



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**Esta tesis doctoral contiene un índice que enlaza a cada uno de los capítulos de la misma.**

**Existen asimismo botones de retorno al índice al principio y final de cada uno de los capítulos.**

**[Ir directamente al índice](#)**

**Para una correcta visualización del texto es necesaria la versión de [Adobe Acrobat Reader 7.0](#) o posteriores**

**Aquesta tesi doctoral conté un índex que enllaça a cadascun dels capítols. Existeixen així mateix botons de retorn a l'índex al principi i final de cadascun dels capítols .**

**[Anar directament a l'índex](#)**

**Per a una correcta visualització del text és necessària la versió d' [Adobe Acrobat Reader 7.0](#) o posteriors.**



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

---

**Universidad de Alicante  
Facultad de Ciencias  
Departamento de Ecología**

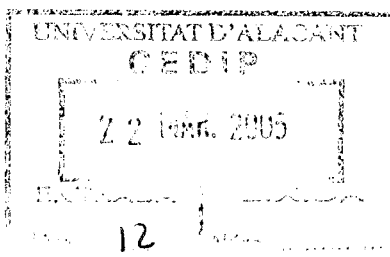
---

**BALANCE DE AGUA Y  
CARBONO EN UN ECOSISTEMA  
MEDITERRÁNEO DE COSTA**

---

**Emilio Garcia Apaza**

**Alicante, Abril, 2005**







Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Departament d'Ecologia  
Departamento de Ecología

Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## BALANCE DE AGUA Y CARBONO EN UN ECOSISTEMA MEDITERRÁNEO DE COSTA

Emilio García Apaza





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



**Universitat d'Alacant**  
**Universidad de Alicante**

Departamento de Ecología

**BALANCE DE AGUA Y CARBONO  
EN UN ECOSISTEMA MEDITERRÁNEO DE COSTA**

Memoria presentada por  
Emilio García Apaza  
para optar el grado de Doctor en Ciencias  
por la Universidad de Alicante

Los directores de la tesis,

**María José Lledó Solbes**  
Departamento de Ecología  
Universidad de Alicante

**Juan Rafael Sánchez Montahud**  
Departamento de Ecología  
Universidad de Alicante

El candidato a doctor,

**Emilio García Apaza**

Alicante, Abril 2005



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

*Martha mamaxaru, Julio tataxataki,*

*Julio, Tali wawaxanaka laiku  
Ukhamaraki Wilmaxaru*

*Jupanakawa ch'amanchapxitu  
ukhamaraki chuymachapxitu  
suma chuymampi wali yuspajarta*

## Agradecimientos

Estoy realmente muy agradecido con Dios y todas las personas que me apoyaron directa o indirectamente en la culminación de este doctorado. En el trabajo de campo, de laboratorio así como en el despacho quemando horas de trabajo.

Quiero agradecer a mis tutores, Dra. Maria José Lledó Solbes y al Dr. Juan Rafael Sánchez Montahud, por haberme apoyado, no solo en la revisión de la tesis, sino por su constante enseñanza, en materia académica, profesional, cultural, y porqué no decirlo, en lo personal.

Un reconocimiento especial al Dr. Antonio Escarré, quién guió mis primeros pasos en el Departamento de Ecología.

Un especial agradecimiento a mis hijos Julio y Talí, quienes a su corta edad, supieron tolerar mi ausencia de casa. A mi esposa a quién le agradezco su infinita paciencia y comprensión.

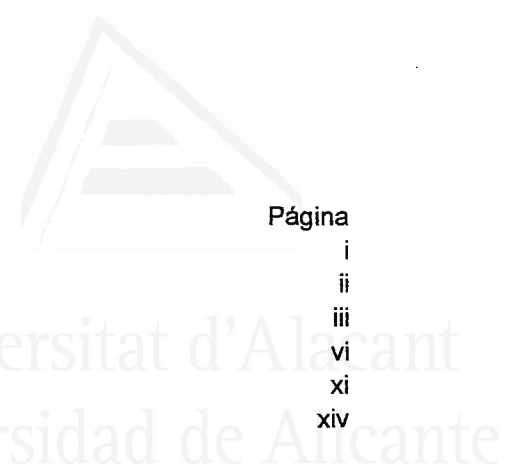
Muchos pero muchos agradecimientos al todo el personal del Departamento de Ecología, al Dr. Juan Bellot Abad, Dr. Esteban Chirino, Dr. Andreu Bonet, Dr. Jordi Cortina, Dr. Eduardo Seva, Dr. Antonio Pastor, Dr. Joaquín Martín por toda su amistad y consejo.

Gracias de corazón a Marina, Adela, Alberto por haberme soportado estos años y compartido el despacho que nos vio nacer en el doctorado.

Mi reconocimiento al personal del vivero de la Generalitat Valenciana ubicado en el pinar de Guardamar del Segura, en especial a "Merche", con quienes compartí no solo información de interés a la investigación sino su sincera y desinteresada amistad.

Agradecimiento cordial y sincero a la Universidad de Alicante, Unidad de Relaciones Internacionales, Unidad de Cooperación al Desarrollo, al Proyecto "Los pinares costeros y la vegetación psamofítica: análisis de sus procesos hidrológicos y propuesta de integración en una restauración en mosaico" financiado por el CEAM, y el proyecto "Estudio y manejo del ciclo hidrológico en pinares" (CTIDIB/2002/163) financiado por la Generalitat Valenciana sin cuyo apoyo económico no hubiera sido posible llevar a cabo los estudios del doctorado.

Un recuerdo especial a los becarios en la Universidad de Alicante, a: David Ramírez, David Fuentes, Ángeles García, Juan Peña, Rosario López, Eulogio Abezo, José Antonio Lahiguera, Luis Fernando Romero, por su sincera y amena amistad.



**Tabla de contenidos**

	Página
<i>Dedicatoria</i>	i
<i>Agradecimientos</i>	ii
<i>Tabla de contenidos</i>	iii
<i>Lista de figuras</i>	vi
<i>Lista de tablas</i>	xi
<i>Lista de términos utilizados en el texto</i>	xiv

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	<b>3</b>
1.1.	<b>Estructuración de la tesis, hipótesis y objetivos de la tesis</b>	3
1.2.	<b>Antecedentes de balances de aguas y carbono</b>	4
1.3.	<b>Zona de estudio</b>	7
1.3.1.	<i>Climatología</i>	7
1.3.2.	<i>Geología</i>	12
1.3.3.	<i>Vegetación dunar</i>	13
1.3.4.	<i>Descripción de las especies de estudio</i>	14
1.3.5.	<i>Trabajos de repoblación en Guardamar del Segura</i>	17
1.4.	<b>El ecosistema dunar de Guardamar del Segura</b>	18
1.4.1.	<i>Formación u origen de las dunas</i>	18
1.4.2.	<i>Características de movilidad e inmovilidad</i>	18
1.4.3.	<i>Vegetación característica del sistema dunar</i>	19
1.5.	<b>Referencias</b>	20

<b>2.</b>	<b>RESPUESTA DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR A LA VARIABILIDAD ESTACIONAL Y ESPACIAL EN EL PINAR DE GUARDAMAR DEL SEGURA</b>	<b>25</b>
2.1.	<b>Resumen</b>	25
2.2.	<b>Introducción</b>	26
2.2.1.	<i>Estructura de la cubierta vegetal</i>	26
2.2.2.	<i>Definición del índice de área foliar</i>	27
2.2.3.	<i>Procedimientos para medir el LAI</i>	28
2.2.4.	<i>El LAI en la dinámica estacional</i>	31
2.2.5.	<i>Hipótesis y objetivos</i>	33
2.3.	<b>Materiales y métodos</b>	34
2.3.1.	<i>Localización</i>	34
2.3.2.	<i>Estimaciones y procedimiento de medición</i>	34
2.3.3.	<i>Metodología</i>	36
2.4.	<b>Resultados</b>	41
2.4.1.	<i>Resultados LAI-2000 y Ceptómetro</i>	41
2.4.2.	<i>Caída de hojas</i>	42
2.4.3.	<i>Comparación de resultados en diferentes estaciones</i>	44
2.4.4.	<i>Resultados del LAI en diferentes espacios</i>	46
2.4.5.	<i>Relación del LAI y la topografía de las dunas</i>	47



2.5.	<b>Discusión</b>	51
2.5.1.	<i>Comparación del LAI-2000 y el Ceptómetro</i>	51
2.5.2.	<i>Caída de hojas</i>	55
2.5.3.	<i>El LAI en diferentes estaciones</i>	56
2.5.4.	<i>Resultados del LAI en diferentes espacios</i>	60
2.5.4.	<i>Relación del LAI y la topografía de las dunas</i>	61
2.6.	<b>Conclusiones</b>	63
2.7.	<b>Referencias</b>	64
3.	<b>BALANCE DE AGUAS EN EL PINAR DE GUARDAMAR DEL SEGURA: RESPUESTA ESTACIONAL</b>	73
3.1.	<b>Resumen</b>	73
3.2.	<b>Introducción</b>	74
3.2.1.	<i>Cuadro general</i>	74
3.2.2.	<i>El balance de aguas</i>	74
3.2.3.	<i>Dinámica del agua en la vegetación</i>	77
3.2.4.	<i>Relación del balance de aguas con el LAI y el balance de carbono</i>	78
3.2.5.	<i>Hipótesis y objetivos</i>	79
3.3.	<b>Materiales y métodos</b>	80
3.3.1.	<i>Localización</i>	80
3.3.2.	<i>Metodología</i>	83
3.4.	<b>Resultados</b>	97
3.4.1.	<i>Precipitación</i>	97
3.4.2.	<i>Rocío y capilaridad</i>	100
3.4.3.	<i>Dinámica de agua en la vegetación</i>	102
3.4.4.	<i>Almacenamiento de agua en el perfil del suelo</i>	112
3.4.5.	<i>Transpiración</i>	123
3.4.6.	<i>Balance general</i>	133
3.5.	<b>Discusión</b>	135
3.5.1.	<i>Precipitación</i>	135
3.5.2.	<i>Rocío y capilaridad</i>	135
3.5.3.	<i>Dinámica de agua en la vegetación</i>	137
3.5.4.	<i>Almacenamiento de agua en el perfil del suelo</i>	144
3.5.5.	<i>Transpiración y evapotranspiración real</i>	147
3.5.6.	<i>Balance general</i>	148
3.6.	<b>Conclusiones</b>	151
3.7.	<b>Referencias</b>	155

	<b>Página</b>
<b>4. BALANCE DE CARBONO EN ÁRBOLES DE <i>P. halepensis</i> Miller Y <i>P. pinea</i> L. EN EL PINAR DE GUARDAMAR DEL SEGURA</b>	<b>167</b>
4.1. <b>Resumen</b>	167
4.2. <b>Introducción</b>	168
4.2.1. <i>El Carbono como parte de la naturaleza</i>	168
4.2.2. <i>El proceso de asimilación de CO<sub>2</sub></i>	168
4.2.3. <i>Biomasa almacenada</i>	169
4.2.4. <i>Estimación del balance de carbono en el ecosistema</i>	170
4.2.5. <i>Reserva de carbono en el pinar de Guardamar del Segura</i>	172
4.2.6. <i>Hipótesis y objetivos</i>	174
4.3. <b>Materiales y métodos</b>	175
4.3.1. <i>Localización</i>	175
4.3.2. <i>Metodología</i>	177
4.4. <b>Resultados</b>	189
4.4.1. <i>Asimilación de CO<sub>2</sub> (fotosíntesis): Medición del intercambio de CO<sub>2</sub> en acículas</i>	189
4.4.2. <i>Medición de la respiración del suelo</i>	195
4.4.3. <i>Estimación de la biomasa</i>	203
4.4.4. <i>Carbono en el pinar de Guardamar del Segura</i>	212
4.4.5. <i>Balance de carbono general</i>	218
4.5. <b>Discusión</b>	219
4.5.1. <i>Asimilación de CO<sub>2</sub> (fotosíntesis): Medición del intercambio de CO<sub>2</sub> en acículas</i>	219
4.5.2. <i>Respiración del suelo</i>	222
4.5.3. <i>Estimación de la biomasa</i>	224
4.5.4. <i>Estimaciones para el balance de carbono</i>	232
4.6. <b>Conclusiones</b>	236
4.7. <b>Referencias</b>	237
<b>5. CONSIDERACIONES FINALES</b>	<b>251</b>
<b>6. CONCLUSIONES GENERALES</b>	<b>259</b>
<b>7. ANEXOS</b>	<b>261</b>

## Lista de figuras

Figura No.		Pág.
1	Relación precipitación media mensual (P), temperatura media mensual, evapotranspiración (ETP), humedad relativa y evaporación (Ev) para la zona de Guardamar del Segura; promedio del periodo comprendido entre 1961 y 1990.	8
2	Visualización esquemática del índice de área foliar (LAI) de un individuo de <i>Pinus pinea</i> L. Nótese la proyección de la sombra de la copa del árbol sobre el suelo.	28
3	Recorrido estacional teórico del LAI	32
4	ituación del transecto imaginario donde se estudió el LAI en la pinada de Guardamar del Segura con respecto al río y su desembocadura, y la posición geográfica en España	35
5	(a) Aparato utilizado en la medición del LAI (LAI2000). (b) Esquematación del visor del LAI en la medición de un grupo de árboles.	36
6	Trampa de recojo de hojarasca en <i>Pinus pinea</i> L.	40
7	Correlación del índice de área foliar obtenido en forma destructiva (LAI <sub>d</sub> ) y el LAI obtenido y corregido con el LAI-2000 y el Ceptómetro medidos en la parcela de experimentación de Guardamar del Segura	41
8	Relación del ángulo cenit con (a) el coeficiente de transmisión de la luz (b) y el coeficiente de extinción k, y la precipitación con (c) el índice de área del total de la planta (PAI) y (d) el índice de área foliar (LAI).	42
9	Relación de la caída de hojas con el índice de área foliar (LAI) en dos periodos y dos especies. ●: <i>P. pinea</i> L. año 2002; ▼: <i>P. halepensis</i> Miller año 2002; ○: <i>P. pinea</i> L. año 2003; ▽: <i>P. halepensis</i> Miller año 2003. AC= Acículas.	43
10	Relación del diámetro altura pecho con (a) el índice de área foliar (LAI) y (b) el área proyectada de los principales componentes de la copa del árbol para ambas especies.	44
11	LAI promedio a lo largo del cuadrante transversal imaginario de la pinada de Guardamar del Segura. Prim2002 = Primavera 2002, Vera2002 = Verano 2002, Prim2003 = Primavera 2003, Vera2003 = Verano 2003. Las barras muestran las desviaciones estándares de una línea de 6 puntos perpendicular al cuadrante	45
12	Variación del índice de área foliar (LAI) medidos en un cuadrante imaginario en diferentes estaciones: (a) Primavera 2002, (b) verano 2002, (c) primavera 2003, (d) verano 2003 en Guardamar del Segura (Alicante). La barra de escalas muestra la variación del LAI: 0=sin cobertura y 10=Máximo LAI	47
13	Relación del índice de área foliar (LAI) y la altitud dunar en diferentes estaciones: (a) Primavera 2002, (b) verano 2002, (c) primavera 2003, (d) verano 2003 en Guardamar del Segura (Alicante).	48
14	(a) Vista de altitudes de la situación topográfica en las dunas; (b) ubicación del LAI en referencia a la posición geográfica en las dunas. La barra de escalas muestra la variación de la (i) altitud: 0 = hondonada y 10 = Pico de duna; (ii) LAI: 0=sin cobertura y 10=Máximo LAI.	49

