1996; Sharkey *et al.*, 1996).

Cada tipo de vegetación muestra un espectro de emisión característico, ya que cada especie de planta tiene una razón y beneficio propio de la producción y emisión de ciertos hidrocarburos específicos. Por ejemplo, Kesselmeier *et al.* (1998) descubrieron que aún dos especies no diferenciables anatómica y morfológicamente como el *Quercus ilex* y el *Quercus agrifolia*, muestran un diferente espectro de emisión. Por lo tanto, propusieron que en el caso de las encinas parece haber un proceso regulatorio con base genética, que da inicio ya sea a la producción de isopreno (*Quercus agrifolia*)

o monoterpenos (*Quercus ilex*), siguiendo diferentes estrategias, ya sea para defensa o protección.

La obtención de los factores de emisión para las especies vegetales se ve condicionada por aspectos como: la metodología seguida para el muestreo, la localización geográfica, o las condiciones ambientales. Estos aspectos afectan la fiabilidad e intercomparación entre los factores de emisión reportados en la literatura (Kesselmeier y Staudt, 1999). Por otra parte, existe la limitación de que el factor de emisión global para una especie vegetal presentado por varios autores, sólo comprende la suma de los compuestos más importantes cuantitativamente.

Otra dificultad a la hora de comparar factores de emisión se debe a que las emisiones se han medido bajo condiciones diferentes a las estándar de temperatura y luz, y luego son ajustadas a éstas utilizando los algoritmos que relacionan la emisión con estas variables (p.e., los modelos de Tingey *et al.*, 1980 y Guenther *et al.*, 1993). Este procedimiento de ajuste puede provocar factores de emisión con un error comparable a la desviación producida por la influencia de ambas variables, luz y temperatura, en la emisión obtenida aplicando estos algoritmos (Kesselmeier y Staudt, 1999).

En este capítulo, además de presentar los factores de emisión obtenidos experimentalmente, se presentan los factores de emisión estándar (E_s), que se calcularon con el objetivo de comparar los valores obtenidos en el presente trabajo de Tesis con los reportados en la literatura por otros investigadores.

5.2. CANTIDAD Y COMPOSICIÓN DE LA EMISIÓN MEDIDA

5.2.1. Programa de muestreo

Las mediciones experimentales fueron realizadas en el bosque, descrito ya en el capítulo 4 de la presente memoria de Tesis, donde están ubicadas las tres especies consideradas y que está localizado junto al laboratorio de análisis ambiental.

El período de medición ha comprendido 2 etapas: una etapa inicial donde se midió la emisión de *Pinus pinea* y *Quercus ilex*, logrando cubrir un ciclo anual, en la mitad de ésta se inició con la medición en un ejemplar de *Pinus halepensis*. En la segunda etapa se estudió la variabilidad en la emisión inter-especie e intra-especie, la cual se centró principalmente, por razones de logística y medios disponibles, en el *Pinus halepensis*. Esta especie también era de mucho interés dentro del estudio, ya que como se mencionó anteriormente, es una de las más abundantes en la vegetación mediterránea y ha sido muy poco estudiada.

Los detalles de las fechas de muestreo y las condiciones ambientales se muestran en la Tabla 5.1. Las mediciones se realizaron durante el día, entre las 10:00 y las 20:00 horas locales, con frecuencia irregular y a diferentes horas del día.

Se midió un total de 19 días con una media de 8 muestras por día para el *Pinus pinea*; para el *Pinus halepensis* 6 días con una media de 5 muestras por día (ejemplar 1) y 4 días con una media de 6 muestras (ejemplar 2). *Quercus ilex*, 16 días con una media de 7 muestras por día. El número medio de días muestreados por mes ha sido de 1-2 días.

Las mediciones en campo fueron llevadas a cabo en diferentes ramas del mismo árbol en condiciones ambientales no controladas, con la excepción de algunos días donde se ha tomado la misma rama para estudiar la variación de la emisión entre días

diferentes. Una rama individual fue utilizada para cada día de muestreo; ésta era cortada al final del día, y puesta a secar, con el objetivo de pesar posteriormente las hojas secas. La cantidad de emisión (μg) se relaciona con la biomasa seca foliar (g p.s.) y el tiempo de medición (h).

Las variables ambientales medidas continuamente en este estudio fueron: temperatura (interior y exterior de la cámara de encerramiento), humedad relativa (interior y exterior), velocidad del viento y la PAR.

Tabla 5.1. Días de muestreo, número de mediciones y valores promedio de las condiciones de temperatura y PAR para cada rama muestreada de *Pinus pinea* (≈ 20 años), *Quercus ilex* (≈ 30 años) y *Pinus halepensis* (≈ 20 años) durante todo el período de estudio.

Fecha (dd/mm/aa)	Día juliano	número datos	Temperatura (°C)	PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Biomasa (g p.s)
<i>Pinus pinea</i>					
02/06/97	153	11	25.4 \pm 4.3	340.2 \pm 204.3	46.970
06/06/97	157	8	31.1 \pm 5.0	324.0 \pm 252.7	44.920
09/06/97	160	2	35.0 \pm 1.5	1478.0 \pm 585.2	44.920
30/06/97	181	5	31.9 \pm 1.6	1760.8 \pm 331.9	13.070
16/07/97	197	11	35.3 \pm 5.2	957.5 \pm 591.9	41.070
21/07/97	202	12	33.0 \pm 3.8	944.6 \pm 463.7	41.070
07/08/97	219	9	33.5 \pm 5.9	775.1 \pm 704.4	37.660
08/08/97	220	9	34.4 \pm 5.3	600.9 \pm 491.6	37.660
04/09/97	247	8	31.6 \pm 3.2	884.2 \pm 747.5	38.730
15/10/97	288	8	20.1 \pm 3.4	475.9 \pm 381.3	8.550
10/11/97	314	7	22.2 \pm 5.0	685.7 \pm 481.5	56.380
01/12/97	335	7	19.2 \pm 5.5	714.9 \pm 462.9	44.870
22/12/97	356	6	15.6 \pm 3.5	329.2 \pm 225.7	36.360
19/01/98	19	7	20.2 \pm 3.7	871.7 \pm 557.5	31.450
13/02/98	44	6	19.9 \pm 4.2	1083.1 \pm 557.6	53.830
18/02/98	49	6	24.1 \pm 1.2	944.4 \pm 406.3	46.650
13/03/98	72	7	17.2 \pm 3.9	1099.3 \pm 686.9	51.960
24/04/98	114	7	23.5 \pm 3.4	1119.0 \pm 659.1	54.090
01/06/98	152	9	29.7 \pm 3.9	1241.0 \pm 605.3	69.970
<i>Quercus ilex</i>					
22/07/97	203	9	30.5 \pm 3.6	1014.5 \pm 713.4	18.660
23/07/97	204	8	31.0 \pm 4.4	1045.2 \pm 779.3	18.660
21/08/97	233	9	31.4 \pm 3.8	604.1 \pm 504.9	12.800
22/08/97	234	6	31.4 \pm 2.8	752.1 \pm 551.3	12.800
05/09/97	248	8	31.6 \pm 3.2	880.4 \pm 743.2	17.930
17/10/97	290	7	22.1 \pm 1.1	320.2 \pm 195.4	19.110
12/11/97	316	6	19.4 \pm 3.8	805.7 \pm 402.0	17.710
12/12/97	346	6	12.4 \pm 0.6	52.2 \pm 21.8	17.430
15/12/97	349	6	11.2 \pm 3.7	260.5 \pm 216.9	17.430
09/01/98	9	7	17.1 \pm 4.5	406.8 \pm 285.7	27.580
11/02/98	42	6	18.1 \pm 3.7	730.4 \pm 535.7	33.120
16/03/98	75	7	23.4 \pm 3.5	720.8 \pm 690.1	14.350
17/04/98	107	7	17.6 \pm 1.8	526.2 \pm 556.5	25.520
27/04/98	117	8	19.3 \pm 3.7	732.8 \pm 685.9	26.650
25/06/98	176	7	28.3 \pm 2.9	333.1 \pm 293.4	23.260
16/07/98	197	8	30.8 \pm 1.4	467.5 \pm 718.8	19.890

...Continuación Tabla 5.1.

Fecha (dd/mm/aa)	Día juliano	número datos	Temperatura (°C)	PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Biomasa (g p.s)
<i>Pinus halepensis</i>					
<i>Ejemplar 1</i>					
06/03/98	65	5	22.7 ± 1.8	821.4 ± 381.4	48.600
03/04/98	93	5	25.9 ± 0.9	638.0 ± 401.8	35.800
08/05/98	128	6	23.0 ± 1.7	376.2 ± 262.2	33.190
26/06/98	177	6	28.4 ± 1.3	402.5 ± 300.7	52.060
23/07/98	204	6	34.8 ± 1.2	363.1 ± 372.0	27.640
28/09/98	271	6	23.8 ± 1.0	218.6 ± 251.9	66.130
23/07/99	204	6	34.8 ± 0.6	1787.7 ± 169.0	35.960
07/10/99	280	6	21.7 ± 0.6	250.5 ± 50.0	22.340
14/10/99	287	7	25.2 ± 1.3	153.6 ± 42.1	16.180
03/07/00	185	3	36.8 ± 0.9	632.9 ± 852.3	9.520
24/07/00 ^a	206	6	33.2 ± 3.2	322.7 ± 383.5	31.610
24/07/00 ^b	206	6	32.4 ± 2.2	269.8 ± 283.7	9.520
<i>Ejemplar 2</i>					
16/09/99	259	5	29.7 ± 1.6	348.0 ± 233.2	25.880
17/09/99	260	6	27.3 ± 1.6	370.5 ± 67.4	25.880
26/07/00	208	7	37.9 ± 3.0	1073.4 ± 538.2	10.960
04/10/00	278	6	26.6 ± 2.8	273.8 ± 143.3	10.840

5.2.2. *Pinus pinea*

El *Pinus pinea* es una de las coníferas más extendidas en el área mediterránea y es potencialmente un fuerte emisor de monoterpenos (Loreto *et al.*, 2000).

Para cuantificar el nivel de emisión de esta especie se utilizó un ejemplar de aproximadamente 20 años de edad. Se identificaron y cuantificaron 15 compuestos monoterpénicos durante el período de estudio.

Las emisiones más frecuentes y abundantes para esta especie son las de linalol, limoneno, *trans*-ocimeno y 1,8-cineol. Estos cuatro compuestos constituyen en promedio un 80% del total de emisiones medidas durante el período de estudio. Esta proporción es comparable con la ofrecida por Street *et al.* (1997) quienes reportaron que un 75-86% del total de la emisión de esta especie corresponde a los tres primeros compuestos.

El resto de los compuestos detectados; β -felandreno, mirceno, α -pineno, α -terpineol, *cis*- y *trans*-oxido de linalol, constituyen el 20% del total de la emisión, pero solo fueron identificados y cuantificados en algunas muestras.

La proporción relativa, de los cuatro compuestos principales ya mencionados por día de muestreo se presenta en la Figura 5.1. El limoneno y linalol están presentes durante todo el período de estudio, ambos compuestos, son los de mayor emisión y sus emisiones máximas por día ocurren en el mes de junio de 1997 (días Julianos: 160 y 157, respectivamente).

Por el contrario, el *trans*-ocimeno y 1,8-cineol se detectaron solamente en verano (días Julianos: 160, 197, 202, 219, 220, 247) bajo condiciones calurosas y soleadas (ver Tabla 5.1) y no fueron detectados el resto del año.

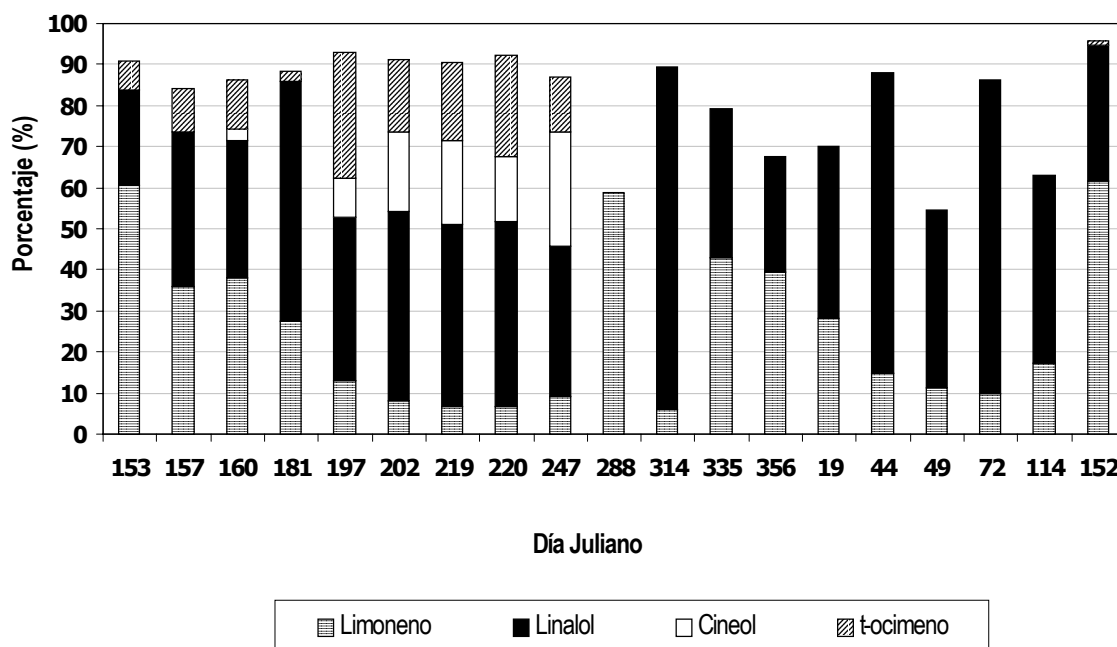


Figura 5.1. Proporción relativa (% de la emisión total) de los principales cuatro compuestos monoterpenicos para el *Pinus pinea*.

Como se puede observar en la Figura 5.1, se presentaron cambios significativos en las proporciones relativas de los cuatro compuestos, a través de todo el período de medición. Especialmente en algunos días como el 15 octubre '97 (día Juliano: 288) en el cual sólo dos compuestos fueron detectados en bajas concentraciones (limoneno, 59%, y α -pineno, 41%). La variación en la proporción relativa durante el día se ve condicionada por la cantidad y composición de la emisión.

Con respecto a la variación durante el día, en la Figura 5.2 se presentan el transcurso de los niveles de emisión observados, en dos días diferentes midiendo en la misma rama (igual biomasa). Aquí podemos observar que no todos los compuestos se comportan de forma similar, en el caso del día 1 la emisión de linalol alcanza su

máximo nivel a las 13:00 horas ($9.0 \mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$) y luego aparentemente se mantiene estable, aunque las condiciones ambientales (temperatura y PAR) varíen. Por el contrario, es más evidente el descenso en la emisión de linalol, *trans*-ocimeno y 1,8-cineol a partir de las 15:00 horas al descender los valores de estas variables. Las emisiones máximas de los compuestos individuales no ocurren simultáneamente.

En el día 2 la situación es similar a la del día 1, a pesar de que el nivel de emisión es ligeramente mayor para algunos compuestos, no es significativo como se puede observar en la Tabla 5.2.

En ambos días se observa que el comportamiento de la emisión parece influenciado por ambas variables. La emisión máxima en ambos días ocurre bajo condiciones máximas de temperatura y radiación solar durante las horas de mediodía con temperaturas dentro de la cámara de encerramiento en el intervalo de 35-40 °C y niveles de radiación entre 1500-1600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

El incremento en los niveles de emisión durante períodos de aumento de luz y temperatura en las horas del mediodía (entre las 12:00 y 14:00 horas en nuestros datos) ha sido ya reportado por otros autores (Steinbrecher *et al.*, 1991; Janson 1993; Simon *et al.*, 1994; Street *et al.*, 1997). Sin embargo, Staudt *et al.* (1997) reportan una disminución de las emisiones de *Pinus pinea* en condiciones muy calurosas.

La emisión máxima para la emisión total (suma de monoterpenos) en esta especie, encontrada en el presente estudio fué de $39.75 \mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$, registrándose el 9 de junio de 1997 a las 13:00 h ($T = 36.1 \text{ °C}$, $\text{PAR} = 1064.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). La composición de esta emisión fue: limoneno (42%), linalol (30%), *trans*-ocimeno (11%) y β -felandreno (8%). El 10% restante estaba constituido por varios compuestos en pequeñas cantidades.