Figura No.		Pág.
15	Esquema del balance de aguas en un ecosistema dunar	76
16	Ubicación espacial de las especies y los pluviómetros para efectos de monitoreo de la dinámica de aguas en la parcela de Guardamar.	80
17	Esquema de las estructuras (rociómetros) utilizadas en la medición del rocío	17
18	Localización de los pluviómetros para la toma de muestras de trascolación	84
19	Disposición de los recipientes y el dispositivo de recolección de agua de la escorrentía cortical	85
20	Instrumentos utilizados para el muestreo de suelos	89
21	Posición de la recolección de muestras de suelo en el transecto con respecto a un árbol	89
22	Esquema del sensor del sapflow32 mostrando el balance de energías	91
23	Posición de los sensores de medición de flujo de savia en el árbol en la prueba de localización de éstos (círculos rojos), y el sensor de medición (círculo azul)	92
24	Parte seccional de una acícula. Ambos colores indican dos partes unidas en una sola estructura. Ambas partes de las acículas tienen estomas. Para más detalles ver el texto de resultados	94
25	Comparación de precipitaciones recolectadas en el enmallado de Guardamar del Segura durante el periodo de investigación con el promedio de 15 años (1968 a 1983) y de 26 años (1945 a 1971) de precipitación recolectado en el Aeropuerto de Alicante y Guardamar del Segura del Servicio Meteorológico de España.	99
26	Correlación de datos de lluvia recogidos en el vivero y la parcela de experimentación de Guardamar periodo Noviembre 2001 a Agosto 2003	100
27	(a) Respuesta del rocío en el período 15-01-02 al 30-12-02. (b) Relación temperatura al nivel de la superficie del suelo y rocío de verano 2003	101
28	Ocurrencia de la capilaridad y la percolación en el año 2002 durante el periodo de investigación	102
29	Relación general entre la precipitación y el volumen de los parámetros medidos: trascolación (Tr), escorrentía cortical (Ec) y la interceptación (Int).	104
30	Relación de la escorrentía cortical (Ec) y la precipitación (P) y de los valores acumulados de Ec y la precipitación en el periodo más lluvioso de Guardamar de Segura en dos especies de árboles: <i>P. halepensis</i> Miller y <i>P. pinea</i> L.	107
31	Relación entre los logaritmos neperianos del área basal y el índice de canalización para 46 individuos medidos en el proceso de escorrentía cortical.	108
32	Interceptación en C1 (clase diamétrica pequeña), C2 (clase diamétrica media) y C3 (clase diamétrica grande) de <i>Pinus halepensis</i> Miller y <i>Pinus Pinea</i> L., bajo diferentes precipitaciones	109

Figura No.		Pág.
33	Relación entre la precipitación y el porcentaje de los parámetros medidos: trascolación (Tr-●), escorrentía cortical (Ec-O) e interceptación (Int-▼).	110
34	Variación en profundidad del porcentaje en peso de la granulometría realizada en 7 subparcelas de un transecto imaginario en el Pinar de Guardamar del Segura	113
35	Variación de la densidad aparente ( $\rho_b$ ) en un transecto imaginario de la pinada de Guardamar del Segura. El Sitio1 representa el sitio de muestreo mas cercano a la costa y el Sitio7 representa el sitio de muestreo mas alejado de la costa	114
36	Precipitación (P), promedio de contenido de agua en el perfil del suelo (SWS) a 20 cm de profundidad y evapotranspiración en la pinada de Guardamar del Segura	117
37	Precipitación (P) y promedio de contenido volumétrico de agua en el perfil del suelo (VWC) a 20, 60 y 100 cm de profundidad y en 3 sitios de la pinada de Guardamar del Segura; el sitio 1 es el mas cercano a la costa, el sitio 6 está a 650 m de la costa.	121
38	Flujo acumulado de savia como resultados del test de instalación de los sensores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, y 8, colocados en las posiciones NE, NO, SE, SO, NE, SE, SO respectivamente en dos árboles, el primero en <i>P. pinea</i> (PP) y <i>P. halepensis</i> (PH).	123
39	Variación de flujo de savia diaria de árboles de (a) <i>Pinus pinea</i> L. y (b) <i>P. halepensis</i> Miller en el enmallado de Guardamar del Segura durante el periodo de investigación del DOY 78 al 231 del 2003	124
40	Respuesta diaria del flujo de savia en (a) <i>Pinus halepensis</i> Miller, y (b) <i>P. pinea</i> L en los meses de junio, julio y agosto. Línea continua: junio, línea punteada: julio, y línea discontinua: agosto	126
41	Flujo de savia en (a) <i>Pinus halepensis</i> Miller, y (b) <i>P. pinea</i> L. en tres diferentes estaciones del año 2003 (n=23)	127
42	Promedio de la variación estacional de flujo de savia en árboles de pino en el enmallado de Guardamar del Segura durante el periodo de investigación	128
43	Radiación fotosinteticamente activa (PAR), evaporación (Ev) (O) y evapotranspiración real (ETR) (▲) y de los días de medición en el enmallado de Guardamar del Segura durante el periodo de investigación 2002-2003	129
44	Transpiración puntual de la superficie de un ramillo de acícula y radiación fotosinteticamente activa (PAR) en un día de verano de alta radiación. (b) Respuesta de la transpiración a la incidencia solar con radiaciones (b1) menores a 700 W/m <sup>2</sup> y (b2) mayores a 800 W/m <sup>2</sup> aproximadamente	130
45	Potencial de agua de las acículas en <i>P. halepensis</i> Miller (PH) y <i>P. pinea</i> L. (PP) tomados los días de medición en el enmallado de Guardamar del Segura durante tres periodos	131
46	(a) Patrón diario del flujo de savia y el potencial de agua en la acícula (NWP) tomado el 07-feb-03. Las medidas corresponden a <i>P. halepensis</i> Miller (PH) y <i>P. pinea</i> L. (PP) en tres tamaños de árboles (D1 de clase diamétrica mayor, D2 de clase diamétrica media y D3 de clase diamétrica mayor). (b) Patrón estacional de la relación flujo de savia y NWP tomados en (i) 01-may, (ii) 06-feb y (iii) 18-ago-2003	132

Figura No.		Pág.
47	Esquema del ciclo global del carbono, mostrando los flujos relevantes de cambios antropogénicos (Según Watson <i>et al.</i> , 2000).	168
48	Esquema representativo de los principales flujos de carbono en un ecosistema	171
49	Localización de las parcelas de estudio de carbono	176
50	Principales componentes del LICOR 6400 utilizado para las mediciones de fotosíntesis en acículas	177
51	Esquema de circulación de los gases en el LICOR 6400 en las mediciones de fotosíntesis	178
52	Sistema de funcionamiento de la cámara de flujo de CO <sub>2</sub> del suelo 6400-09 ensamblado a la consola del LICOR 6400 el cual se utilizó para la medición de la respiración en el suelo	179
53	Posición de los anillos de PVC en un sitio del transecto de muestreo. Los anillos fueron colocados siempre dentro del área de muestreo	180
54	Ramas representativas tomadas para las regresiones determinadas	184
55	Sonda de muestreo de suelos para el análisis de raíces señalando las profundidades en las que se obtuvo la muestra	185
56	Promedio general de fotosíntesis encontrado entre el 23-Dic-02 y 17-Ago-03 en siete subparcelas del transecto imaginario localizado en el pinar de Guardamar. Las barras indican las desviaciones estándares de la población de muestras	189
57	Valores medios de las tasa de fotosíntesis encontrados en siete subparcelas del transecto localizado en el pinar de Guardamar para <i>P. halepensis</i> Miller y <i>P. pinea</i> L. Las barras indican las desviaciones estándares de la población de muestras. Periodo entre el 23-Dic-02 y 17-Ago-03	191
58	Valores medios de las tasa de fotosíntesis, transpiración y radiación fotosintética activa (PAR) encontrados en <i>P. halepensis</i> Miller y <i>P. pinea</i> L. obtenidos en el transecto imaginario del pinar de Guardamar. Las barras indican las desviaciones estándares de la población de muestras	193
59	Curva modelo de respuesta de la fotosíntesis y transpiración a la radiación fotosintéticamente activa (PAR) de <i>P. halepensis</i> Miller y <i>P. pinea</i> L. obtenidos en el transecto imaginario del pinar de Guardamar	194
60	Relación de la conductancia estomática y la temperatura de la hoja encontrada en <i>P. halepensis</i> Miller (PH) y <i>P. pinea</i> L. (PP)	195
61	Valores medios de las tasas de respiración del suelo obtenidos en siete subparcelas del transecto localizado en el pinar de Guardamar. Las barras indican las desviaciones estándares de la población de muestras. Periodo del 24-May-02 al 16-Ago-03	196
62	Valores medios de las tasas de respiración del suelo obtenidos en siete subparcelas del transecto localizado en el pinar de Guardamar para (a) <i>P. halepensis</i> Miller y (b) <i>P. pinea</i> L. Periodo del 18-Oct-02 al 16-Ago-03 y del 24-May-02 al 29-Jun-02. Las barras indican las desviaciones estándares de la población de muestras	210

Figura No.		Pág.
63	Relación de los valores medios de las tasas de respiración del suelo con la (a) temperatura y el (b) contenido gravimétrico de agua obtenidos en siete subparcelas del transecto localizado en el pinar de Guardamar. Las barras indican las desviaciones estándares de la población de muestras	202
64	Relación de los valores medios de las tasas de respiración del suelo y (a) la razón peso de suelo y raíces, y (b) la relación contenido gravimétrico de agua con la temperatura obtenidos en siete subparcelas del transecto localizado en el pinar de Guardamar. Las barras indican las desviaciones estándares de la población de muestras	202
65	Índice relativo de crecimiento en 36 individuos de las clases diamétricas 1 (menores a 13 cm -C1), 2 (entre 13 y 20 cm -C2) y 3 (mayores a 20 cm-C3), de las especies de <i>Pinus pinea</i> L. (PP) y <i>P. halepensis</i> Miller (PH). Cada línea representa el promedio de tres individuos	203
66	Incremento medio acumulado de las clases diamétricas 1 (menores a 13 cm -C1), 2 (entre 13 y 20 cm -C2) y 3 (mayores a 20 cm-C3) en el periodo del 24-03-02 al 04-08-03. Las flechas indican el periodo primaveral	204
67	Relación del promedio del peso seco de las ramas mas acículas en el prisma y en los árboles con el área seccional de sus ramas	206
68	Relación de la caída de hojas durante el periodo de investigación en el pinar	207
69	(a) Contribución porcentual de las fracciones al total de biomasa aérea. (b) Peso medio de la biomasa aérea respecto de la proyección de la copa del individuo en 12 árboles	208
70	(a) Distribución promedio de raíces gruesas y delgadas en <i>P. pinea</i> L. (PP) y <i>P. halepensis</i> Miller (PH) en función a la profundidad del estrato dunar. (b) Valor promedio de raíces gruesas y delgadas en <i>P. pinea</i> L. y <i>P. halepensis</i> Miller en los individuos estudiados en base a siete muestras	209
71	Proporción de la biomasa en 12 individuos de <i>P. pinea</i> L. y <i>P. halepensis</i> Miller separados en acículas, ramas, tronco y raíces. Todos los valores referidos a la proyección de la copa del árbol	210
72	Valores estimados de carbono acumulado en las raíces del suelo del pinar de Guardamar. (a) primavera 2002 (22-05-02), (b) verano 2002 (27-06-02), (c) primavera 2003 (13-05-03) y (d) verano 2003 (14-08-03)	216
73	Valores de respiración heterótrofica y autotrófica observados en <i>P. halepensis</i> Miller (PH) y <i>P. pinea</i> L. (PP) el pinar de Guardamar del Segura. Periodo entre el 24-03-02 y el 04-08-03	217
74	(a) Resúmenes del balance de aguas y (b) y carbono de las especies de <i>Pinus pinea</i> L. (PP) y <i>P. halepensis</i> Miller (PH).	254

## Lista de tablas

Tabla No.		Pág.
1	Población arbórea predominante en el pinar de Guardamar del Segura	34
2	Distribución de las estaciones en los años de investigación en el pinar de Guardamar del Segura	36
3	Resumen de valores del LAI-2000, y los índices de corrección obtenidos en la copa de los árboles de dos especies de pinos en el sitio de experimentación de Guardamar del Segura.	38
4	Valores medios (n=8) de caída de acículas en el periodo de investigación (de Enero a Diciembre del 2002), por meses y estaciones.	43
5	Variación del LAI medio estimado y su desviación estándar en las cuatro estaciones de los años 2002 y 2003.	45
6	Desviación estándar (STDV), coeficiente de regresión (R <sup>2</sup> ), probabilidad (p) de la relación LAI y altitud de los diferentes cuadrantes menores localizados en el cuadrante cuasi-perpendicular a la costa en Guardamar del Segura	50
7	Códigos, diámetros a la altura del pecho (DBH), intervalos y clases identificadas para cada árbol en estudio en la parcela enmallada de Guardamar del Segura	81
8	Diámetros de troncos a la altura del pecho (DBH) y altura de individuos agrupados en sus clases diamétricas	82
9	Características físico químicas de las dunas de Guardamar del Segura, de 0 hasta los 40 cm de profundidad	82
10	Clasificación granulométrica del tamaño de las arenas según el sistema USDA (USDA, 1998; FAO-ISRIC-ISSS, 1998)	88
11	Características de sitio para la recolección de datos de humedad de suelo	90
12	Principales características de los árboles utilizados para las pruebas de posición con los sensores de Sapflow32 en el primer periodo de la investigación en la parcela enmallada de Guardamar del Segura.	93
13	Precipitación recolectada en el sitio de experimentación de la zona de Guardamar del Segura durante el periodo de Noviembre 2001 a Junio 2003	97
14	Estadística descriptiva de la precipitación de los años 2002 y 2003.	98
15	Relación de los promedios de precipitación estacional con las variables de la dinámica de agua en la vegetación (Trascolación=Tr; Escorrentía cortical=Ec; Interceptación=Int).	103
16	Estadística descriptiva de la trascolación (Tr), escorrentía cortical (Ec) e interceptación (Int) en tres diferentes clases diamétricas (DM= Diámetro de tronco a la altura del pecho de clase pequeña-C1; DE= Diámetro de tronco a la altura del pecho de clase medio-C2; DY= Diámetro de tronco a la altura del pecho de clase grande-C3) para dos especies: <i>P. halepensis</i> Miller (PH) y <i>P. pinea</i> L. (PP).	105
17	Promedios anuales y rangos de los índices de canalización de <i>P. halepensis</i> Miller y <i>P. pinea</i> L.	108