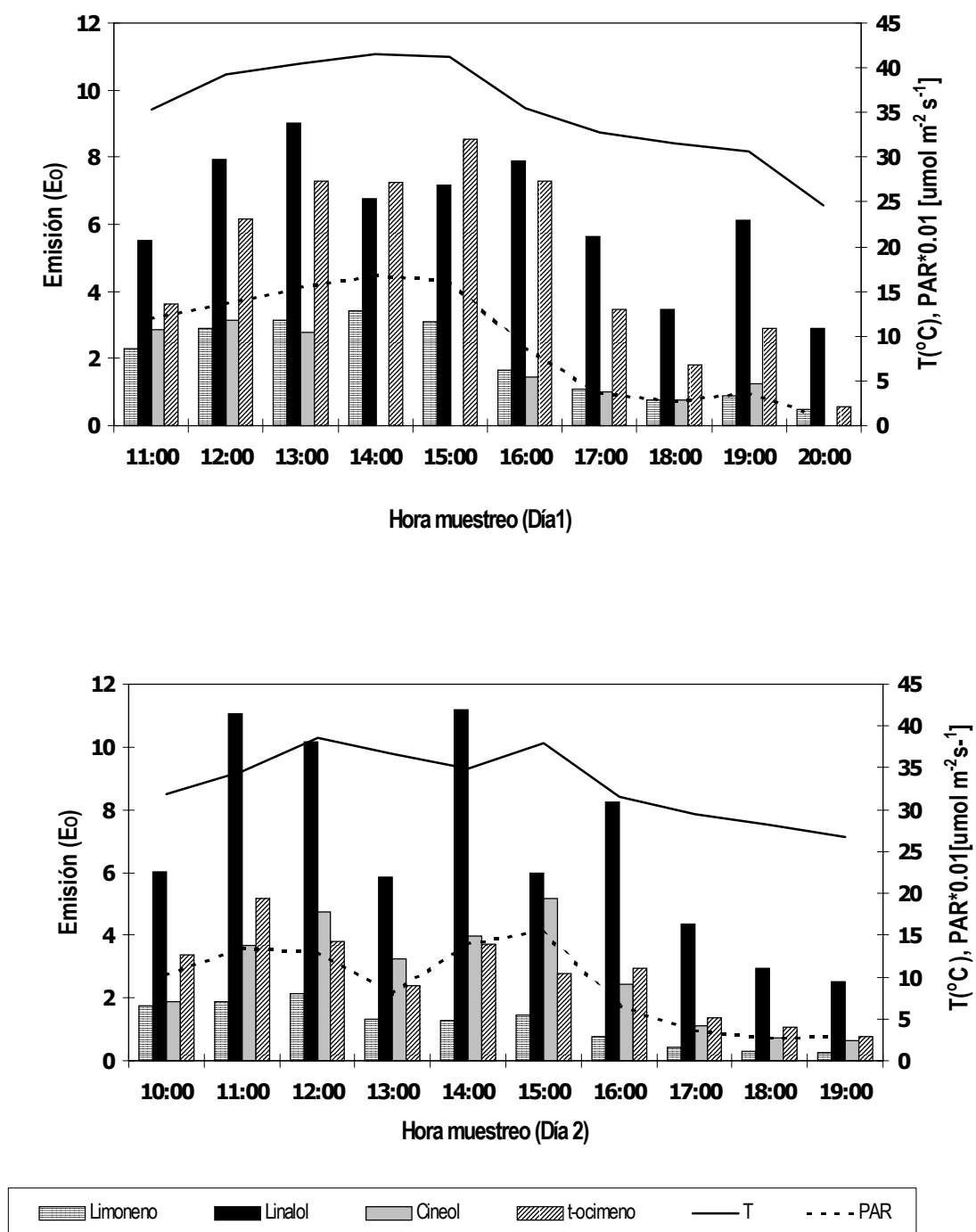


Figura 5.2. Emisión observada (E_o ; $\mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$) para los cuatro principales compuestos del *Pinus pinea*, durante dos días de muestreo. Día 1 (16-07-97) y Día 2 (21-07-97)

Tabla 5.2. Niveles de emisión observados (E_0) en una rama de *Pinus pinea* en dos días diferentes de muestreo. Día 1 (16-07-97) y Día 2 (21-07-97).

Emisión observada $\mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$					
Compuestos	Día 1		Día 2		% Variación entre medias
	Media \pm SD ^a	CV ^b	Media \pm SD ^a	CV ^b	
Limoneno	2.00 \pm 1.079	53.9	1.27 \pm 0.69	54.3	29.4
Linalol	6.18 \pm 1.87	30.2	7.12 \pm 3.26	45.8	6.6
1, 8-cineol	1.46 \pm 1.25	85.6	2.99 \pm 1.45	48.5	25.6
<i>trans</i> -ocimeno	4.77 \pm 2.64	55.3	2.76 \pm 1.58	57.2	36.4
Mirceno	0.41 \pm 0.15	36.6	0.59 \pm 0.22	37.3	15.3
α -Pineno	0.25 \pm 0.07	28.0	0.27 \pm 0.07	25.9	3.7
α -Terpineol	0.27 \pm 0.06	22.2	0.35 \pm 0.15	42.9	11.4
Σ monoterpenos(E_0)	15.48 \pm 6.14	39.7	15.48 \pm 7.19	46.4	0
Temperatura	35.30 \pm 5.24	14.8	33.05 \pm 3.78	11.4	3.4
PAR	957.50 \pm 591.97	61.8	944.60 \pm 463.67	49.1	0.68

^a SD = desviación estándar

^b CV = coeficiente de variación (%)

Para estudiar la variabilidad en la emisión en dos días diferentes, se compararon los valores medios por día (ver Tabla 5.2). Como se puede observar, la variación es muy baja para el linalol, y más significativa para el *trans*-ocimeno, limoneno y 1, 8-cineol: las condiciones de luz y temperatura entre ambos días fueron muy similares.

Con respecto al nivel de emisión total (suma de monoterpenos) entre ambos días, a pesar de la variabilidad observada en el transcurso de cada día ($\geq 40\%$), no existió diferencia en el nivel reportado en un día con respecto al otro.

En la Tabla 5.3 se presentan algunos niveles de emisión medidos bajo condiciones ambientales en campo para diferentes especies. Las emisiones obtenidas en el presente estudio para el *Pinus pinea* son comparables con las reportadas por otros autores.

Tabla 5.3. Niveles de emisión medidos en condiciones ambientales reportados en la literatura para compuestos monoterpenicos en diferentes especies de plantas

Compuesto	Especie planta	Nivel emisión ($\mu\text{g [g p.s.]}^{-1} \text{h}^{-1}$)	Referencia
α -pineno	Pino (<i>Pinus elliotti</i>)	0.45	Tingey <i>et al.</i> (1980)
α -pineno	Pino, eucalipto, ciprés, nuez	2.3-12	Khalil y Rasmussen (1992)
α -pineno	Colza, haya, abedul, encina	0.005-0.016	König <i>et al.</i> (1995)
Isopreno	Hierbas, cultivos	1-2	Street <i>et al.</i> (1994)
Limoneno	Pino	0.02	Tingey <i>et al.</i> (1980)
Limoneno	Pino, eucalipto, nuez	2.9-12.1	Khalil y Rasmussen (1992)
Sabineno	Colza, haya, abedul	0.22-0.4	König <i>et al.</i> (1995)
Sabineno	Arbol de nuez (<i>Carya aquatica</i>)	10.6	Khalil y Rasmussen (1992)
Σ monoterpenos	Limonero, naranjo, alfalfa, espino blanco; pistacho, dif.especies	0.1-67	Winer <i>et al.</i> (1992)
Σ monoterpenos	Roble, encina carrasca, pino piñonero	0.4-33.7	Street <i>et al.</i> (1994)
Σ monoterpenos	Pino (<i>Pinus sylvestris</i>)	0.7 ± 0.3	Janson (1992)
Σ monoterpenos	Picea (<i>Picea abies</i>)	0.4 ± 0.6	Janson (1992)
Σ sesquiterpenos	Cerezo, algodón, uva, oliva, durazno, azafrán, tomate	0.1-0.8	Winer <i>et al.</i> (1992)
Σ sesquiterpenos	Ciprés, eucalipto	0.05-0.3	Khalil y Rasmussen (1992)
Σ monoterpenos	Colza, centeno, haya, abedul, encina, grama	0.053-0.19	König <i>et al.</i> (1995)
Σ monoterpenos	Pino, abeto, alerce (<i>Pinus larix</i>)	0.5-20	Isidorov <i>et al.</i> (1985)
Σ monoterpenos	Limonero, algodón, naranjo, encina, nogal, espino blanco, pistacho	0.4-12	Arey <i>et al.</i> (1991)
Σ monoterpenos	Roble (<i>Quercus ilex</i>)	20-40	Staudt y Seufert (1995)
Σ monoterpenos	Pino (<i>Pinus ponderosa</i>)	0.01-0.9	Lerdau <i>et al.</i> (1994)

5.2.3. *Pinus halepensis*

El *Pinus halepensis* cubre una amplia extensión de la cuenca mediterránea. Es la especie mayoritaria en los bosques catalanes, ocupa un 13.9% de la superficie de Cataluña (DGPAT, 1987), sustituyendo a los grandes encinares que ocupaban las tierras bajas comprendidas entre el nivel del mar y unos 800 m de altura. Esto es debido a que es una especie de rápido crecimiento.