## Lista de tablas

Tabla No.		Pág.
18	Cuadro de ecuaciones que mejor se ajustan a las relaciones de precipitación (PP) con trascolación (Tr), escorrentía cortical (Ec) e interceptación (Int).	111
19	Porcentaje en peso promedio y su desviación estándar de la granulometría realizada en 7 subparcelas de un transecto imaginario cuasi perpendicular a la línea de la costa en el Pinar de Guardamar del Segura	112
20	Contenido Volumétrico de Agua (VWC) medio a Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP) media y disponibilidad de agua media en distintas profundidades del estrato dunar (n=7).	115
21	Contenido Volumétrico de Agua medio (VWC) a Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP) y disponibilidad de agua hasta un metro de profundidad en distintas subparcelas de muestreo del estrato dunar (n=5)	116
22	Contenido volumétrico de agua (VWC) en días seleccionados de los períodos de medición. (a) Promedio de VWC de siete subparcelas en 5 profundidades cada uno de 20 cm, (b) sumatoria del VWC de 100 cm de profundidad en siete subparcelas del transecto, (c) promedio del VWC de 5 profundidades hasta 100 cm de profundidad en siete subparcelas del transecto	116
23	Precipitación total, precipitación efectiva y valor medio de siete subparcelas del agua almacenada en el suelo hasta 100 cm de profundidad en diferentes estaciones	118
24	Resumen de los índices de transpiración para <i>P. halepensis</i> y <i>P. Pinea</i> en tres estaciones	125
25	Resumen mensual de los valores de cada una de las variables implicadas en el balance hidrológico del pinar de Guardamar del Segura. Precipitación total (P), precipitación efectiva (Pe), rocío (R), proceso de capilaridad (Aq), almacenamiento de agua en el perfil del suelo (S), transpiración (T), evaporación (Ev) e percolación (I).	133
26	Balance hidrológico del pinar de Guardamar del Segura	134
27	Resumen de fotosíntesis y transpiración de las principales especies psamófitas de las dunas de Guardamar del Segura	173
28	Localización de puntos geográficos (proyección Lambert) de toma de medidas de respiración de suelo y asimilación de CO <sub>2</sub> .	175
29	Población arbórea vegetal predominante en la pinada de Guardamar del Segura	176
30	Análisis de varianza para los valores de fotosíntesis agrupados por especies ( <i>P. halepensis</i> Miller y <i>P. pinea</i> L.), estación (primavera, verano, invierno, otoño) y subparcelas (1, 2, 3, 4, 5, 6, y 7) mostrando las interacciones entre las variables. Período entre 23-Dic-02 y 17-Ago-03	190
31	Análisis de varianza para la respiración de suelo en: Especie: <i>P. halepensis</i> Miller y <i>P. pinea</i> L.; Estaciones: primavera02, verano02, otoño03, invierno03, primavera03, verano03; Subparcela: subparcelas de medición 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7	196
32	Comparación de medias de flujos en diferentes estaciones del 2002 y 2003 utilizando LSD a un nivel de rechazo de 0.01	197

Tabla No.		Pág.
33	Análisis de contrastes de las medias de los flujos de CO <sub>2</sub> del suelo en subparcelas y estaciones	197
34	Análisis de varianza de la respiración del suelo agrupados por especie: <i>P. halepensis</i> Miller y <i>P. pinea</i> L.; estación: otoño03, invierno03, primavera03 y verano03 (Periodo del 18-Oct-02 al 16-Ago-03); subparcelas: 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7	199
35	Análisis de varianza para los flujo de CO <sub>2</sub> agrupados por los subparcelas de medición (1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7) y cuatro estaciones	200
36	Parámetros de correlación entre los componentes de la biomasa del árbol y el área seccional del tronco a 1.3 m (CSA), donde Y es la biomasa aérea y X es el CSA	205
37	Análisis de varianza para la proporción de biomasa agrupados por componentes y especies	211
38	Comparación de medias de la proporción de componentes de la biomasa utilizando LSD a un nivel de rechazo de 0.01	211
39	Biomasa estimada a diferentes distancias del mar en el transecto imaginario del pinar de Guardamar del Segura (El primer punto del transecto se encuentra a 250 m de distancia de la costa). Número entre paréntesis muestra la subparcela de muestreo para fijación de CO <sub>2</sub> y muestreo de suelos. n= número de árboles	212
40	Valor medio de carbono en los componentes de <i>P. pinea</i> L. y <i>P. halepensis</i> Miller registrado por m <sup>2</sup> de proyección de copa del árbol en el pinar de Guardamar del Segura	213
41	Análisis de varianza para el contenido de carbono en la biomasa de la parcela enmallada agrupados por componentes y especies	213
42	Comparación de medias del contenido de carbono en los componentes del árbol utilizando LSD a un nivel de rechazo de 0.01	213
43	Valor medio de carbono anual acumulado en los componentes de <i>P. pinea</i> y <i>P. halepensis</i> Miller estimado a través del muestreo destructivo en la parcela de investigación del pinar de Guardamar del Segura (MgC/Ha.año)	214
44	Valores estimados de carbono acumulado en la biomasa de acículas del pinar de Guardamar del Segura. (CO <sub>2</sub> 1) primavera 2002 (22-05-02), (CO <sub>2</sub> 2) verano 2002 (27-06-02), (CO <sub>2</sub> 3) primavera 2003 (13-05-03) y (CO <sub>2</sub> 4) verano 2003 (14-08-03). (MgC.Ha-1). 0 metros es el subparcela más cercano al mar del transecto (a 250 m de la costa). $\Delta \varnothing$ = Incremento diametral de los árboles medidos (mm)	215
45	Balance de carbono para <i>P. pinea</i> L. y <i>P. halepensis</i> Miller registrado en el periodo de investigación (18-12-02 al 16-08-03) en Guardamar del segura. Dif.: representa la producción neta del ecosistema (MgC.Ha-1.año-1)	218
46	Resumen del balance del agua para en el periodo de investigación en Guardamar del segura	

## Lista de términos utilizados en el texto

Término	Descripción	Unidad
LAI	Índice de área foliar	$m^2/m^2$
PAI	Índice de área de la planta	$m^2/m^2$
WAI	Índice de área leñosa	$m^2/m^2$
SAI	Índice de área de las ramas	$m^2/m^2$
PAR	Radiación fotosintéticamente activa	$W/m^2$
$\alpha$	Parte leñosa (razón entre el área de la superficie leñosa y el área de la superficie total)	Adimensional
LAI <sub>d</sub>	Índice de área foliar obtenido con el método semi-destructivo	$m^2/m^2$
LAI <sub>e</sub>	Índice de área foliar obtenido con el LAI-2000	$m^2/m^2$
$\gamma_E$	Razón área de acículas a ramillo	Adimensional
$\Omega_E$	Índice de agrupamiento para escalas superiores a las del ramillo	Adimensional
Qi	Radiación fotosintéticamente activa (PAR) obtenida por debajo de la copa del árbol	$W/m^2$
Qo	Radiación fotosintéticamente activa (PAR) obtenida por encima de la copa del árbol	$W/m^2$
k	Coefficiente de extinción	Adimensional
X	Relación entre la longitud horizontal y vertical de la copa del árbol	Adimensional
$\theta$	Angulo al cenit, ángulo medido desde la vertical	Grados
$\beta_b$	Fracción de radiación fotosintéticamente activa que esta explicado por el eje de luz incidente, valorado como 0 en días nublados	Adimensional
$\tau$	Transmitancia de la copa del árbol o dosel del pinar, el cual se calcula a partir de medidas por debajo y arriba de la copa del árbol (B/A)	Adimensional
A <sub>i</sub>	Esta relacionado a la absorbancia en la banda de radiación fotosintéticamente activa, y que es representado por la relación: $A_i = 0.283 + 0.785 a - 0.159 a^2$ , donde a es la absorbancia de la hoja	Adimensional
P	Precipitación total	mm
Aq	Agua freática aprovechable debida al procesos de capilaridad	mm
R	Rocío	mm

<b>Término</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>
Pe	Precipitación efectiva o precipitación neta	mm
Tr	Trascolación, agua que ha pasado la copa del árbol	mm
Ec	Esorrentia cortical o escurrimiento fustal	mm
Ar	Agua recolectada del árbol durante el proceso de Ec, originalmente fue dm <sup>3</sup>	L
ba	Área basal del árbol medido (o diámetro normal)	m <sup>2</sup>
BA	Área basal del conjunto de árboles de la parcela de experimentación	m <sup>2</sup>
FR	Índice de canalización	Adimensional
Int	Interceptación (del agua por la estructura de la copa)	mm
ET	Evapotranspiración	mm
T	Transpiración	mm
Ev	Evaporación del tanque de agua tipo A	mm
Evs	Evaporación de la superficie de la copa del árbol y hojarasca	mm
Evp	Evaporación de la superficie del suelo	mm
ETP	Evapotranspiración potencial	mm
g <sub>s</sub>	Conductancia estomática	mmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>
DOY	Día del año (número)	día
ΔS	Almacenamiento de agua en el perfil del suelo	mm
θ	Contenido volumétrico de agua	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
ρ <sub>b</sub>	Densidad aparente del suelo	g/cm <sup>3</sup>
ρ <sub>w</sub>	Densidad del agua	g/cm <sup>3</sup>
DBH	Diámetro a la altura del pecho	cm
θ <sub>m</sub>	Contenido gravimétrico de agua	Kg/Kg
Mss	Masa de suelo seco	Kg
V	Volumen conocido de suelo	m <sup>3</sup>

<b>Término</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>
Ta	Transpiración del árbol	mm
App	Área proyectada del prisma imaginario	m <sup>2</sup>
Apa	Área proyectada de la copa del árbol	m <sup>2</sup>
Tpr	Transpiración en el prisma imaginario	mm
T <sub>RP</sub>	Transpiración del ramillo dentro del prisma	mm
A <sub>RP</sub>	Área foliar del ramillo dentro del prisma	m <sup>2</sup>
I <sub>t</sub>	Índice de transpiración	mm/día
T <sub>30</sub>	Transpiración del ramillo obtenido con el SapFlow 32 y almacenado cada 30 minutos	gr
A <sub>ramillo</sub>	Área foliar del ramillo en el cual ha estado instalado el SapFlow 32	cm <sup>2</sup>
CC	Capacidad de campo	%
PMP	Punto de marchitez permanente	%
VWC	Contenido volumétrico de agua en el perfil del suelo	%
GWC	Contenido gravimétrico de agua en el perfil del suelo	%
SWC	Contenido de agua en el perfil del suelo	mm
TTD	tasa de transpiración diaria	mm
LSD	Diferencia mínima significativa (Least significant difference)	adimensional
R <sub>mant</sub>	respiración autotrófica de la biomasa aérea	MgC/Ha.año
R <sub>raiz</sub>	respiración de las raíces	MgC/Ha.año
CSA	Área seccional del tronco a 1.3 m	cm <sup>2</sup>



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

*“Uno no advierte jamás lo que está hecho, sólo puede ver lo que falta por hacer”*  
**Marie Curie**



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION GENERAL

#### 1.1. Estructuración de la tesis, hipótesis y objetivos de la tesis.

##### *Estructura*

El **primer** capítulo realiza una introducción general al trabajo de tesis, que parte de una descripción general de los flujos y procesos que caracterizan los ciclo de agua y carbono. Continúa con la descripción de la zona de estudio y las características del ecosistema que se va a estudiar.

El **segundo** capítulo se inicia con una revisión de los métodos de determinación del LAI (Leaf area index en inglés o Índice de área foliar). De este parámetro se estudia la variación estacional, anual y espacial en el pinar de Guardamar durante dos años.

El **tercer** capítulo describe el balance del agua, esto es, la determinación de la precipitación, el escurrimiento cortical, la trascolación y la interceptación, que ulteriormente se describe como la dinámica de agua en el árbol. Se explica ampliamente los procedimientos y resultados de la determinación de las entradas y salidas así como las características de la dinámica hídrica en la vegetación arbórea predominante. Un apartado importante muestra el monitoreo del almacenamiento de agua en el perfil del suelo y finalmente se calcula el balance global del agua en el pinar.

El **cuarto** capítulo describe los flujos de carbono medidos en varios periodos en el pinar de Guardamar, el comportamiento estacional y anual de la asimilación, la respiración y la acumulación de carbono en el ecosistema. Para conocer el almacén de carbono en la vegetación arbórea y su incremento se presentan la biomasa en dos momentos diferentes obtenidas a partir de ecuaciones alométricas que relacionan el diámetro a la altura del pecho con la biomasa de los componentes del árbol (hojas, ramas, tronco). Se calcula el balance global del carbono en este ecosistema.

El **quinto** capítulo, realiza una síntesis de los principales efectos de las variables climáticas respecto de las variables ecofisiológicas. En él, se calculan los balances de agua y carbono y la relación entre ellos.

Se finaliza con el capítulo **sexto**, el cual describe las conclusiones generales de la tesis.



### **Hipótesis general de trabajo**

Los árboles predominantes de la pinada de Guardamar del Segura tienen un requerimiento mínimo de agua para llegar a formar una cantidad mínima de biomasa en una unidad de tiempo.

### **Objetivo general de trabajo**

El objetivo general del trabajo es calcular el balance global de entradas y salidas de agua y carbono del pinar y discutir la importancia de los flujos internos.

## **1.2. Antecedentes de balances de aguas y carbono**

Los medios semiáridos se caracterizan por una limitada disponibilidad de agua en el suelo como consecuencia de la baja precipitación anual, la alta tasa de evapotranspiración y la gran variabilidad temporal de las precipitaciones (Yassoglou, 1987), lo que origina prolongados períodos de sequía. En estos ambientes, el agua es el principal factor limitante, y el potencial biológico del suelo puede establecerse en términos de su balance hídrico y su balance de carbono (Noy-Meir, 1973). La degradación de los ecosistemas supone una alteración del papel desempeñado por los distintos procesos que definen estos balances.

El estudio de los balances de agua y carbono se ha realizado en todas las latitudes del planeta. En América del Norte, ya se realizaron en los años 20 balances de aguas que se establecían en pequeñas cuencas como unidades funcionales en Colorado (USA). En 1921 la estación de Coweeta del servicio forestal norteamericano, da inicio con sus actividades de medición de los aforos de las cuencas para el cálculo de sus balances. Fuera de USA, se han tenido datos de balances de aguas en Nueva Zelanda, Australia y Japón de los años 70. Uno de los primeros antecedente de trabajos sobre balances de agua en la península Ibérica aparece en Escarré *et al.* (1986) quienes trabajaron en el barranc de l'Avic (Tarragona). De la misma forma, los trabajos de balances de carbono están muy difundidos en todo el mundo, sobre todo en este tiempo cuando se habla bastante del cambio climático, y el papel potencial de los bosques para mitigar el impacto de las elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico (Gracia *et al.*, 1997). En España, los trabajos más relevantes sobre esta temática se encuentran citados en Gracia *et al.* (1997), Gracia *et al.* (1999), entre otros. Según el Centre de Recerca en Ecologia y Aplicacions Forestals (CREAF), el análisis de los balances de aguas y de carbono del sistema, puede ser el camino adecuado para establecer el nexo de unión entre los procesos fisiológicos y los tan necesarios métodos propios de gestión.

### **Balance de aguas**

El balance de aguas de un sistema forestal consiste principalmente en la cuantificación de los flujos de agua como la precipitación, evapotranspiración desde el suelo y la vegetación (Lledó y

## Introducción

---

Piñol, 1989), interceptación de la precipitación, y cambios en el contenido de agua en el suelo (Flores y Ruiz, 1998).

El estudio de balance de aguas en un ecosistema puede partir desde diversos enfoques. Sin embargo cuando se habla de realizar balances hidrológicos puntuales se habla de tres estratos: La vegetación, el suelo y los efectos de las condiciones atmosféricas circundantes a nuestro sistema (Schäfer *et al.*, 2002).

### a) Precipitación

Para realizar un balance de aguas es muy importante conocer su dinámica en la zona de estudio. Su cantidad, intensidad, frecuencia, distribución, estacionalidad son parámetros determinantes en la toma de mediciones. En realidad, estas determinan incluso el método y las técnicas a seguir para decidir sobre una metodología a seguir en la estimación de un balance hidrológico.

### b) Dinámica de aguas en la planta

Dentro del balance es necesario conocer el tipo de vegetación que cubre el área de estudio ya que decide ampliamente la dinámica del agua, desde la cantidad de trascolación (que en última instancia es afectada también por la intensidad de lluvias), la evapotranspiración, evaporación, etc (Cantú y González, 2002).

- Trascología: El agua de lluvia que pasa a través de la copa del árbol y se deposita en el suelo.
- Escorrentía cortical: El agua de lluvia que al llegar a la copa del árbol se distribuye en la misma y escurre a través de las ramas hasta llegar al tronco y luego se deposita en el suelo.
- Interceptación: El agua que ha llegado a la copa del árbol pero que ha permanecido en ella, y que por efectos medioambientales ha pasado a la atmósfera.

La trascolación y la escorrentía cortical son estimados típicamente como una fracción de la precipitación total utilizando medidas de un evento de interceptación anual sin considerar de la intensidad o duración de ésta (Xiao *et al.*, 2000)

### c) Balances de agua en el suelo y efectos atmosféricos

Este balance representa una valoración anual de las cantidades de agua existentes en el suelo. Comprende todas aquellos aportes, pérdidas y retenciones. El agua recibida al suelo son las generadas por las precipitaciones, y depende de la estructura del bosque, densidad, diámetro de los árboles, y proporción de distintas especies (Bellot y Escarré, 1989). El agua perdida

comprende la evaporación, transpiración (en conjunto evapotranspiración), y escorrentía (superficial, hipodérmica y profunda). De los aportes que llega al suelo procedentes de las lluvias, una parte penetra en él y la otra no. El agua que ocupa el suelo, parte se evapora, otra escurre, otra pasa a la capa freática, otra es consumida por las plantas y finalmente otra es retenida.

### **Balance de carbono**

El potencial de captura de carbono de un ecosistema depende de que tipo es y su respectiva condición, esto es, su composición floral, estructura, y su distribución de edades, para el caso de sistemas forestales. Es también importante tomar en cuenta condiciones de sitio, incluyendo condiciones de suelo y clima, perturbación natural, y manejo.

El balance de carbono requiere el conocimiento de la producción primaria neta (PPN), el cual es básicamente la producción neta de materia orgánica por las plantas en un ecosistema, que viene de la producción primaria bruta (cantidad de carbono fijado en el proceso de fotosíntesis) y las pérdidas resultado de la respiración de las plantas (respiración autotrófica).

#### *a) Componentes del balance de carbono*

Para entender los flujos de carbono entre un específico ecosistema y la atmósfera en un periodo determinado de tiempo y para apreciar su sensibilidad a las condiciones actuales del medioambiente, necesitamos considerar los procesos principales dentro del sistema que adiciona carbono para tener una producción neta en el ecosistema (PNE). Los intercambios entre esos procesos, su velocidad de respuesta, y su sensibilidad a los cambios del medio ambiente determinan la producción neta del bioma (PNB), que es la producción neta de materia orgánica en una región donde se localiza un rango de ecosistemas -un bioma- e incluye además de la respiración heterotrófica, otros procesos que llevan a la pérdida de materia orgánica viva y muerta: cosechas, podas forestales, fuegos, etc. La PNB es más bien apropiado para casos de balances de carbono en áreas bastantes grandes. La PNE es la diferencia entre la entrada bruta de carbono a través de la fotosíntesis (PPB), y la suma de las pérdidas de carbono en la respiración autotrófica y la respiración heterotrófica. Los componentes de los flujos acumulados en un año deben añadirse a la PNE anual, el cual es medido independientemente. Un balance de masas de los componentes de los flujos de la parte aérea de la planta (fotosíntesis, respiración de hojas y ramas, producción de hojas, ramas, hojas caídas) nos permite estimar la cantidad de carbono internamente trasladado (transportado) a la parte subterránea de la planta. Otro balance de masas de los componentes de flujos de esta parte (las adiciones de la hojarasca caída, respiración heterotrófica, movimiento -transporte- de raíces finas, sistema PPN de raíces y micorrizas) nos permite una estimación aproximada de los cambios de almacenamiento del carbono en el suelo. Hay apreciables errores en el proceso de realización en las medidas de los componentes de los

## Introducción

---

flujos de carbono, de tal manera que no se espera tener resultados parecidos o muy cercanos a la PNE.

### **1.3. Zona de estudio**

El estudio está ubicado en el pinar de Guardamar del Segura, a 45 Km al SE de la ciudad de Alicante, en el municipio del mismo nombre. El pinar está ubicado en las formaciones dunares ( $38^{\circ}06.128' N$   $0^{\circ}38.965' W$ ), junto a la desembocadura del río Segura, y forma parte del cordón litoral que se extiende aproximadamente 16 km desde La Marina hacia el N y hasta El Pinet hacia el S. Este conjunto se encuentra a unos 500 m al N del municipio. Su ancho máximo alcanza unos 750 m y su largo máximo unos 2.250 m aproximadamente; el área total de la pinada alcanza unos 134 Ha aproximadamente.

#### *1.3.1. Climatología*

Según Pérez-Cueva (1994), basándose en un rango de datos de 1961 a 1990 (una serie completa de 24 años) la zona de estudio pertenece a un clima del sector litoral mediterráneo, el sector más árido de la Comunidad Valenciana, clasificada como semiárida y mesotérmica, con una evapotranspiración potencial anual de 870 mm, una evapotranspiración real anual de 312 mm (índices calculados por el método de Thornthwaite) y muy poca concentración estival.

La zona cuenta con una alta variabilidad de precipitación y deja como 312 mm de lluvia anuales. Su temperatura promedio alcanza los  $17^{\circ}C$  y su temperatura máxima absoluta alcanza hasta  $40^{\circ}C$  en agosto, y una temperatura mínima absoluta de  $0^{\circ}C$  en diciembre.

El pinar de Guardamar del Segura se encuentra en una zona de radiación global horizontal media anual entre 1700 y 1800  $W/m^2.s$  e intervalos extremos mensuales que van desde los 600 a 700  $W/m^2.s$  (en Diciembre) y 2200 a 2300  $W/m^2.s$  (en Julio). Las horas sol medias anuales oscilan entre los 2900 a 3000 h, y los días más cálidos se encuentran en la primera quincena de Agosto. La humedad relativa media anual oscila entre 60 y 75%. Por la posición de la parcela se observa una inercia térmica marina en los sectores próximos a la costa (el efecto de la brisa marina por diferencias de gradiente bórico mar-tierra), en especial en los meses de Julio y Agosto, y con más intensidad entre las 13:00 y 14:00 h, y acompañado por temperaturas que oscilan entre los 25 a  $27^{\circ}C$ . La probabilidad de incidencia de heladas va de 0 a 5 días por año (Fig. 1)

Introducción

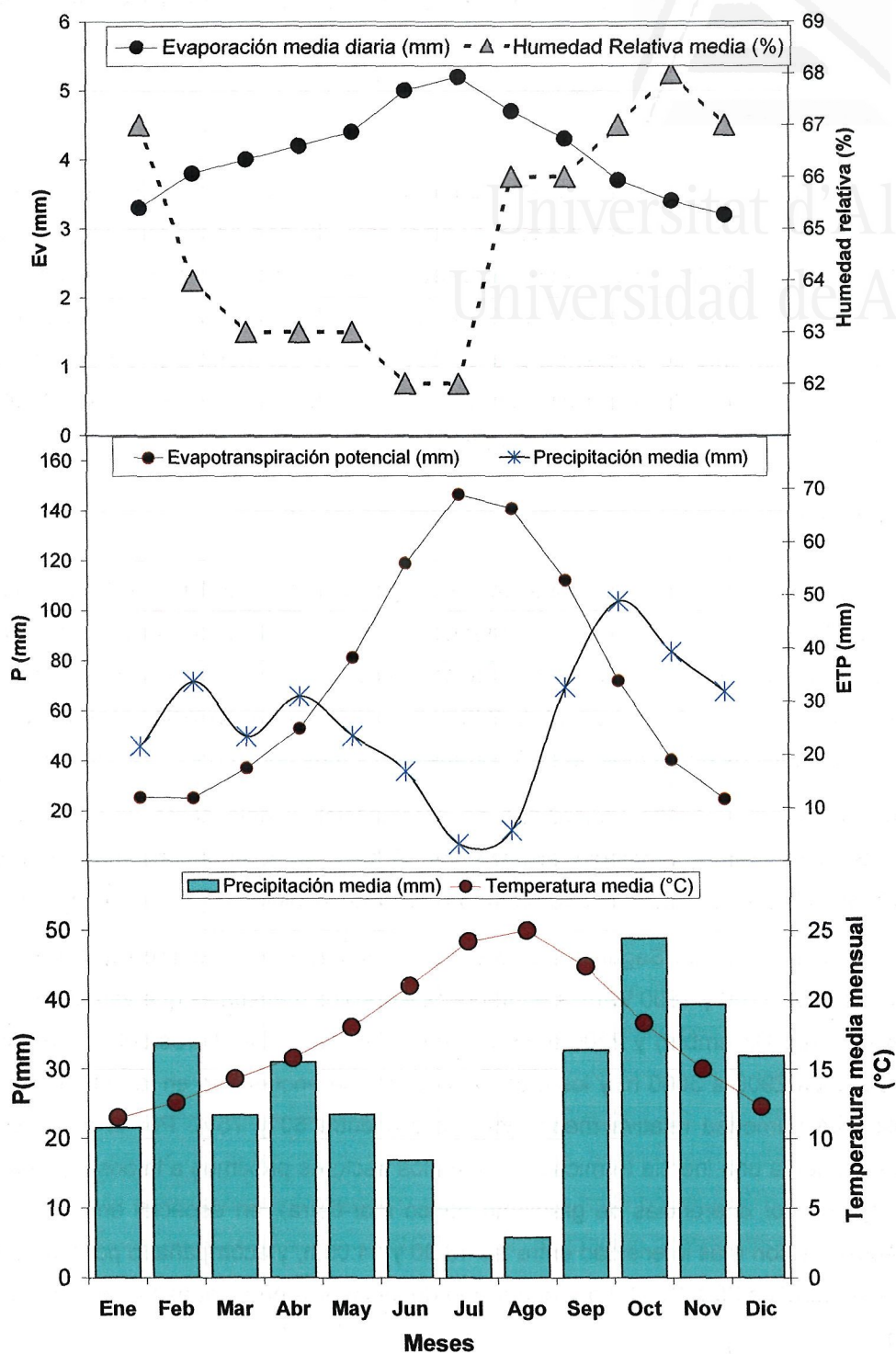


Figura 1. Relación precipitación media mensual (P), temperatura media mensual, evapotranspiración (ETP), humedad relativa y evaporación (Ev) para la zona de Guardamar del Segura; promedio del periodo comprendido entre 1961 y 1960 (Basado en: Pérez-Cueva, 1994)

## Introducción

Según Pérez-Cueva (1994) los días más cálidos están en la primera quincena de agosto. Por su posición se observa una inercia térmica marina en los sectores próximos a la costa (el efecto de la brisa marina por diferencias de gradiente bórico mar-tierra), en especial en los meses de Julio y Agosto, con más intensidad entre las 13:00 y 14:00 h, y acompañado por temperaturas que oscilan entre los 25 a 27°C. La probabilidad de incidencia de heladas va de 0 a 5 días por año.

### **Índices de condiciones climáticas de Guardamar del Segura.**

De los valores obtenidos en los dos periodos de investigación se tomó en cuenta sólo la del 2002 ya que los datos de ésta fueron completas con respecto a los otros dos años.

a) *Índice de aridez de Martonne (1923)* :  $IM = P/(T+10)$

Siendo: P  $\Rightarrow$  Precipitación media anual (mm) y T  $\Rightarrow$  Temperatura media anual (°C)

Esta clasificación está basada en la siguiente tabla:

Clima	$I_M$
Perhúmedo	>60
Húmedo	60-30
Subhúmedo	30-20
Semiárido (de tipo mediterráneo)	20-15
Árido (estepa)	15-5
Árido extremo	0-5

Realizando el cálculo, tenemos:

$$I_M = 248.7/(17.53+10) = 9.03$$

Según el índice de aridez de Martonne, Guardamar pertenece a una zona climática de características áridas.

b) *Clasificación Agroecológica de Papadakis.*

Esta clasificación considera los siguientes puntos:

✓ *Rigor invernal (tipo de invierno).*

El tipo de invierno según Papadakis se deduce de los siguientes parámetros termométricos:

- Temperatura media de las mínimas absolutas del mes más frío T = 6.88°C, que pertenece al intervalo entre 7 y -2.5°C.
- Temperatura media de las mínimas del mes más frío T = 1,3°C.
- Temperatura media de las máximas del mes más frío T = 11.03°C, que pertenece al intervalo entre 10 y 21°C.

Según los datos anteriores y el rigor del invierno de Papadakis, el tipo climático al que pertenece a la zona estudiada es: "Citrus. Ci"

✓ *Calor estival (tipo de verano)*

Los tipos climáticos referentes al tipo de verano se obtienen estudiando:

- Duración de la estación libre de heladas. En nuestro caso superior al 4,5 meses.
- Media de las temperaturas máximas de los n-meses más cálidos, en esta zona, mayores a 25°C.
- Temperatura media de las máximas del mes más cálido, en este caso, superior a 31.38°C.