Muy poco se conoce sobre el comportamiento de la emisión de esta especie. Por ser una conífera, es considerada como una especie que almacena terpenos (Llusà y Peñuelas, 2000)

El nivel de emisión fue estudiado en forma irregular durante el período marzo '98 – julio '00, utilizando un ejemplar de aproximadamente 30 años de edad. Se estudio también un ejemplar más joven (aproximadamente 20 años) durante cuatro campañas de medición realizadas durante los meses de septiembre'99, julio y octubre'00 (Ver detalles en la Tabla 5.1). Se identificaron y cuantificaron 9 compuestos monoterpénicos durante el período estudiado. Las emisiones más frecuentes y abundantes para esta especie han sido las de mirceno (50%) y α -pineno (21%), constituyendo estos compuestos más del 70% de la emisión. El 30% restante lo constituyen el linalol, sabineno, β -pineno, Δ^3 -careno y limoneno. En cambio Llusà y Peñuelas (2000) determinaron para esta especie como principales emisiones las de α -pineno, seguido por β -pineno, β -mirceno y los sesquiterpenos cariofileno y α -cariofileno.

En la Figura 5.3. se presentan las proporciones relativas de estos compuestos por día de muestreo para el período marzo'98 - septiembre'98. Se seleccionó esta serie de datos (un día por mes) ya que son continuos dentro y representen un ciclo de 6 meses de medición. Como se puede apreciar, existen variaciones significativas en las proporciones durante el período de medición. El mirceno y α -pineno están presentes durante todo el periodo de estudio. La emisión máxima registrada, constituida en un

80% por mirceno, fue de $14.3 \mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$ se produjo en el 03-abril-98 (día Juliano: 93) a las 16:00 hora local ($T = 26.2 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{PAR} = 333.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

En la Figura 5.4 se presenta el comportamiento de la emisión de los cuatro principales monoterpenos junto con la temperatura y la PAR en el transcurso de un día. No se observa aparentemente una relación con estas variables.

La variación entre dos días continuos utilizando la misma rama no pudo ser estudiada en este ejemplar. En cambio se pudo comparar la variación interanual entre dos días de muestreo del año 98 y 99. El día 23-julio-98 se obtuvo una emisión total de $1.61 \pm 0.93 \mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$, mientras que el 23-julio-99 la emisión total fue de $1.77 \pm 0.77 \mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$ la variación entre ambos niveles de emisión fue de 9.5 % (CV). La variación en la composición fue significativa, ya que el 23-julio-98 solamente se cuantificaron α -pineno y mirceno, mientras que el 23-julio-99 además de estos dos compuestos se cuantificó el linalol y el trans-ocimeno. Posiblemente debido a la diferencia en las condiciones ambientales, como se puede observar en la Tabla 5.1 el nivel de temperatura entre ambos días fue muy similar, a diferencia del nivel de PAR que fue superior el día 23-julio-99.

También se comparó, los niveles de emisión entre dos ramas del mismo ejemplar medidas en forma simultánea. Para esto se utilizaron dos cámaras de encerramiento, una de 60 litros (utilizada hasta la fecha), y una nueva cámara de menor volumen (16 litros). El tiempo de residencia en ambas cámaras fue de 5 minutos, la cantidad de biomasa fue diferente ya que se tomó una cantidad proporcional al volumen respectivo de la cámara (ver Tabla 5.1). Esta experiencia fue realizada el 24-julio-00, los resultados obtenidos para la emisión total fueron de: $10.24 \pm 3.82 \mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$ (rama 1) y $12.39 \pm 7.35 \mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$, la variación en el nivel de emisión fue de 19 % (CV). Se obtuvo idéntica composición en la emisión en ambas ramas, siendo cuantificados en orden de importancia: linalol, mirceno, sabineno, *trans*-ocimeno, y α -pineno.

En cuanto a la influencia de las variables ambientales en el comportamiento de la emisión, a simple vista se pudo observar que los incrementos en emisión no han correspondido con los incrementos en la temperatura y la PAR, por el contrario se han observado niveles de emisión máximos al final del día cuando los niveles de estas son inferiores.

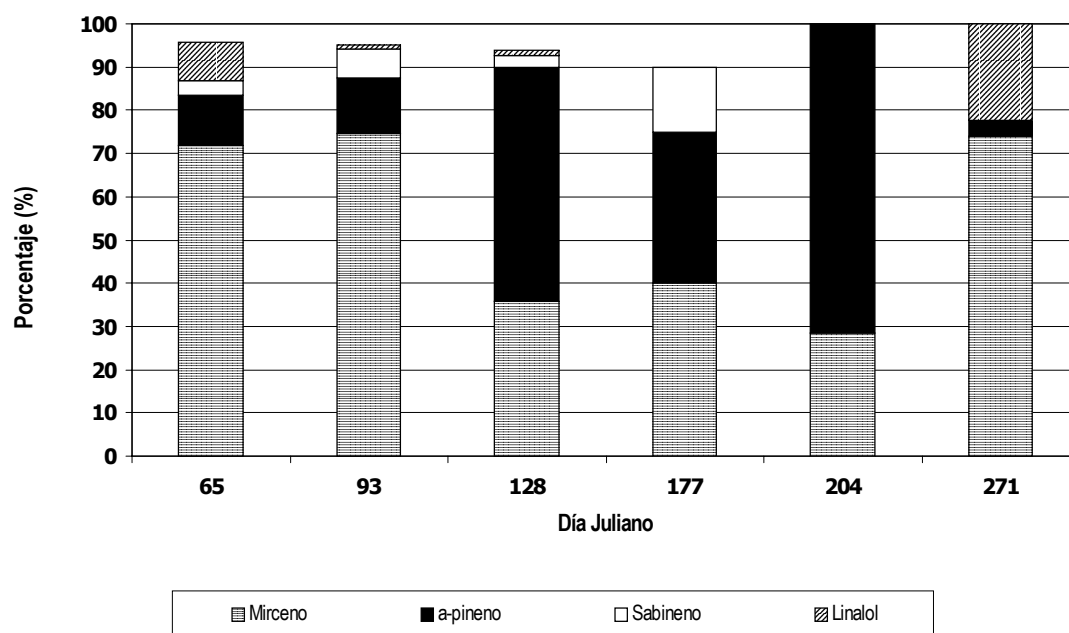


Figura 5.3. Proporción relativa (% de la emisión total) de los principales cuatro compuestos monoterpenicos para el *Pinus halepensis*.

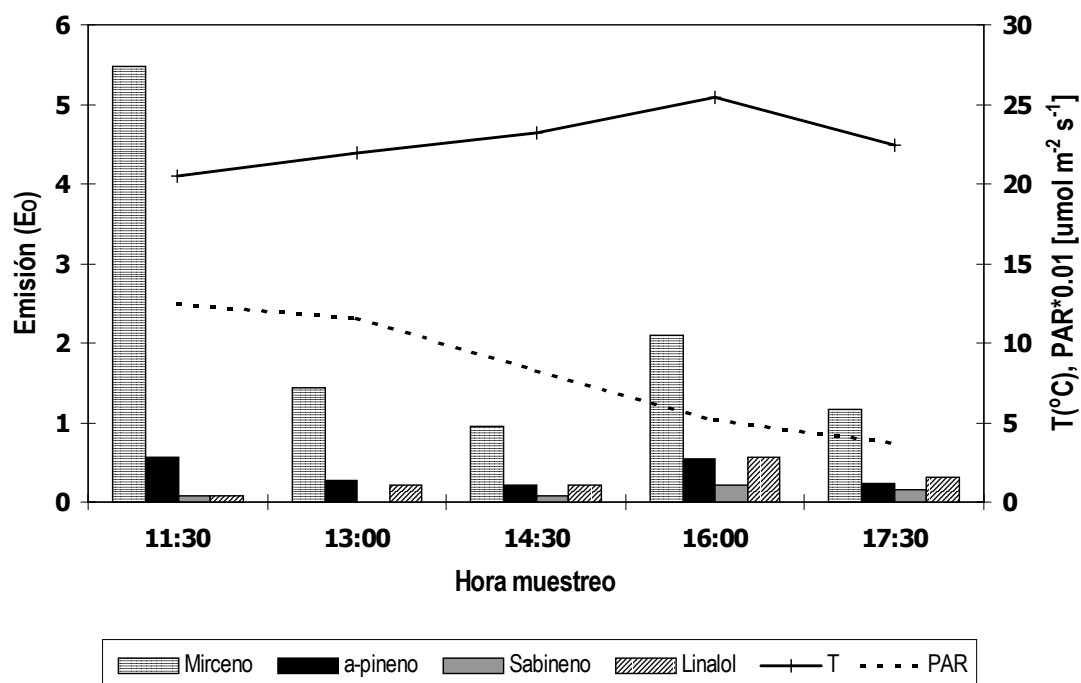


Figura 5.4. Emisión observada (E_0 ; $\mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$) para los cuatro principales compuestos del *Pinus halepensis*, durante un día de muestreo (06-03-98).

5.2.4. *Quercus ilex*

El *Quercus ilex* es una especie esclerófila de hoja perenne y de gran abundancia dentro de la vegetación termófila de la cuenca mediterránea. Es considerada como un fuerte emisor de monoterpenos (Staudt y Seufert, 1995; Kesselmeier *et al.*, 1996; Bertin *et al.*, 1997; Staudt *et al.*, 1997), a pesar de no poseer depósitos especiales donde se puedan almacenar estos compuestos (Seufert *et al.*, 1995). Su emisión ha sido reportada como dependiente de la luz para períodos cortos (Staudt *et al.*, 1993; Seufert *et al.*, 1995).

Quince compuestos monoterpénicos fueron identificados durante el período de estudio, en las emisiones de un ejemplar de aproximadamente treinta años. El α -pineno, β -pineno, mirceno y sabineno son en este orden de importancia los principales compuestos emitidos por esta especie y constituyen más del 80% del total de las emisiones. Esto es comparable con la proporción reportada para esta especie por Street *et al.*, (1997) Bertin *et al.* (1997) y Staudt y Seufert (1995), quienes encontraron que el α -pineno, sabineno y β -pineno juntos contribuyen con más del 80% de la emisión en esta especie.

Estos cuatro compuestos fueron detectados durante todo el período de medición. En la Figura 5.5 se muestran las proporciones relativas de los cuatro compuestos principales con respecto al total de la emisión (suma de monoterpenos) por día de muestreo. Como se puede observar las proporciones se mantienen constantes durante el período de medición: α -pineno (~30-35%), β -pineno (~30%), mirceno (~15-20%) y sabineno (~10-15%). Sin embargo, en diciembre de 1997 (días Julianos: 346 y 349) solamente las emisiones de α -pineno y β -pineno fueron detectadas, posiblemente debido a los bajos valores de temperatura y PAR que se registraron (ver Tabla 5.1).

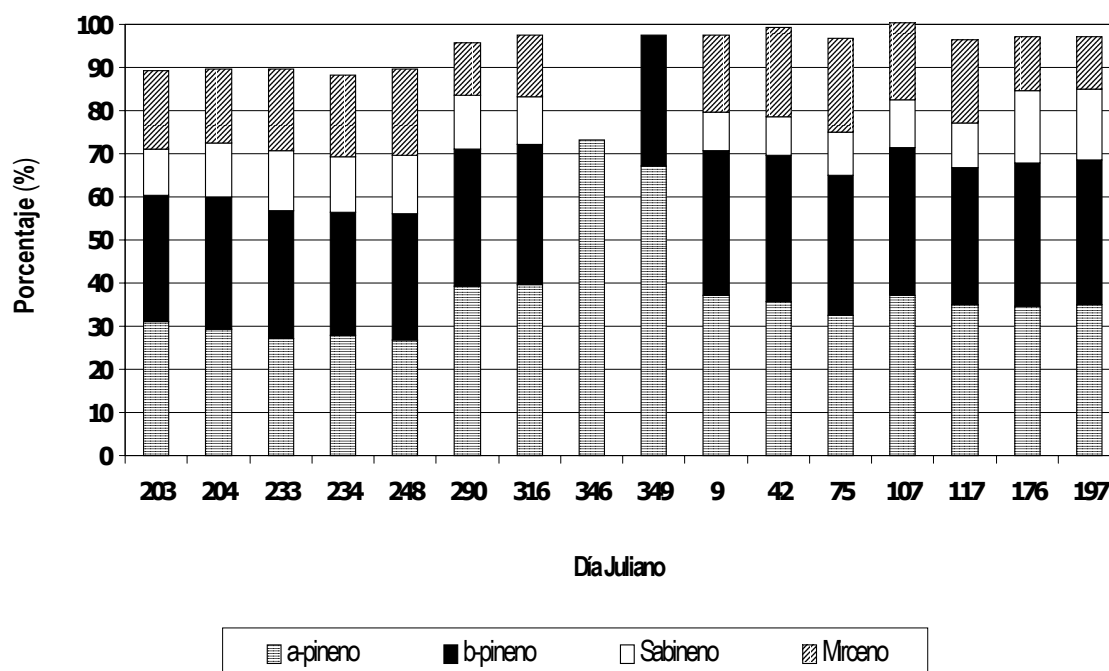


Figura 5.5. Proporción relativa (% de la emisión total) de los principales cuatro compuestos monoterpénicos para el *Quercus ilex*.

Se encontraron niveles inferiores de emisión para α -tujeno, α -felandreno, camfeno, α -terpineol y terpinoleno. A diferencia de con otros estudios (p.e., Owen *et al.*, 1997 o Street *et al.*, 1997) el 1,8-cineol no se detectó en ninguna de las muestras.

El curso de las emisiones de los cuatro principales compuestos durante dos días consecutivos de muestreo (Día 1: 21-07-97 y Día 2: 22-07-97) se muestran en la Figura 5.6. En ambos días las emisiones alcanzan un máximo, en forma simultánea para los cuatro compuestos, entre las 13:00 y las 14:00 horas y disminuyen a partir de las 16:00, aunque las proporciones relativas permanecen estables durante el día.

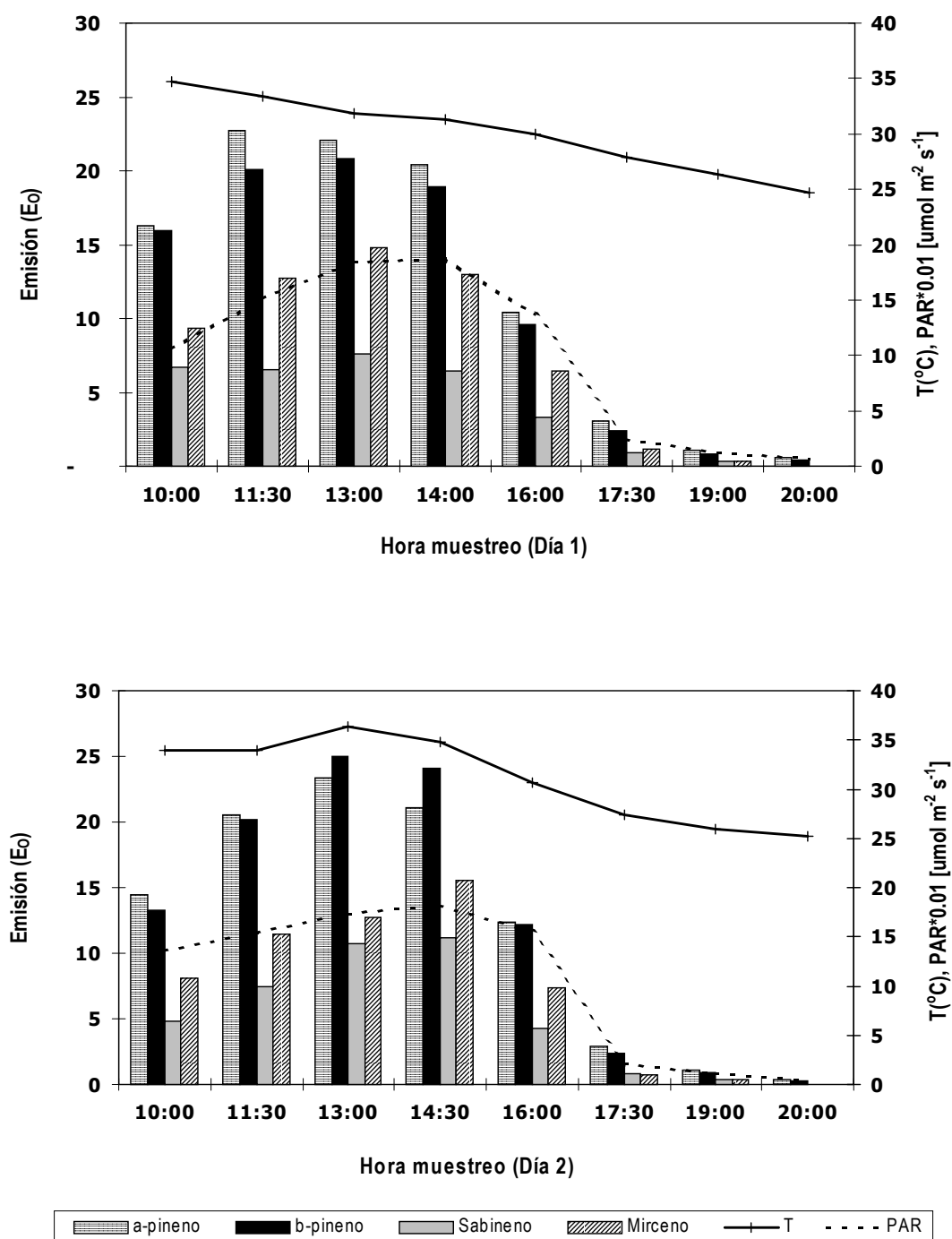


Figura 5.6. Emisión observada (E_0 ; $\mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$) para los cuatro principales compuestos del *Quercus ilex*, durante dos días de muestreo. Día 1 (22-07-97) y Día 2 (23-07-97).