Por tanto, según estos datos, el clima quedaría clasificado según el calor del verano en el tipo: "Gossypium.G"

✓ *Aridez y su variación estacional.*

Para el cálculo, se hace necesario determinar el índice de humedad mensual o carácter seco o húmedo del mes y anual cuyas expresiones son:

$$I_{h \text{ mensual}} = (\text{Precipitación mensual} + \text{Reserva}) / \text{ETP}$$

$$I_{h \text{ anual}} = \text{Precipitación} / \text{ETP}$$

Se basa en la siguiente tabla:

Clima	$I_h$
Húmedos	$\geq 1$
Potencialmente húmedos	0.7 a 1
Intermedios	0.1 a 0.7
Secos	$< 0.1$

Luego para cada mes del año será:

$$I_{h \text{ enero}} = (7 + 12) / 58 = 0.33 \text{ Intermedio}$$

$$I_{h \text{ febrero}} = (0 + 10) / 62 = 0.16 \text{ Intermedio}$$

$$I_{h \text{ marzo}} = (29 + 9) / 85 = 0.45 \text{ Intermedio}$$

$$I_{h \text{ abril}} = (83 + 4) / 100 = 0.87 \text{ Potencialmente húmedo}$$

$$I_{h \text{ mayo}} = (54.75 + 1) / 125 = 0.45 \text{ Intermedio}$$

$$I_{h \text{ junio}} = (4.5 + 0) / 144 = 0.031 \text{ Seco}$$

$$I_{h \text{ julio}} = (11 + 0) / 166 = 0.066 \text{ Seco}$$

$$I_{h \text{ agosto}} = (22.5 + 0) / 136 = 0.16 \text{ Intermedio}$$

$$I_{h \text{ septiembre}} = (0 + 1) / 128 = 0.0078 \text{ Seco}$$

$$I_{h \text{ octubre}} = (7.5 + 5.92) / 99 = 0.14 \text{ Intermedio}$$

$$I_{h \text{ noviembre}} = (16.95 + 10) / 73 = 0.37 \text{ Intermedio}$$

$$I_{h \text{ diciembre}} = (12.5 + 15) / 90 = 0.31 \text{ Intermedio}$$

El **tipo de invierno** de Guardamar según Papadakis es Avena, ya que la temperatura media de las mínimas absolutas del mes mas frío (Enero) es 0°C, la media de las mínimas del mes mas frío es 7.1 °C y la media de las máximas del mes mas frío es de 16 °C.

El **tipo de verano** es G (Gossypium), ya que la duración de la estación libre de heladas es mayor de 4.5 meses, la media de la temperatura máxima del mes más cálido es mayor a 31.5 °C, la media de las mínimas del mes cálido es de 18.4 °C, y la latitud es mayor de 20 grados.

El **índice de humedad** nos dice que es mediterráneo (ME) húmedo ya que la diferencia entre la lluvia y la ETP, durante el periodo en el que aquella es superior a la ETP es mayor al 20% y la  $I_{h \text{ anual}}$  es mayor a 0.88. Es Me mediterráneo seco cuando  $I_h > 20\%$  y  $I_{h \text{ anual}}$  es  $> 0.22$

Introducción

## c) Clasificación Climática según Thornthwaite.

- ✓ Cálculo de la ETP según Thornthwaite y balance climatológico.

$$ETP = \left( 16 * \left( \frac{10}{T/I} \right)^a \right) * f$$

donde:

ETP = Es la evapotranspiración potencial en mm.

f = Media de horas luz diaria.

I = Índice de calor anual. Es igual a la suma de los índices mensuales (i)  $i = (T/5)^{1.514}$ .

T = T° media del mes en °C.

a = Índice empírico

$a = 0.49239 + 0.01792 * I - 7.71 * 10^{-5} * I^2 + 6.75 * 10^{-7} * I^3$

$a = 0.49239 + 0.01792 * 84.0 - 7.71 * 10^{-5} * 84.0^2 + 6.75 * 10^{-7} * 80.0^3 = 1.85$

Esta clasificación está basada en la siguiente tabla:

Clima	I <sub>M</sub>
Hiperhúmedo	>100
Húmedo	100 a 20
Subhúmedo a húmedo	20 a 0
Seco a subhúmedo	0 a -33
Semiárido	-33 a -67
Árido	-67 a -100

Realizando las estimaciones, tenemos:

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T (°C)	12	13	14	16	18	21	24	25	22	18	15	12
P(mm)	7	0	29	83	55	5	11	23	0	8	17	13
ETP (mm)	58	62	85	100	125	144	166	136	128	99	73	60
ETA (mm)	15	13	17	24	16	13	0	0	19	45	25	21
PAW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΔS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exc. H <sub>2</sub> O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dé. H <sub>2</sub> O	-23	-38	-65	-85	-134	-170	-205	-128	-112	-43	-28	-14

Por tanto será:  $I_m = \left( \frac{P - ETP}{ETP} \right) * 100$

donde:

I<sub>m</sub> = Índice de aridez de Thornthwaite.

P = Precipitación anual (mm).

ETP = Evapotranspiración potencial (mm)

Realizando el cálculo, tenemos que I<sub>m</sub> es -79,90, lo que nos indicaría que pertenece a un clima más irregular en la distribución de sus precipitaciones, con un tipo de tiempo característico seco en verano e invierno y con lluvias torrenciales en primavera y otoño, lo que se ha denominado como clima mediterráneo de la costa del tipo climático árido y mesotérmico.



### 1.3.2. Geología

El pinar de Guardamar del Segura se encuentra dentro de la comarca de la Vega Baja del río Segura, ocupando el tramo final del llano de inundación del Segura, junto al litoral del mar Mediterráneo. Los terrenos neógeno-cuaternarios de la comarca del Bajo Segura forman parte del borde Noreste de la gran Fosa Intrabética, que en este punto es una continuación de la Depresión Prelitoral Murciana (Estevez y Pina, 1989).

Dentro del término municipal de Guardamar del Segura es posible distinguir cuatro zonas diferenciadas: la llanura aluvial que forma la superficie de inundación del río Segura; la franja costera, con unos de los sistemas dunares mejor conservados y, al mismo tiempo, más amenazados de la Comunidad Valenciana; las elevaciones de situadas entre el Segura y la Laguna de La Mata, destacando la Atalaya y el Moncayo; y la propia Laguna de la Mata, que forma un sector marjalenco subsidente junto a la Laguna de Torrevieja, de la cual se encuentra separada por el anticlinal del Chaparral.

El río Segura es el principal colector y el único curso alóctono del área, participando de la cuenca de mayor vertiente del área y de mayor capacidad de avenida, mientras que el resto de la zona se organiza en pequeños valles cataclinales y ortoclinales que han sido aprovechados por una red de barrancos y ramblas que se precipitan sobre el llano de inundación del Segura o hacia la depresión subsidente de la Laguna de La Mata.

Las dunas de Guardamar están ubicadas en la franja costera, de relieve cuaternario que ha sufrido sucesivas regresiones y transgresiones marinas que desde finales del Plioceno han afectado al litoral. La duna actual cobra importancia en cuanto a superficie ocupada, es el territorio donde alcanza una mayor amplitud, junto a la desembocadura de río Segura.

El término de Guardamar del Segura se inserta dentro de la Unidad Hidrogeológica del Segura-Guadalentín, que se extiende desde Puerto Lumbreras hasta la desembocadura del río Segura, formada por una depresión motivada por una fosa tectónica de unos 1.200 km<sup>2</sup>, rellena de materiales detríticos del Plio-Cuaternario, en la que se distinguen tres grandes sistemas acuíferos:

- Sistema acuífero del Valle del Guadalentín.
- Sistema acuífero de la Vega Alta del Segura.
- Sistema acuífero de las Vegas Media y Baja del Segura.

El sistema acuífero de las Vegas Media y Baja del Segura pertenece al cuaternario aluvial, y está constituido por gravas, gravillas y margas, con una distribución horizontal y vertical bastante heterogénea, mientras que el impermeable base son materiales margosos del Mioceno. En el caso de la Vega Baja, aguas abajo de la línea Callosa-Benijófar se dan dos

## Introducción

---

acuíferos: uno libre o superficial, drenado por el río y los azarbes; y otro profundo, cautivo, de muy poco espesor, y que corresponde a una interfase con aguas muy saladas cuyo origen es marino antiguo. Dentro de este sistema acuífero de la Vega Baja pueden diferenciarse otros subsistemas, de los cuales están presentes en el territorio de Guardamar del Segura los de Torrevieja (al Sur) y de la Vega Baja (al Norte). La escasa altitud del área Norte del municipio de Guardamar del Segura hace que el nivel freático esté muy cercano a la superficie, lo que conlleva una rápida saturación de la capacidad de retención del agua en el suelo, de manera que pronto circula libremente por la superficie. Este espacio septentrional forma parte del acuífero denominado Vega Baja, con aguas de mala calidad, por lo que es claramente excedentario, ya que dada la importante actividad agrícola en toda la comarca, que reutiliza una y otra vez las aguas mediante los azarbes y azarbetas, las aguas subterráneas son de pésima calidad en su mayoría. Por otro lado, las aguas subterráneas de la zona meridional del término quedan dentro del denominado acuífero de Torrevieja, con aguas de baja calidad utilizadas mayoritariamente para uso agrícola (cítricos, cereales, vid y cultivos hortícolas anuales), aunque también se utilizan algunos caudales para usos industriales y recreativos. Se trata de un acuífero en equilibrio, ya que no se producen extracciones desmesuradas, puesto que sus aguas no reúnen las condiciones mínimas para consumo humano, y las producciones agrícolas se nutren básicamente de caudales provenientes del Trasvase Tajo-Segura.

### 1.3.3. Vegetación dunar

La vegetación del pinar de Guardamar del Segura es singular en relación al resto de la zona. Se ha distinguido especialmente una mezcla de vegetación riparia, psammófila y halófila. La vegetación riparia, se localiza en los bordes del cauce del río Segura donde se han visto *Tamarix canariensis*, *Phragmites australis*, *Scirpus maritimus*, *S. littoralis*, *Arundo donax*. En los espacios aledaños alejados del nivel del agua, destaca la presencia de *Bidens tripartita*, *convolvulus sepium*, *Trifolium sp*, *Cynodon dactylon*. La vegetación psammófila se sitúa en el cordón dunar (básicamente formado por la primera, segunda línea dunar, y las dunas fijas) localizado en la desembocadura del río Segura, es una vegetación típica de estos medios; se distingue una primera línea de dunas móviles, con especies adaptadas a estas condiciones que desarrollan órganos subterráneos o rizomas que actúan como fijadores de la arena; entre las principales especies están: *Ammophila arenaria*, *Lotus creticus*, *Sporobolus pugens*, *Cakile maritima*, *Medicago marina*, *Calystega soldanella*, *Polygonum maritimum*. En la segunda línea dunar se encuentran las zonas deprimidas con poco espesor de arena, donde subyace la arenisca compactada y el paleosuelo arcilloso; este sector está colonizado por *Echium sabulicola*, *Pancratium maritimum*, *Silene ramosissima*, *S. litorea*, y fundamentalmente, *Sporobolus pugens*. Por último, las dunas fijadas y sobre la duna fósil se sitúan especies del género *Helianthemum*, *Fumana* y *Phagnalon*, así como una mayor abundancia de *Limonium echiodes*.

También se distinguen especies foráneas a la zona, que fueron introducidas para fijar las dunas. En el sector de la contraduna o duna litoral, se plantó *Agave americana*, y en las vertientes *Psammophilia arenaria* y *Mesembryanthemum crassifolium*. La fijación general de las arenas se llevó a cabo con herbáceas (*Psammophilia arenaria*, *Mesembryanthemum crassifolium*, *Ononis natrix*) y arbóreas (*Pinus pinea* L., *Pinus halepensis* Miller, *Eucalyptus rostrata*, *E. gonphocephala*, *E. resinifera*) en hoyos rellenos de abonos.

Bajo el pinar, aparte de un gran recubrimiento del suelo por las pinochas, se han listado especies de crecimiento natural como *Stipa tenacissima*, *Asparagus acutifolius*, *A. stipularis*.

#### 1.3.4. Descripción de las especies de estudio

##### ***Pinus pinea* L.**

Nombre científico: *Pinus pinea* Linneo.

Conocido comúnmente como: Pino piñonero, pino doncel, pino albar, pino real, pino de la tierra, pino manso, pino de comer, pino de piñón.

##### a) Descripción

Es un árbol robusto de talla media, que puede medir de 20 a 25 m de altura en condiciones óptimas de suelo y clima.

El porte es característico por su copa densa, ensanchada y aplanada en forma de parasol. El tronco es recto y puede ser bastante cilíndrico cuando se le poda adecuadamente. La corteza es considerablemente gruesa de color pardo-grisáceo, profundamente agrietada, desprendiéndose en gruesas placas.

El sistema radical es muy potente, con una raíz principal y unas secundarias bien distribuidas y adaptadas para extraer el agua de las capas más profundas. Las ramas laterales tienden a engrosarse tanto como la guía principal, dando lugar a la característica forma aparasolada característica de la especie. Las hojas, de color verde intenso, son acículas gruesas con un tamaño de 100-200 mm x 1-2 mm. Al igual que en otros pinos ibéricos, se disponen en fascículos de dos insertos en tallos enanos o braquiblastos, que surgen de yemas axilares de las escamas que cubren la yema terminal en reposo (Aránzazu *et al.*, 1997). Se mantienen de tres a cuatro años en el árbol y suponen aproximadamente el 5% de la biomasa total del árbol (sin contar los frutos). Florece entre marzo y mayo, necesitando la piña tres años para madurar. Las piñas son de gran tamaño (8-14 cm de largo por 7-10 cm. de ancho), globosas, de color pardo-rojizo y lustrosas, con escamas ensanchadas hacia el ápice. Cada escama lleva dos grandes piñones, que son comestibles. Los piñones caen durante el otoño del tercer año o en la primavera siguiente. Están provistos de una cáscara dura que les permite mantener su

## Introducción

---

fertilidad varios años. La longevidad de sus individuos oscila entre los 200-250 años, aunque se han citado ejemplares de más de 400 años (Aránzazu *et al.*, 1997).

### b) Requerimientos estacionales y distribución

El piñonero prefiere terrenos arenosos, profundos y frescos, en terrenos planos u ondulados de baja montaña. Así aparece en zonas de depósitos del Cuaternario y en dunas. Si bien se da mejor en terrenos silíceos, soporta bien terrenos con cierta cantidad de carbonatos (se ha encontrado en terrenos con pH entre 4 y 9, lo que nos indica un alto grado de adaptabilidad) aunque no es común en terrenos muy arcillosos, margosos o con yesos. Soporta bien la salinidad del mar, pero no coloniza zonas salinas. Prevalece en zonas donde la precipitación supera los 400 mm aunque también lo encontramos en zonas con valores cerca de los 250 mm. Normalmente recibe entre 400 y 800 mm/año de los cuales entre 100 y 150 pertenecen al periodo veraniego (precisa al menos 50 mm en este periodo).

Resiste la acción de los vientos, incluso cuando provienen del mar y están cargados de sales. En estos casos reducen su porte y presenta ramas muertas en las partes más expuestas que dan protección al resto del árbol. En su área de distribución encontramos temperaturas desde máximas superiores a los 40 °C hasta mínimas inferiores a los -15 °C, aunque casi siempre las temperaturas del mes más frío superan los 0 °C. Por su carácter termófilo lo encontramos normalmente a alturas que van desde el nivel del mar hasta los 1000 m. Prevalece más en zonas de luminosidad intensa. Para su desarrollo óptimo requiere estar espaciado para que así no entren en competencia sus sistemas radicales y es en estas condiciones en las que encontramos los mejores bosques productores de piñas al desarrollar ampliamente su copa.

Es una especie bien adaptada a los incendios forestales al disponer de una corteza gruesa y una copa alejada del suelo. Esto le permite que aunque el fuego pase por debajo suyo a menudo sobreviva, siendo quizás el pino más resistente del mediterráneo. Lo encontramos desde el oeste de Portugal hasta el Mar Negro, el Cáucaso y Siria, pasando por zonas del norte de África y por el sur de Europa. En la península se da bien en la meseta castellana (Valladolid, Segovia, Zamora y Ávila), en el sudoeste peninsular, en la cordillera central, en la cordillera costera catalana, en el sudeste de la Mancha, en Albacete, y Cuenca (Aránzazu *et al.*, 1997).