Tabla 5.4. Niveles de emisión observados (E_0) en una rama de *Quercus ilex* en dos días consecutivos de muestreo. Día 1 (22-07-97) y Día 2 (23-07-97)

Emisión observada $\mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$					
Compuestos	Día 1		Día 2		% Variación entre medias
	Media \pm SD ^a	CV ^b	Media \pm SD ^a	CV ^b	
α -Pino	12.54 \pm 9.05	72.2	12.02 \pm 9.47	78.8	4.2
β -Pino	11.66 \pm 8.51	72.9	12.28 \pm 10.25	83.5	5.2
Sabineno	4.82 \pm 2.88	59.8	5.67 \pm 4.36	76.9	16.3
Mirceno	8.39 \pm 5.46	65.0	8.05 \pm 5.81	72.2	4.1
Limoneno	1.65 \pm 0.76	46.1	1.50 \pm 1.07	71.3	9.5
Camfeno	0.30 \pm 0.08	26.7	0.27 \pm 0.07	25.9	10.6
β -felandreno	1.31 \pm 0.50	38.2	1.53 \pm 0.52	33.9	15.6
Σ monoterpenos (E_0)	40.25 \pm 29.88	74.2	40.46 \pm 33.88	83.7	0.5
Temperatura	30.50 \pm 3.60	11.8	31.00 \pm 4.4	14.2	1.6
PAR	1014.50 \pm 713.40	70.3	1045.20 \pm 779.30	74.5	3.0

^a SD = desviación estándar

^b CV = coeficiente de variación (%)

Además de esto se puede observar en ambos días, la marcada influencia que ejerce la luz (PAR) en el comportamiento de la emisión. El nivel de temperatura es casi estable durante el día, ya que es la temperatura medida en el interior de la cámara que fue mantenida homogeneizando el aire. Mientras que el descenso en la PAR es lógico ya que se toman las muestras hasta la puesta del sol. Como se puede observar en la Tabla 5.4, la variación del nivel de emisión en un solo día es significativo ($CV \geq 60\%$), y análogo a la variación experimentado por la PAR ($CV \geq 70\%$), mientras que en la temperatura no es tan significativo ($CV \geq 10\%$).

La variabilidad en la emisión entre dos días consecutivos de muestreo fue estudiada comparando las medias de la emisión, como se muestra en la Tabla 5.4. Como se puede observar, para los compuestos principales la variación no es significativa ($\leq 10\%$). Esto podría ser debido a que las condiciones de temperatura y PAR entre ambos días se mantuvieron estables.

Con respecto al nivel de emisión total (suma de monoterpenos) entre ambos días, a pesar de la variabilidad observada en el transcurso de cada día ($\geq 70\%$), no existió diferencia en el nivel reportado en un día con respecto al otro.

La emisión máxima encontrada en el presente estudio para la emisión total fue de $131.6 \mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$ y se registró el 21 agosto de 1997 a las 14:30 hora local ($T = 35.4 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{PAR} = 1047 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Más del 90% de esta emisión lo constituían: β -pineno (30%), α -pineno (26%), sabineno (16.5%) y mirceno (19 %). El 10% restante estaba constituido por varios compuestos en pequeñas cantidades.

5.3. VARIACIÓN INTRAESPECIE

El estudio de la variación intraespecie, consistió en comparar la composición y cantidad de los niveles de emisión entre dos ejemplares de la misma especie. Para ello fue necesario utilizar dos cámaras de encerramiento, una de un volumen de 60 l y la otra con volumen inferior de 16 l. La diferencia entre el volumen de las dos cámaras se debió a que se evaluó reducir el tiempo de residencia en el muestreo utilizando una cámara de menor volumen para ver si con un tiempo de residencia menor (2-3 minutos) se podría captar una mayor cantidad de compuestos, otros autores han utilizado tiempos de residencia dentro de este rango por ejemplo; Janson (1992) utilizó 2.2 minutos y Kesselmeier *et al.* (1996) utilizaron 3.3 minutos.

Para estudiar el nivel de emisión con ambas cámaras en condiciones análogas, sin tener problemas de condensación del aire, ni de un excesivo caudal que pudiera provocar la dispersión de los compuestos, se logró establecer un tiempo de residencia de 3.2 minutos en ambas cámaras.

Tabla 5.5. Comparación del nivel de emisión entre dos ejemplares de *Pinus halepensis*. Ejemplar 1: Cámara V= 60 l; Ejemplar 2: Cámara V= 16 l.

Compuesto	Ejemplar	n	Media ± SD
α-pineno	1	4	4.67 ± 5.68
	2	4	0.76 ± 0.21
Sabineno	1	4	1.25 ± 0.17
	2	4	1.58 ± 0.47
Mirceno	1	4	7.09 ± 4.28
	2	4	4.59 ± 1.12
Δ ³ -Careno	1	1	0.67
	2	4	0.56 ± 0.23
<i>trans</i> -ocimeno	1	4	4.59 ± 2.42
	2	4	11.18 ± 3.76
Linalol	1	4	13.46 ± 1.19
	2	4	8.20 ± 2.08
Σ monoterpenos	1	4	28.94 ± 9.18
	2	4	27.00 ± 7.95

La comparación de las emisiones medias entre ambos ejemplares se hizo mediante la prueba estadística T-student (SPSS 9.0.1; SPSS Inc., 1989-1999) para muestras independientes, donde se contrasta la homogeneidad de las varianzas ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$; hipótesis nula) mediante la prueba de Levene.

Se comparó el nivel de emisión entre dos ejemplares de *Pinus pinea*, uno maduro (≈ 20 años; ejemplar 1) y uno joven (≈ 10 años; ejemplar 2). A pesar de esta diferencia, solamente se cuantificó la emisión de limoneno en estos dos ejemplares con una emisión media de $0.69 \pm 0.1 \mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$ ($n = 3$) para el ejemplar 1 y $0.53 \pm 0.07 \mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$ ($n = 3$) para el ejemplar 2. Los niveles de emisión medio entre estos dos ejemplares no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$). Esta medición se realizó el 17-11-2000 en las siguientes condiciones ambientales: Temperatura cámara = $12.2 \pm 1.13 \text{ }^\circ\text{C}$ y PAR = $39.8 \pm 18.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Tabla 5.6. Comparación del nivel de emisión entre dos ejemplares de *Quercus ilex*. Ejemplar 1: Cámara V= 16 l; Ejemplar 2: Cámara V= 60 l.

Compuesto	Ejemplar	n	Media \pm SD
α -Pineno	1	4	0.04 \pm 0.05
	2	4	0.33 \pm 0.22
Sabineno	1	4	0.04 \pm 0.07
	2	4	0.27 \pm 0.17
β -pineno	1	4	0.04 \pm 0.03
	2	4	0.23 \pm 0.16
Mirceno	1	4	0.02 \pm 0.03
	2	4	0.10 \pm 0.07
Limoneno	1	4	0.18 \pm 0.22
	2	4	0.02 \pm 0.01
Σ monoterpenos	1	4	0.32 \pm 0.40
	2	4	0.94 \pm 0.63

Para el *Pinus halepensis*, se estudió la variación en la emisión entre dos ejemplares con similares condiciones físicas (\approx 20 años). Los resultados en la Tabla 5.5 muestran que la composición de la emisión en estos dos ejemplares fue análoga, estando constituida por los siguientes compuestos: α -pineno, sabineno, mirceno, Δ^3 -careno, *trans*-ocimeno y linalol. Solamente para el α -pineno el contraste del nivel de emisión media mostró que son estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Se comparó el nivel de emisión media entre dos ejemplares jóvenes (\approx 20 años) de *Quercus ilex*, el día 30-10-2000. Los compuestos cuantificados en ambos ejemplares fueron el α -pineno, sabineno, β -pineno, mirceno y limoneno. De estos compuestos solamente la emisión media del limoneno fue significativamente diferente ($p < 0.05$) entre los dos ejemplares.

5.4. FACTORES DE EMISIÓN ESTÁNDAR

Para desarrollar los inventarios de emisión, se hace uso de los factores de emisión en condiciones estándar. Actualmente para la estandarización se utilizan los modelos mecanicistas globales para período corto ("short term"), establecidos por Tingey *et al.*, (1980) y Guenther *et al.*, (1993).