***Pinus halepensis* Miller.**

Nombre científico: *Pinus halepensis* Miller.

Conocido comúnmente como: Pino carrasco, pincarrasco, pino carrasqueño, pino blanco y pino alepo.

## a) Descripción

Pino de talla mediana alcanzando hasta 20-22 m y de porte variable que va de muy tortuoso en condiciones extremas a recto y bastante cilíndrico en buenas condiciones. La copa, de apariencia esclarecida, inicialmente es piramidal y a partir de los 20 años va tomando una forma globosa. La corteza es de un tono pardo claro, más oscura en las grietas que va formando al envejecer el árbol. Las ramas son delgadas y largas, horizontales las más inferiores y casi verticales las restantes. Hojas aciculares agudas pero no punzantes, agrupadas normalmente de 2 en 2. Son finas y flexibles, de color verde claro, con una longitud de entre 6-12 cm y duran unos dos años. Florece de abril a mayo madurando la piña a finales del segundo verano. Esta es alargada y tiene una longitud de entre 6 y 12 cm, presentándose recurvada en un pedúnculo de uno o dos centímetros. La semilla es un piñón gris oscuro provisto de un ala tres veces más larga que él. La piña puede permanecer cerrada unos cuantos años hasta que por el calor generado en un incendio se abre para así reseminar la zona quemada. No es uno de los pinos más longevos y raramente supera los 250 años.

## b) Requerimientos estacionales y distribución

Gil *et al.* (1996) describe el comportamiento del *Pinus halepensis* Miller como termófilo, xerófilo y calcícola, pero capaz de vivir en sustratos ácidos. Es un pino bien adaptado a terrenos calizos y secos, tolerando suelos calcáreos y margosos, incluso cuando hay yeso. Entre los sustratos que coloniza abundan los margosos y margo-calizos del Secundario y el Terciario; también areniscas, conglomerados o arcillas (Gil *et al.*, 1996).

El rasgo más sobresaliente es sin duda su resistencia a la sequía, es frecuente que aparezca en áreas donde el período seco dura, por lo general de 1 a 5 meses. El límite inferior para poder desarrollarse con normalidad son 250 mm anuales, por debajo de los cuales el crecimiento es muy deficiente y muere en los años más secos. Normalmente lo encontramos en zonas con precipitaciones entre 250 y 800 mm/año soportando precipitaciones entre mayo y septiembre inferiores a los 300 mm (Gil *et al.*, 1996). Es una especie típica en zonas llanas y montañas no muy pendientes con orientaciones soleadas. Prevalece en alturas que van desde el nivel del mar hasta los 1.000 m (aunque también está citado a 1.600 m en el Atlas al norte de África y en la Sierra de las Nieves en Málaga). El factor más determinante para su distribución parece ser la temperatura, especialmente las mínimas invernales.

## Introducción

Al ser la especie más precoz en recomenzar la actividad vegetativa en primavera, es la más sensible a las bajas temperaturas tardías. Estas características le llevan a ocupar zonas con inviernos suaves. En general se limita a zonas en las que la media de las mínimas del mes más frío es superior a  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; las medias anuales están comprendidas entre  $12\text{ y }16\text{ }^{\circ}\text{C}$  y las del mes más cálido entre  $18\text{ y }26\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Gil *et al.*, 1996).

El *P.halepensis* Miller se mezcla con todos los pinos ibéricos a excepción del *Pinus uncinata*. Con el *Pinus pinea* L. forma bosques mixtos en su área de distribución, frecuentemente en situaciones de codominancia (Gil *et al.*, 1996). Es una especie bien adaptada a los incendios forestales por su capacidad regenerativa acentuada por la presencia ya comentada de piñas cerradas con semilla durante todo el año. Tiene un carácter claramente mediterráneo en cuanto a su distribución y se distribuye por su cuenca en zonas generalmente no muy alejadas de la costa excepto en la zona más al este. En la península se encuentra principalmente en el alto Guadalquivir, cabeceras del Tajo y Guadiana, Baleares, Cuenca del Ebro, zona costera mediterránea (excepto Cádiz) y Ciudad Real.

### 1.3.5. Trabajos de repoblación en Guardamar del Segura

A principios de este siglo se realizaron obras de fijación de las dunas posteriores a la línea de costa puesto que su avance hacia peligrar los cultivos y las viviendas. Las dunas avanzaban con una media de 3 a 8 metros al año. Ante la amenaza que suponía esta movilidad (de las dunas) para la población de Guardamar, en el año 1900 comenzaron las tareas de fijación del sistema, comenzando por la porción situada en la margen derecha del río Segura, por ser la más urgente, ya que afectaba directamente a las casas del pueblo y a los cultivos colindantes. La plantación de pinos en las dunas de Guardamar del Segura data de los primeros años del siglo XX, bajo la dirección del ingeniero de montes D. Francisco Mira Codorniu, realizada con el fin de fijar toda la extensión cubierta por las arenas (casi 850 Ha. a lo largo de 16 km. de litoral), y evitar que invadieran el pueblo de Guardamar y las tierras de cultivo (Mira, 1906).

En primer lugar se comenzó la fijación mediante vallas de tablestacas y cañizos, plantando luego en la contraduna Barrón (*Elymus farctus* ex *Ammophilla arenaria*) y *Messembrianthemum crassifolium*, que tapizaron rápidamente el suelo y contuvieron el avance de las arenas. Para la defensa de la superficie contra la acción de los vientos se cubrió con ramaje tendido e hincado, matas de barrón, juncos y brozas y vallas de cañizos. El ramaje tuvo una acción positiva en esta función puesto que protegió del sol a las plantas jóvenes, conservó la humedad del suelo y sirvió de abono tras su descomposición. En una segunda banda se plantó un palmeral de *Phoenix dactylifera*, mientras que en la zona interior se procedió a la repoblación con *Pinus halepensis*, *Pinus pinea* y *Pinus pinaster*, sembrando como plantas protectoras Barrón, Mata Marina (*Ononix natrix*) y Tomatera del Diablo (*Solanum sodomium*). Más tarde se introdujeron en algunas zonas *Cupressus sempervirens horizontalis*, *Eucalyptus globulus*, *E. rostrata*, *E. occidentalis*, *E. robusta*, *Acacia lophanta*, *Tetraclinis articulata* y *Casuarina cunninghamiana*.

En la actualidad, todo este sector ofrece un dominio del pino alepo y el pino piñonero, fruto de la reforestación. Debido a las podas y limpiezas del matorral existente en los pinares, existe un claro predominio de plantas herbáceas como *Fagonia cretica* (endemismo alicantino) junto a algún ejemplar de *Teucrium capitatum* y *Thymus vulgaris*. En los claros existentes además de los géneros ya citados se pueden ver *Sideritis leucantha*, *Asparagus acutifolius*, *Asphodelus fistulosus*, *Helianthemum origanifolium*, *Hordeum murinum*, *Sedum sediforme* y *Brachypodium retusum*.

La introducción de especies arbóreas ha permitido el establecimiento de un pinar que ensombrece y compite con las plantas de porte bajo, las psamófilas originales. Actualmente el estado de la vegetación repoblada que aún pervive es variable. Los pinares están rozando sus límites de vida, ya que sus condiciones son extremas y se han visto agravadas por las últimas sequías, prolongada durante varios años. Además, no existen posibilidades de regeneración natural, por lo que se hace urgente la necesidad de repoblar artificialmente para el mantenimiento de la masa y la consiguiente sujeción de las arenas.

#### 1.4. El ecosistema dunar de Guardamar del Segura

##### 1.4.1. Formación u origen de las dunas.

Las grandes masas de arenas depositadas en la playa tienen dos orígenes: 1) Un origen determinante es la desembocadura del río al mar. Las partículas arrastradas en el río son meteorizadas y depositadas en el mar. Este arrastre determina un génesis dunar llamado transporte litoral. 2) Estas partículas de arenas depositadas en el mar son depositadas en las playas a través del movimiento del agua. Cuanto más grande sea el temporal (como en el caso de una tormenta) mayor cantidad de arena es depositado en la playa. Este origen es comúnmente llamado génesis dunar eólico (Aldegue, 1989).

En el caso de las dunas de Guardamar, la formación de éstas proviene de la cuenca del río Segura que afecta una amplia superficie de playas de la bahía de Santa Pola y que tuvo importantes contribuciones de arena a principios del siglo XIX. Son dunas bien desarrolladas morfológicamente y con una general y local protección (Sanjaume y Pardo, 1992).

##### 1.4.2. Características de movilidad e inmovilidad

El sustrato dunar depositado es considerado en general como un suelo mineral bruto, carente de un complejo húmico-arcilloso y adsorbente, hecho acentuado en dunas de origen calcáreo (Martín, J. *et al*, 1989). El sistema dunar sufre varios procesos de "acomodamiento" desde que llega a la playa. Según su posición lleva distintos denominativos. En la primera línea se encuentran las *dunas móviles*, las más dinámicas tanto temporal como espacialmente en su estructura vegetal como de fauna. Las *dunas fijas*, las menos dinámicas y donde se encuentran

## Introducción

---

una fauna y vegetación características. Existen también *dunas con alguna fijación*, el cual generalmente se ubica luego de las móviles o en medio de las dunas fijas.

La dinámica de estos suelos está determinada por el acúmulo costero de material arenoso procedente de depósitos marinos, vientos, humedad, salinidad y otros, lo que origina diversos tipos de consistencia. La gradación que sufren en función a la distancia del mar da lugar a una distribución y ordenación espacial de las especies vegetales, razón por la cual un sitio puede caracterizarse por la presencia o no de alguna de éstas. De esta característica de ordenación surge un proceso de fijación dunar, la cual en realidad vendría a ser un proceso particular de sucesión ecológica en series espaciales en un mismo plano.

### 1.4.3. Vegetación característica del sistema dunar

En *dunas móviles*: Las plantas de estos sitios, en general en la primera línea de la costa, sufren una serie de procesos de enterramientos y desenterramientos, lo que supone diferentes estrategias de adaptación. Estructuras vegetativas capaces de alargarse en varios metros, formación de tubérculos, rizomas, etc. son característicos de estas plantas. Especies como: *Ammophila arenaria*, *Lotus creticus*, *Sporobolus arenarius*, *Crucianella maritima*, *Medicago marina*, *Polygonum maritimum*, *Salsola kali*, *Cakile maritima*, entre otros.

Detrás de las anteriores dunas, una zona de abrigo poco deprimida, en general se puede localizar: *Pancratium*, *Silene*, *Echium*, y otros.

En dunas fijas, un sustrato más compacto, de duna fósil, relieves suaves, y pequeñas lomas, donde se localiza en general *Helianthemum*, *Fumana*, *Reicardia*, *Phagnalon*, *Limonium echioides*; especies arbóreas como *Pinus pinea* L., *P. halepensis* Miller, *Eucaliptus* sp.



## 1.5 Referencias

- Aldeguer, M. (1989)** Dinámica litoral y génesis dunar. *En:* Escarré A., Martín J., Seva E. (Ed.) Estudios Sobre El Medio y la Biocenosis en los Arenales Costeros de la Provincia de Alicante. 15-26 pp.
- Aránzazu Prada, M., Gordo, J., De Miguel, J., Mutke, S., Catalán-Bachiller, G., Iglesias, S., Gil, L. (1997).** Las regiones de procedencia de *Pinus pinea* L. en España. (Ed.) Organismo Autónomo Parques Nacionales. 109 pp.
- Bellot, J. y Escarré, A. (1989)** Efecto del estado de desarrollo del bosque mediterráneo sobre la distribución del agua de lluvia y nutrientes en el suelo forestal. *Options Méditerranéennes – Série Séminaires – No. 3*, 1989: 221-225. CIHEAM.
- Cantú, S.I., y Gonzáles, R.H. (2002)** Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de pino-encino en el noreste de México. *Ciencia UANL*, Vol V, No. 1, Enero-Marzo 2002.
- Escarré, E.A., Lledó, S.M.J., Bellot, A.J., Martín, M.J., Escaplés, P.A., Seva, R.E., Rovira, J.A., Sánchez, M.J.R. (1986)** Balance hídrico, meteorización y erosión en una pequeña cuenca de encinar mediterráneo (Proyecto LUCDEME). *En:* Instituto nacional para la Conservación de la Naturaleza. Proyecto LUCDEME II. Monografías 47. 57-115 pp.
- Estevez, A., y Pina, J.A. (1989)** Dunas, playas y marjales del cuaternario en el litoral sur de la provincia de Alicante. *En:* Escarré A., Martín J., Seva E. (Ed.) Estudios Sobre El Medio y la Biocenosis en los Arenales Costeros de la Provincia de Alicante. 15-26 pp.
- Flores, H.E., y Ruíz, J.A. (1998)** Estimación de la humedad del suelo para maíz de temporal mediante un balance hídrico. *Terra*, Vol 16, No. 3, 219-229.
- Gil, L., Díaz-Fernández, P.M., Jiménez, M.P., Roldán, M., Alía, R., Agúndez, D., De Miguel, J., Martín, S., De Tuero, M. (1996).** Las Regiones de Procedencia de *Pinus halepensis* Mill. en España. Ed. Organismo Autónomo Parques Nacionales, 113 pp.
- Gracia, C., Sabaté, S., and Tello, E. (1997)** Modelling the response to climate change of Mediterranean forest managed at different thinning intensities: effects on growth and water fluxes. *En:* G.M.J. Mohren, K. Kramer and S. Sabaté. Eds.: A: Impacts of global change on tree physiology and forest ecosystems. Kluwer Academic Publishers, 329-338 pp.
- Gracia, C. A., Sabaté, S., Martínez, J.M., Albeza, E. (1999)** Functional responses to thinning. Rodà, F., C.A., Retana, J., Gracia, and Bellot, J. Eds. *En:* Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forest. Ecological Studies Vol. 137. Heidelberg, Springer-Verlag. 329-228 pp.
- Lledó, M.J. y Piñol, J. (1989)** Balance hídrico de dos cuencas de encinar de la serra de Prades (Tarragona). *Options Méditerranéennes – Série Séminaires – No. 3*, 1989: 227-231. CIHEAM.
- Martín, J., Seva, E., Escarré, A. (1989)** Características del sustrato dunar. *En:* Escarré, A. y Seva, E. (Eds). Estudios Sobre el Medio y la Biocenosis en los Arenales Costeros de la Provincia de Alicante. 51-62 pp.