En el presente trabajo, los factores de emisión experimentales fueron ajustados a condiciones estándar utilizando estos modelos, por lo cual a continuación se hace una descripción de ellos y posteriormente se presentan los factores de emisión estándar junto con los reportados en la literatura.

5.4.1. Modelos para períodos cortos ("short term")

La respuesta para periodos cortos a la luz y la temperatura ("short term") se ha estudiado extensivamente para muchas plantas y compuestos, y ha sido descrita en muchos modelos matemáticos (Tingey *et al.*, 1980; Guenther *et al.*, 1991; Schuh *et al.*, 1997; Staudt y Bertin, 1998).

Debido a muchas observaciones experimentales y diversas hipótesis referentes al control de las emisiones de isoprenoides en las plantas, en los modelos actuales, la influencia de los factores ambientales es presentada a corto plazo (short term) como: a) una respuesta positiva de las emisiones de isopreno y monoterpenos a la temperatura, y b) solamente la emisión de isopreno presenta una respuesta positiva a la luz.

5.4.1.1. Modelo de la temperatura (Tingey et al., 1980)

Como se ha descrito anteriormente, en la familia *Pinacea* los monoterpenos son producidos en las células epiteliales circundantes a los canales de resina donde se almacenan estos compuestos (Bernard-Dagan, 1988). Estos depósitos son lo suficientemente grandes comparados con el nivel de emisión (Schindler y Kotzias, 1989; Jüttner, 1991; Lerdau *et al.*, 1994) y constituyen una fuente permanente de emisión en la hoja. Por lo tanto, se asume que la emisión de monoterpenos es producto principalmente de la volatilización que se produce de estos órganos de depósito, y así sólo se consideran los efectos de la temperatura sobre la presión de vapor del gas contenido en el tejido de la planta y la resistencia de transporte a lo largo del paso de difusión (Tingey, Turner y Weber 1991; Simon *et al.*, 1994; Monson *et al.* 1995)

El modelo propuesto por Tingey *et al.* (1980) para las emisiones de monoterpenos provenientes del pino no considera una influencia de la luz en periodos, sino que asume que la emisión es una volatilización de los monoterpenos provenientes de los órganos de depósito de la hoja que se incrementa en forma exponencial con la temperatura. Se describe de la siguiente manera:

$$E = E_s * \exp[\beta * (T - T_s)] \quad [5.1]$$

donde E es la emisión medida a temperatura T, β es la pendiente de la relación $\ln E/dT$, y E_s la emisión a temperatura estándar. Los valores de la pendiente reportados en la literatura están en el rango de 0.057 y 0.144 K⁻¹, aunque se acepta generalmente el valor medio de 0.09 K⁻¹ (Guenther *et al.*, 1993).

5.4.1.2. Modelo de la luz y temperatura (Guenther *et al.*, 1993)

A diferencia de los monoterpenos, se ha demostrado que la emisión de isopreno es dependiente de la luz y la temperatura. Esto es debido a que hasta la fecha no se han encontrado depósitos importantes de isopreno en plantas emisoras de isopreno y se ha demostrado que la emisión es consecuente con la biosíntesis del isopreno (Staudt y Bertin, 1998). Asimismo, la dependencia de la luz por la emisión de isopreno se atribuye a la necesidad de que se produzcan algunos productos foto-dependientes que son necesarios para la biosíntesis del isopreno (Monson, Guenther y Fall 1991; Loreto y Sharkey 1993).

En cambio, la dependencia a la temperatura por la emisión podría ser resultado de la dependencia a ésta por la isopreno-sintetasa, una enzima cloroplástica que produce finalmente el isopreno a partir del Dimetilalil-difosfato (DMAPP) (Monson *et al.*, 1992; Silver y Fall, 1995; Schnitzler *et al.*, 1996).

Como no existen depósitos de isopreno, la síntesis y, por lo tanto, la emisión disminuyen en pocos minutos bajo condiciones de oscuridad (Tingey *et al.*, 1981, Evans *et al.*, 1985; Guenther *et al.*, 1991; Sanadze, 1991; Sharkey *et al.*, 1991; Monson *et al.*, 1991).

Tomando en cuenta lo anterior, Guenther *et al.* (1993) desarrollaron un modelo para simular la respuesta en periodos cortos de la emisión de isopreno a la luz (L) y a la temperatura (T), basándose en el supuesto de que la emisión está directamente relacionada con la síntesis que se lleva a cabo en el tejido mesófilo de la hoja. La descripción matemática, de uso generalizado, del modelo es la siguiente:

$$E = E_s * C_L * C_T \quad [5.2]$$

donde E es la emisión medida y E_S el factor de emisión en condiciones estándar ($T=30^\circ\text{C}$ y $\text{PAR}= 1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). C_L y C_T son función de la temperatura y la PAR expresadas de la manera siguiente:

$$C_L = \frac{\alpha \cdot C_{L1} \cdot L}{\sqrt{1 + \alpha^2 \cdot L^2}} \quad [5.3]$$

$$C_T = \frac{\exp(C_{T1}(T - T_S) / RT_S T)}{1 + \exp(C_{T2}(T - T_M) / RT_S T)} \quad [5.4]$$

siendo T la temperatura ambiental en K, L el flujo de PAR en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, R la constante de los gases ideales ($= 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$), T_S la temperatura estándar ($= 303 \text{ K}$) y el resto coeficientes empíricos: $\alpha = 0.0027$, $C_{L1} = 1.066$, $C_{T1} = 95000 \text{ J mol}^{-1}$, $C_{T2} = 230000 \text{ J mol}^{-1}$ y $T_M = 314 \text{ K}$.

Este modelo pronostica un incremento asintótico de la emisión con la luz y un incremento exponencial con la temperatura hasta un óptimo alrededor de los 41°C , por encima del cual las emisiones disminuyen.

Los parámetros anteriores sugeridos por Guenther y colaboradores han sido confirmados en muchos otros estudios (p.e., Guenther *et al.*, 1996; Fulten *et al.*, 1998). Sin embargo, existe evidencia de que las respuestas a la luz y la temperatura, así como los valores propuestos para los parámetros difieren entre las especies de plantas y aún pueden variar entre hojas expuestas a la sombra y/o la luz dentro de la misma copa del árbol (Tingey *et al.*, 1987; Monson *et al.*, 1992; Lerdau y Keller, 1997; Harley *et al.*, 1996, 1997; Sharkey *et al.*, 1996). Además investigaciones recientes hechas por Singsaas y Sharkey (1997) enfatizan que la respuesta a la temperatura de las emisiones de isopreno depende del nivel de incremento de temperatura aplicado en los experimentos.

Para un mejor pronóstico, Schuh *et al.* (1997) sugieren un modelo para la emisión en girasol (*Helianthus annuus* L.) y haya (*Fagus sylvatica* L.) que combina el algoritmo no dependiente de la luz (Tingey *et al.*, 1980) para los monoterpenos que son producidos

por los órganos de depósito, junto con el algoritmo del isopreno dependiente de la temperatura (Guenther *et al.*, 1993) con una ligera modificación de este último.

5.4.2. *Pinus pinea*

Las emisiones medidas experimentalmente para esta especie fueron ajustadas a condiciones estándar ($T=30\text{ }^{\circ}\text{C}$) utilizando el modelo T80 (Ec. 5.1) con el objetivo de minimizar los efectos de la temperatura y la variabilidad de las emisiones, así como también comparar estos valores con los reportados en la literatura.

A pesar de que para algunos compuestos se ha observado la influencia de la luz y la temperatura en el comportamiento de la emisión, en la literatura se reportan las emisiones de esta especie normalizadas sólo con respecto a la temperatura (Street *et al.*, 1997). En el capítulo 6 se discute si este modelo es apropiado para la estandarización de las emisiones.

La estandarización se realizó por cada compuesto considerando el total de datos del ciclo anual estudiado, y también para la emisión total (suma de monoterpenos). En la Tabla 5.7 se muestran los valores obtenidos. La contribución de cada uno de los compuestos se presenta como el % de emisión relativo a la suma de las emisiones medias de los compuestos listados.

Para la emisión estándar de la suma de monoterpenos se obtuvo una media de $6.5 \pm 5.4\text{ }\mu\text{g [g p.s.]}^{-1}\text{ h}^{-1}$, cuyo valor es muy cercano al reportado por Street *et al.* (1997) de $7.38 \pm 4.9\text{ }\mu\text{g [g p.s.]}^{-1}\text{ h}^{-1}$ en junio de 1993, que se presentan en la Tabla 5.10.

Tabla 5.7. Emisión estándar (E_s) de los diferentes monoterpenos cuantificados en la emisión del *Pinus pinea* (Junio '97 – Junio '98) y su contribución en porcentaje relacionado a la suma de las emisiones medias de los monoterpenos individuales.

Compuesto	n^a	Emisión media \pm SD^b ($\mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$)	% Emisión
Linalol	128	2.84 \pm 2.13	28.5
Limoneno	131	1.75 \pm 2.57	17.6
<i>trans</i> -Ocimeno	69	1.56 \pm 0.93	15.7
1,8-Cineol	41	1.79 \pm 0.85	17.9
β -Felandreno	37	0.57 \pm 0.44	5.7
Mirceno	72	0.29 \pm 0.19	2.9
α -Pino	91	0.28 \pm 0.24	2.8
α -Terpineol	79	0.20 \pm 0.11	2.0
β -Pino	9	0.22 \pm 0.10	2.2
<i>cis</i> - oxido linalol	70	0.15 \pm 0.11	1.5
Sabineno	27	0.12 \pm 0.05	1.2
<i>trans</i> - oxido linalol	26	0.07 \pm 0.04	0.7
α -Terpineno	3	0.03 \pm 0.02	0.3
γ -Terpineno	3	0.02 \pm 0.001	0.2
<i>cis</i> -Ocimeno	2	0.06 \pm 0.015	0.6
Σ monoterpenos	135	6.5 \pm 5.4	

^a n = número de datos

^b SD = desviación estándar

5.4.3. *Pinus halepensis*

Para esta especie, como no se observó una influencia clara en sus emisiones de la temperatura así como de la luz, se utilizó para su estandarización el modelo del isopreno G93 (Ec. 5.2).

Tabla 5.8. Emisión estándar (E_s) para los monoterpenos cuantificados en la emisión del *Pinus halepensis* (06/03/98 – 29/09/98) y su contribución en porcentaje absoluto relacionado al total de las emisiones medias de los monoterpenos individuales.

Compuesto	n^a	Emisión media \pm SD^b ($\mu\text{g [g p.s.]}^{-1} \text{h}^{-1}$)	% Emisión
Mirceno	24	3.6 \pm 5.9	50.1
α -Pinoeno	23	1.5 \pm 1.6	20.7
Linalol	9	0.62 \pm 0.4	8.6
Sabineno	12	0.47 \pm 0.5	6.5
β -Pinoeno	4	0.34 \pm 0.2	4.7
Δ^3 -careno	9	0.28 \pm 0.3	3.9
Limoneno	4	0.18 \pm 0.08	2.5
α -Terpineol	4	0.14 \pm 0.08	1.9
Terpinoleno	8	0.08 \pm 0.09	1.1
Σ monoterpenos	28	4.9 \pm 7.1	

^a n = número de datos

^b SD = desviación estándar

En la Tabla 5.8 se muestran los niveles de emisión estándar (E_s) tanto para los compuestos individuales como para la suma de monoterpenos. La emisión estándar de la suma de monoterpenos registra una media de $4.9 \pm 7.1 \mu\text{g [g p.s.]}^{-1} \text{h}^{-1}$. Este valor es ligeramente superior a los reportados por otros autores como se muestra en la Tabla 5.10.

5.4.4. *Quercus ilex*

Para esta especie, al estar comprobada la influencia de la temperatura y la luz en la emisión, los valores fueron ajustados a condiciones estándar utilizando el modelo del isopreno G93 (Ec. 5.2).

En la Tabla 5.9 se muestran los compuestos identificados y sus niveles estándar de emisión. La emisión total (suma de monoterpenos) tiene un valor estándar medio de $21.1 \pm 19.8 \mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$. Street *et al.* (1997) reportaron para mediciones en bosques soleados un valor de 20.0 ± 12.7 en junio de 1993 y de $27.1 \pm 17.2 \mu\text{g} [\text{g p.s.}]^{-1} \text{h}^{-1}$ para el año siguiente, mayo de 1994.

En la Tabla 5.10 se muestran los valores reportados por otros autores para el total de monoterpenos. Como se puede observar, nuestros datos se ajustan bien a los encontrados por otros autores.

Tabla 5.9. Emisión estándar (E_s) de los diferentes monoterpenos cuantificados en la emisión del *Quercus ilex* (Julio '97 – Julio '98) y su contribución en porcentaje absoluto relacionado al total de las emisiones medias de los monoterpenos individuales.

Compuesto	n^a	Emisión media \pm SD^b ($\mu\text{g [g. p.s.]}^{-1} \text{h}^{-1}$)	% Emisión
α -Pino	93	7.3 \pm 5.7	27.0
β -Pino	84	7.1 \pm 5.9	26.3
Mirceno	71	4.5 \pm 3.9	16.7
Sabineno	74	3.1 \pm 2.7	11.5
Limoneno	69	0.98 \pm 0.85	3.6
β -Felandreno	24	1.08 \pm 0.40	4.0
<i>trans</i> -Ocimeno	9	0.62 \pm 0.46	2.3
γ -Terpino	30	0.61 \pm 0.27	2.2
α -Terpino	29	0.45 \pm 0.25	1.7
α -Tujeno	20	0.29 \pm 0.09	1.0
α -Felandreno	20	0.27 \pm 0.10	1.0
Linalol	19	0.21 \pm 0.12	0.80
α -Terpineol	23	0.18 \pm 0.10	0.67
Canfeno	27	0.18 \pm 0.07	0.67
Terpinoleno	26	0.13 \pm 0.05	0.50
Σ monoterpenos	94	21.1 \pm 19.8	

^a n = número de datos

^b SD = desviación estándar

Tabla 5.10. Factores de emisión normalizados ($T = 30^{\circ}\text{C}$ y $\text{PAR} = 1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) reportados en la literatura y los encontrados en el presente estudio para las tres especies estudiadas.

Familia	Especie; nombre común	Monoterpenos [$\mu\text{g (g.p.s)}^{-1} \text{h}^{-1}$]	Referencia (#)
Pinácea	<i>Pinus pinea</i> ; pino piñonero	0.4	a
	<i>Pinus pinea</i> ; pino piñonero (primavera)	1.3	b
	<i>Pinus pinea</i> ; pino piñonero (primavera)	1.5	c
	<i>Pinus pinea</i> ; pino piñonero (primavera)	2-3.5	d
	<i>Pinus pinea</i> ; pino piñonero (verano)	7-15	d
	<i>Pinus pinea</i> ; pino piñonero	2.2-7.4	e
	<i>Pinus pinea</i> ; pino piñonero	6.5 ± 5.4	(*)
<i>Pinus halepensis</i> ; pino blanco	<i>Pinus halepensis</i> ; pino blanco	0.2	a
	<i>Pinus halepensis</i> ; pino blanco	0.5	f
	<i>Pinus halepensis</i> ; pino blanco	1.0	g
	<i>Pinus halepensis</i> ; pino blanco	2.7	h
	<i>Pinus halepensis</i> ; pino blanco	4.9 ± 7.1	(*)
Fagácea	<i>Quercus ilex</i> ; encina/ carrasca	6-58	e
	<i>Quercus ilex</i> ; encina/ carrasca	15.7	i
	<i>Quercus ilex</i> ; encina/ carrasca	16.7	b
	<i>Quercus ilex</i> ; encina/ carrasca	19.9	j
	<i>Quercus ilex</i> ; encina/ carrasca	86.1	k
	<i>Quercus ilex</i> ; encina/ carrasca	21.1 ± 19.8	(*)

(#) Referencias. **a:** Cochornoy *et al.* (1992); **b:** Kessselmeier *et al.* (1997); **c:** Pio *et al.* (1993); **d:** Staudt *et al.* (1997); **e:** Street *et al.* (1997); **f:** Winner *et al.* (1983); **g:** Staudt (1997); **h:** Benjamin y Winner (1998); **i:** Kessselmeier *et al.* (1998b); **j:** Bertin *et al.* (1997); **k:** Steinbrecher *et al.* (1997)

(*) el presente estudio

FACTORES DE EMISIÓN POR ESPECIE	5-1
5.1. Introducción	5-1
5.2. Cantidad y composición de la emisión medida.....	5-3
5.2.1. Programa de muestreo	5-3
5.2.2. <i>Pinus pinea</i>	5-7
5.2.3. <i>Pinus halepensis</i>	5-13
5.2.4. <i>Quercus ilex</i>	5-17
5.3. Variación intraespecie.....	5-21
5.4. Factores de emisión estándar.....	5-24
5.4.1. Modelos para períodos cortos ("short term")	5-24
5.4.1.1. Modelo de la temperatura (Tingey <i>et al.</i> , 1980)	5-25
5.4.1.2. Modelo de la luz y temperatura (Guenther <i>et al.</i> , 1993).....	5-26
5.4.2. <i>Pinus pinea</i>	5-28
5.4.3. <i>Pinus halepensis</i>	5-29
5.4.4. <i>Quercus ilex</i>	5-31