*Introducción*

---

- Mirá, B. F. (1906)** Las dunas de Guardamar. Memorias de la SEHN. Tomo IV. Memoria 2: 57-77.
- Noy-Meir, I. (1973)** Desert ecosystems: environment and producers. *Ann. Review of Ecology and Systematics* 4: 25-51.
- Pérez-Cueva, A.J. (1994)** Atlas Climàtic de la Comunitat Valenciana. Generalitat Valenciana. Valencia. 1994. 205 pag.
- Sanjaume, E., Pardo, J. (1992)** The dunes of the Valencian COSAT (Spain): Past and Present. *En: Carter, Curtis, and Sheehy-Skeffington (Eds). Coastal Dunes. Balkema. 475-486 pp.*
- Schäfer, K.V.R., Oren, R., Lai, C., Katul, G.G. (2002)** Hydrologic balance in an intact temperate forest ecosystem under ambient and elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. *Global Change Biology* (2002) 8, 895-911.
- Xiao, Q., McPherson, E.G., Ustin, S.L., Grismer, M.E., Simpson, J.R. (2000)** Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. *Hydrological Processes* 14, 763-784 (2000).
- Yassoglou, N. (1987)** Land use in the dry Mediterranean Region. *En: Eremology (Desert Science). 355-373pp. Proceedings of a Post-Graduate Course held in Ghent, Belgium, 31 August to 25 September 1987. 427 pag.*



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

*La ciència és o ha de ser com la bona música, en part anticipable, en part sorpresa, encara que reconec que, tanmateix, ajudant a recollir la brossa es pot tenir, de tant en tant, alguna sorpresa agradable.*

**Ramón Margalef i Lòpez**



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## CAPITULO 2

### RESPUESTA DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR A LA VARIABILIDAD ESTACIONAL Y ESPACIAL EN EL PINAR DE GUARDAMAR DEL SEGURA

#### 2.1. Resumen

Se ha estimado el Índice de Área Foliar (LAI) en un pinar costero del sureste español, que se obtuvo mediante una histórica repoblación forestal sobre dunas móviles efectuada durante el periodo 1897-1926. El LAI se ha medido utilizando el LAI-2000 en cuatro estaciones (primavera y verano del 2002, primavera y verano del 2003), y en 132 puntos georeferenciados siguiendo un transecto imaginario perpendicular a la línea de la costa. Los valores medios para cada uno de los periodos mencionados fueron de  $3.67 \pm 2.2.8$ ,  $1.84 \pm 1.14$ ,  $2.65 \pm 1.63$  y de  $2.00 \pm 1.21$ , respectivamente. La comparación de medias utilizando el test de Tukey al 5% muestra diferencias significativas entre las dos primaveras, pero no entre los dos veranos. Tratando las primaveras frente a los dos veranos, se observan diferencias significativas. Los valores extremos puntuales de LAI fueron de 9.78 en la primavera del 2002 el mayor y de 0.24 el más bajo que se registró en verano del mismo año. De la misma forma se ha encontrado una variación espacial en el cuadrilátero imaginario mencionado. Los valores más bajos se han localizado en las zonas cercanas a la costa del mar (entre 1.14 y 1.34 en promedio), y los valores más altos se han encontrado en las zonas más alejadas de la costa (entre 8.40 y 6.35 en promedio), aunque ésta dependió de la situación de los árboles; la distribución espacial del LAI dependió también de la topografía, la influencia del mar y las condiciones medioambientales. Así, los mayores valores de LAI (9.78) se encuentran en las depresiones de las dunas, alejadas de la zona de la costa y ubicados en dunas fijas; el valor más bajo (0.24) se ha estimado estar en una zona cercana a la costa, en el pico de una duna con características de movilidad. Estos resultados nos han indicado que existe una estrecha relación del LAI con las características topográficas y del medio, y que pueden variar de acuerdo a la evolución estacional.

## 2.2. Introducción.

### 2.2.1. Estructura de la cubierta vegetal

El término estructura de la cubierta es definido por Norman y Campbell (1989) como la cantidad y organización del material de la planta por encima del suelo, aunque también podría incluirse a las raíces; otros autores la definen como el conjunto de rasgos que describen la forma, tamaño, geometría y estructura externa de una planta o comunidad (Ross, 1981), así como un complejo y dinámico resultado de las interacciones evolutivas y ecológicas y de realimentación entre la vegetación y su medio ambiente (Chason *et al.*, 1991). En consecuencia este concepto supone medir parámetros desde los niveles más elementales del individuo (hojas, ramillos y ramas) hasta el nivel de masa (densidad de plantas, modelos de distribución espacial de los individuos, grado de solapamiento y otros).

La estructura de la cubierta vegetal afecta fuertemente la productividad primaria neta del sistema debajo de ella, modulando la luz, temperatura, viento y humedad ambiental de éste (Meyers y Paw U., 1986 citados en Chason *et al.*, 1991). En la práctica, las descripciones de la estructura de la cubierta vegetal se reducen a dar unos pocos parámetros, algunos de los cuales son relativamente fáciles de medir como los parámetros dendrométricos y dasométricos, y otros más difíciles y costosos, como la cantidad y orientación de follaje, ramas, flores y frutos, en el campo forestal.

La superficie de follaje referida a la unidad de superficie de terreno que ocupa ésta, es el parámetro más utilizado en términos de estudios del follaje, puesto que ha mostrado estar asociado con procesos claves del ecosistema: flujo de CO<sub>2</sub> y vapor de agua, ya que estos están muy relacionados con la superficie específica foliar y la densidad de estomas de las hojas (Jarvis y Stewart, 1979), la interceptación de la lluvia y la producción del agua en la cuenca, la cual varía según la capacidad de almacenamiento y las características foliares (Vertessy *et al.*, 1995). De la misma manera, participa en la detección prematura del estrés natural y antropogénico en ecosistemas forestales, ambos identificados por la reducción de la eficiencia de crecimiento de los árboles (Waring, 1985). Participa como indicador de la productividad y de crecimiento del tronco, debido a que el incremento de la superficie foliar está directamente correlacionado al incremento del diámetro del tronco (Waring *et al.*, 1981). El LAI se ha utilizado en la obtención de índices de vegetación a través de teledetección (Spanner *et al.*, 1990), así como información de entrada en distintos tipos de modelos: de relaciones planta y ambiente, crecimiento y producción, radiación y cubierta vegetal, e incluso en modelos meteorológicos de predicción del tiempo (Perry *et al.*, 1988).

En las regiones con clima mediterráneo, los aspectos relacionados con la utilización de los recursos hídricos por los vegetales son de gran interés debido a la escasez de los mismos, al

### Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

---

menos durante un periodo prolongado del ciclo anual, coincidiendo con la época favorable para el desarrollo vegetal (altas temperaturas).

La relación área de tejidos fotosintéticamente activos y superficie de suelo (en concepto el índice de área foliar), es un parámetro ecofisiológico que permite estimar la producción vegetal de un área determinada. Como herramienta se ha utilizado en comparaciones de cambio estacional, ya que está relacionada con la variación foliar especialmente en especies caducifolias. Este índice es la característica morfológica más importante que afecta a la productividad de una masa forestal porque está relacionado con los procesos de intercambio energético y gaseoso como la fotosíntesis y la respiración (Harrington *et al*, 2002).

El índice de área foliar (LAI) es uno de los índices más estudiados para estimar los procesos de producción en ecosistemas, por las siguientes razones: (a) permite caracterizar la estructura de la cubierta vegetal (Mussche *et al.*, 2001), (b) relaciona los procesos clave del ecosistema, el balance hidrológico y de energía (Feldkirchner y Gower, 2001; Bolstad y Gower, 1990), (c) es de fundamental importancia para estimaciones de intercambio de carbono, agua, nutrientes y luz (Thomas y Winner, 2000; Gower y Norman, 1991).

#### 2.2.2. Definición del índice de área foliar

En general, el índice de área foliar (LAI) para coníferas está definido como la mitad del área total de las acículas por unidad de área de superficie de suelo (Walter *et al.*, 2003) (Fig. 2). Esta definición separa los componentes del follaje en acículas y ramas, siendo estas primeras las que determinan el índice estudiado. Además esta definición se basa en la superficie proyectada sobre un plano. El LAI es una medida adimensional que también se expresa como  $m^2$  de superficie de hojas por  $m^2$  de superficie de suelo.

Cuando se incluye en estas estimaciones, no sólo la superficie de las hojas, sino también todos los componentes aéreos de la planta, algunos autores han denominado a este conjunto como el índice de área de la planta (PAI) (Martens *et al.*, 1993; Smolander y Stenberg, 1996; Bréda, 2003). El concepto de PAI encierra todos los componentes aéreos de la planta, es decir, el índice de área foliar (LAI) e índice de toda el área leñosa de la planta (WAI).





**Figura 2.** Visualización esquemática del índice de área foliar (LAI) de un individuo de *Pinus pinea* L. Nótese la proyección de la sombra de la copa del árbol sobre el suelo.

### 2.2.3. Procedimientos para medir el LAI

Los métodos de estimación del área foliar de comunidades vegetales, tal como los conocemos actualmente, tienen su origen en aquellos procedimientos que permitían estimar, a los botánicos y otros investigadores de los años 20 y 30, la composición florística de comunidades de vegetales tales como los pastizales. Cockaine (1926), fue uno de los primeros que utilizó esta metodología para el estudio de la vegetación; pero fue en Nueva Zelanda donde Levy y Madden (1933) propusieron un método de muestreo puntual vertical, el método del punto cuadrático (point quadrat method). Demostraron que se podía obtener una estimación cuantitativa de la composición del pastizal haciendo atravesar verticalmente la vegetación por una aguja; los distintos puntos de contacto daban una estimación del LAI (Warren y Reeve, 1959). Esta idea fue perfeccionándose, y pasó por diferentes fases como el "inclined point quadrat" (Tinney *et al.*, 1937) hasta llegar a Watson (1947) que propuso la estimación del Índice de Área Foliar en un estudio sobre la variación de la tasa de asimilación neta y el área foliar entre especies y en el tiempo (Groeneveld, 1997).

## Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

---

Los métodos para determinar el área foliar se clasifican según el tratamiento que se les dé a las muestras y se pueden clasificar en dos, métodos destructivos o directos, métodos de estimación y métodos no destructivos.

### **Métodos destructivos o directos**

En estos métodos se requiere arrancar las hojas o acículas de la planta, es decir requieren la destrucción de las muestras objeto de estudio (Welles, 1990). La mayoría de estos métodos se desarrollan en laboratorio y entre los más comunes podemos citar el método del planímetro, dibujo de las hojas sobre papel milimetrado y método gravimétrico (Lallana, 1999).

Aunque el método directo para estimar el LAI es el más eficaz, pues es destructivo y muy laborioso (Eklundh *et al.*, 2001; Nilson *et al.*, 1999), y no permite trabajos de investigación de períodos largos, ya que debe realizarse un considerable trabajo de campo. Comprenden desde la recolección de acículas de un área determinada (Gower *et al.*, 1999) y la aplicación de ecuaciones alométricas a datos de diámetros de un rodal (Law *et al.*, 2001; Cherry *et al.*, 1998), hasta la recolección de hojarasca (Law *et al.*, 2001; Hebert y Jack, 1998).

### **Métodos no destructivos o indirectos**

En esta categoría se incluyen aquellos métodos que pueden ser usados a campo sin necesidad de destruir las muestras. Buscando evitar los esfuerzos del método directo, se han desarrollado estimaciones indirectas que van desde la captación de imágenes de la copa de los árboles (Walter *et al.*, 2003; Leblanc *et al.*, 2002; Martens *et al.*, 1993; Bolstad y Gower, 1990), pasando por el desarrollo de expresiones empíricas a partir de mediciones de arquitectura de la planta (Barrantes y Gracia, 1989), hasta el análisis de imágenes de satélite (Eklundh *et al.*, 2001; Nilson *et al.*, 1999).

Los métodos indirectos, llamados de mediciones ópticas, se basan en la medición de la transmisión de la radiación que atraviesa la copa del árbol, utilizando la teoría de transferencia de radiación (Bréda, 2003). Están basados en una aproximación estadística y probabilística de distribución y arreglo del elemento foliar (o su complemento, la fracción de vacíos) en la copa del árbol. En este sentido existe dos formas de estimar el LAI, a través de la medición de la fracción de vacíos o la medición de la radiación. La medición de la radiación asume que las hojas de la copa del árbol están distribuidas al azar y las hojas individualmente son pequeñas en comparación con la copa del árbol. Con estas suposiciones la fracción de vacíos es equivalente a la transmitancia de la radiación a través de esta estructura.

En la base de éstas metodologías, está la ley de Beer-Lambert, que expresa la atenuación de la radiación en un medio turbido homogéneo. En tal medio, el flujo es absorbido proporcionalmente a la distancia óptica; es decir, cuanto más alejado de la luz, más oscuro.

Este método necesita de la medición de la radiación por encima y debajo de la copa, basándonos en (Monsi y Saeki, 1953 citado por Bréda, 2003):

$$I = I_0 e^{(-k \cdot LAI)} \rightarrow LAI = \frac{-1}{k \cdot \ln(I/I_0)}$$

Donde  $I_0$  es la radiación incidente,  $I$  es la radiación transmitida por debajo de la copa del árbol, LAI es el índice de área foliar y  $k$  es el coeficiente de extinción y es una función de la distribución de los ángulos de las hojas y el ángulo acimutal de la hoja. La medición de  $k$  ha sido muy discutida. Pierce y Running (1988) propusieron el uso de un valor constante de  $k$  como 0.52 para coníferas.

El método que opta por la medición de la fracción de vacíos o huecos y la distribución angular de la fracción de éstos en la cubierta vegetal requiere la medición simultánea de estos parámetros, y es lo que realiza el LAI-2000 (Li-Cor, 1991a). Este aparato mide la atenuación de la radiación difusa que viene de la atmósfera y que penetra los diferentes estratos verticales de una cubierta vegetal utilizando simultáneamente 5 diferentes ángulos cenit, calculando para estos, un índice de existencia de cobertura por encima del dosel del bosque y por debajo de ésta (Law *et al.*, 2001). Se asume una serie de condiciones (Li-Cor, 1991a):

- (a) Que el follaje es totalmente negro, o que bloquea la luz. Se asume que las lecturas por debajo de la copa del árbol no incluye ninguna radiación directa que haya sido reflejada o transmitida. El aparato tiene filtros que rechazan las radiaciones mayores a 490 nm, pero el follaje refleja y transmite una pequeña radiación en el resto del espectro,
- (b) Que los elementos del follaje son pequeños en relación al resto del campo a la visión del sensor
- (c) Que el follaje está orientado al azar respecto del ángulo acimutal
- (d) Que el follaje dentro de la estructura de la copa está distribuido al azar.

Por otro lado, se ha puesto en evidencia que este instrumento mide un índice de la totalidad de la planta incluyendo la parte leñosa (Smolander y Stenberg, 1996) y las hojas y ramas muertas que quedan sostenidas entre las ramas vivas (Vose y Swank, 1990). Además, en pinos, las acículas se agrupan en ramillos que no están distribuidos al azar (los ramillos son las ramitas terminales de las cuales brotan las acículas) (Eklundh *et al.*, 2001), y tiene agrupaciones del follaje a escala superiores a la del ramillo (que es la organización estructural a nivel de ramas, a nivel de verticilos, copas, y cubierta total) (Chen *et al.*, 1997), incurriendo por tanto en una subestimación del valor del LAI (Nilson, 1999; Nilson *et al.*, 1999; Smith *et al.*, 1993, citado por Thomas y Winner, 2000; Stenberg *et al.*, 1994; Deblonde *et al.*, 1994; Gower y Norman, 1991). En realidad los métodos indirectos no miden el índice de área foliar, ya que todos los

### Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

elementos de la copa del árbol interceptan la radiación; por otro lado, todos los instrumentos de mediciones ópticas, como el LAI-2000 (el ceptómetro, entre otros) no distinguen el follaje del material leñoso, por lo tanto miden el índice de área de la totalidad de la copa de la planta (Gower *et al.*, 1999). En consecuencia, el término índice de área de la planta (PAI) es el término más apropiado si es que no se realiza una corrección para sustraer la influencia de estos elementos.

Las mediciones serán subestimadas en casos donde la copa de los árboles no son continuas, existen muchos huecos en la estructura de la copa del árbol, o espacios muy grandes dentro de la organización de la cubierta, que podrían encerrar errores en la medición y de criterios de aplicación de método. Por ejemplo, en regiones costeras, la incidencia del vapor de agua marina hace que la copa del árbol se deforme y se incline en dirección opuesta a la del viento, causante de este efecto (Raventós, *et al.*, 2001). Para esta eventualidad, Li-Cor (1991a) propone utilizar un tapón específico (por ejemplo el de 45°), para restringir las vistas del sensor en el campo, de manera que las regiones densas como abiertas quedan incluidas separadamente en las lecturas por debajo de la copa.

#### 2.2.4. El LAI en la dinámica estacional

El LAI no sólo se considera una característica estructural importante de la copa del árbol, sino también, una variable biofísica que influye en los valores de fotosíntesis, transpiración y balance de energías. Esta energía entrante depende de la arquitectura del individuo así como de su reflectancia.

Existe una clara correlación entre el índice de área foliar y la producción de biomasa, ya que el primero depende de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente en las hojas productoras de carbohidratos. Esta radiación es variable a lo largo del día así como de una estación a otra. En general, el LAI máximo ocurre cuando la planta llega a su máximo intercambio de gases (con el equilibrio de la fotosíntesis y la respiración), que se puede dar en primavera, cuando existe alta disponibilidad de agua como de PAR. El conocimiento del comportamiento estacional del LAI es utilizado como una herramienta de diagnóstico en el manejo forestal a fin de predecir la productividad actual y potencial (Timothy, *et.al.*, 2002), aunque algunos autores como Nackaerts *et.al.* (2000) opinan que cuando la estructura de una planta no cambia substancialmente de un periodo a otro, y si es de nuestro interés la cuantificación precisa de los cambios temporales en un nivel de un grupo de árboles, la corrección por la influencia de la estructura, no sería necesaria. En este caso, las mediciones del LAI a nivel grupo de árboles necesitaría alta precisión en el período referido.

Así mismo, las diferencias estacionales en el LAI, aporta información sobre el intercambio de CO<sub>2</sub> en los ecosistemas, ya que estos procesos están muy ligados a la fenología de la planta (Gond, *et.al.*, 1999). Los estudios fenológicos incluyen: la amplitud de la estación, el ciclo y la

duración de las fenofases, el análisis del crecimiento de la planta, correlaciones entre los factores medioambientales y eventos fenológicos, y el monitoreo y modelaje de la dinámica estacional del carbono (Luo *et al.*, 2002).

Los cambios estacionales en una masa forestal están administrados por los cambios de temperatura y radiación. Bosques tropicales y subtropicales, tienen una respuesta de crecimiento variable; en cambio, los bosques temperados son marcadamente estacionales, es decir, es notorio el cambio estructural de la planta de una estación a otra. Por tanto, la masa forestal puede cambiar cuantitativamente en cada período, y esto se puede interpretar a través de una función periódica (una curva simétrica sinusoidal o una curva de Gauss) (Luo *et al.*, 2002) que describe el período de mayor crecimiento de hojas (el pico de esta curva) en el período de mejores condiciones climáticas y medioambientales ( $t_2$ ) (Fig. 3) (Field y Mooney, 1983). En la región mediterránea esta condición se daría en el periodo primaveral.

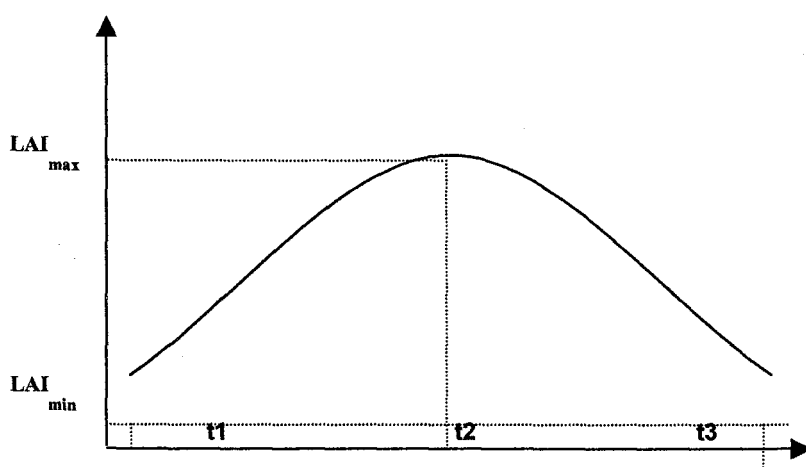


Figura 3. Recorrido estacional teórico del LAI.

## Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

---

### 2.2.5. Hipótesis y objetivos

Las principales investigaciones respecto del LAI apuntan al muestreo de ramas y acículas sólo en periodos de máxima producción, y la mayoría no ha considerado la variación estacional. Pero, ¿Cómo influyen las épocas de producción en los valores del LAI?

De la misma forma se ha evidenciado que la productividad del pinar de Guardamar no es evidente (Escarré, 2000). Por lo que nos cuestionamos, ¿se podrán utilizar mediciones indirectas del LAI para contrastar la limitada producción del pinar?. Y si se puede, ¿en cuanto es afectado el índice de área foliar por esta variación?, ¿cómo es afectado este índice espacialmente dentro de un periodo?, ¿existe mayor variación en alguna de las especies arbóreas predominantes?.

#### **Hipótesis**

No existe variabilidad estacional ni espacial en la distribución del LAI.

#### **Objetivos**

Objetivo general: Estudiar los factores que determinan la variabilidad del LAI en el pinar de Guardamar del Segura.

Objetivos específicos:

- Estimar la variación del índice de área foliar (LAI) en dos periodos estacionales extremos.
- Estimar la distribución espacial del LAI en el pinar de Guardamar.

## 2.3. Materiales y métodos

### 2.3.1. Localización

#### Sítio de estudio

El estudio se realizó en un transecto imaginario del pinar de Guardamar del Segura, ubicado en las formaciones dunares (38°06.128' N 0°38.965' W). El ancho es de 750 m y su largo de 175 m; con 22 horizontales y 6 verticales, totalizando 132 puntos georeferenciados. Estos puntos están separados 35 m unos de otros (Fig. 4).

#### Vegetación predominante

Está formada por una serie de manchas de especies arbustivas y perennes características de esta zona. El estrato arbóreo está caracterizado por la presencia de especies coníferas como el pino alepo y piñonero. La vegetación arbustiva y subarbustiva esta conformada por diferentes plantas psamófitas características e introducidas de las comunidades dunares. Datos de esta población se pueden resumir en la tabla 1.

**Tabla 1.** Población arbórea predominante en el pinar de Guardamar del Segura

Nombre científico	%	Porte
<i>Pinus pinea</i> L.	40.0	Árbol
<i>Pinus halepensis</i> Miller	45.0	Árbol
<i>Eucaliptus</i> sp	5.0	Árbol
<i>Cupresus</i> sp.	0.1	Árbol
<i>Washingtonia filifera</i> (Linden) Wendland	0.5	Palmera abanico
<i>Phoenix dactylifera</i>	0.5	Palmera

#### Estructura del estrato arbóreo

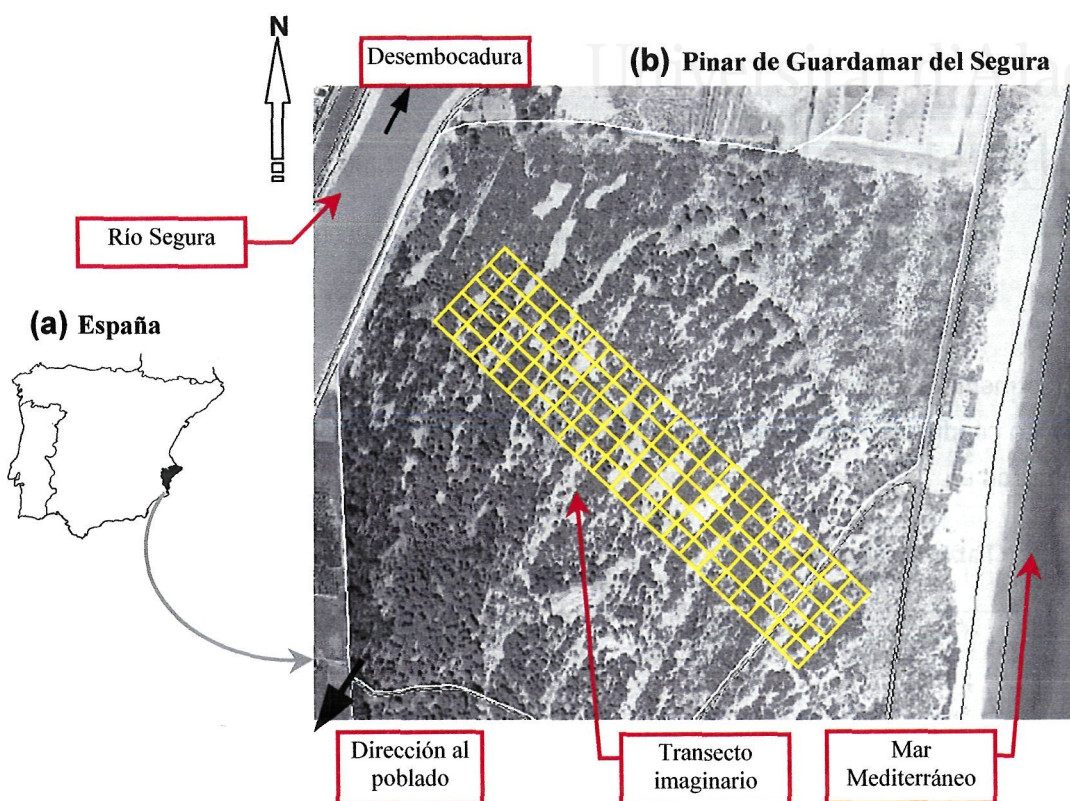
Dada la inexistencia previa de datos de estructuración arbórea del transecto, se realizó un diagnóstico de reconocimiento de esta zona de estudio, la cual nos mostró las siguientes características: densidad de plantación de árboles predominantes que varía de 3x2 y 2x2 m de distancia entre árboles, densidad que oscila entre 417 a 625 árboles/Ha (promedio de 521 árboles/Ha). La altura media de los árboles es de 3.84±1.51 m, su diámetro normal (diámetro a la altura del pecho) es de 13.78±6.07 cm, para ambas especies y una rango de diámetros que van desde 3.2 a 55 cm de diámetro.

### 2.3.2. Estimaciones y procedimiento de medición

Para la estimación del LAI se utilizó el LAI-2000 Analizador de copa de árboles (Fig. 5) (*Plant Canopy Analyzer* por las siglas en inglés) (Li-Cor, Inc., 1991a) el cual integra la transmisión de radiación a través de la copa de los árboles o el dosel a 0.32 a 0.49  $\mu\text{m}$  a 5 diferentes ángulos

Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

zenith (0-7°, 16-28°, 32-43°, 47-58°, 61-74°) (Fig. 5). Las medidas se realizaron en condiciones de radiación difusa es decir, en días nublados y al atardecer. Para minimizar la influencia de los espacios entre las copas de árboles y la subsecuente sobrestimación del LAI, se utilizó el tapón de 45°.

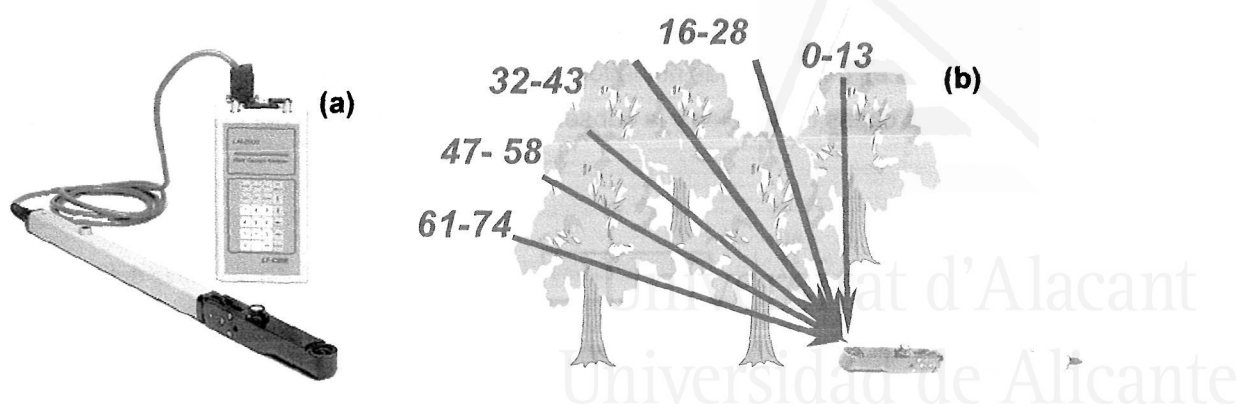


**Figura 4.** Situación del transecto imaginario donde se estudió el LAI en la pinada de Guardamar del Segura con respecto al río y su desembocadura, y la posición geográfica en España.

Las mediciones empezaron en marzo del 2002 (primavera) y continuaron una vez por estación, hasta agosto del 2003 (verano).

Las mediciones del LAI fueron realizadas en condiciones de luz difusa, en la mañana antes de la salida completa del sol, o al atardecer después de la puesta del sol, o en días nublados. El sensor fue sostenido horizontalmente siempre a 1.30 m, dando la espalda a los rayos solares, manteniendo siempre esta altura para no incluir en las lecturas las plantas herbáceas del sitio.





**Figura 5.** (a) Aparato utilizado en la medición del LAI (LAI-2000). (b) Esquemización del visor del LAI en la medición de un grupo de árboles.

Estas mediciones fueron realizadas en cada uno de los vértices del transecto imaginario (Fig. 4b). La cuadrícula amarilla señala el camino recorrido en la toma de mediciones. En total se ha trabajado en 13.12 Ha de superficie.

**Tabla 2.** Distribución de las estaciones en los años de investigación en el pinar de Guardamar del Segura.

Año	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
2001			23-Sep al 21-Dic	22-Dic al 20-Mar
2002	21-Mar al 21-Jun	22-Jun al 21-Sep	23-Sep al 21-Dic	22-Dic al 20-Mar
2003	21-Mar al 21-Jun	22-Jun al 21-Sep		

A fin de obtener los factores de corrección del LAI-2000 se realizó la obtención del LAI a partir de un muestreo semi-destructivo en una parcela vallada del pinar (para detalles, ver anexo 1).

### 2.3.3. Metodología

#### **Medición con el LAI-2000: Consideraciones previas a la toma de datos.**

Para la obtención de datos con el LAI-2000 se necesita tomar los datos por encima y por debajo de la copa del árbol. Se ha tomado una sola lectura por encima de la copa. Para las lecturas por debajo y arriba de la copa del árbol se ha calculado el número de veces de la primera, realizando una previa medición basada en 6 medidas por debajo de la copa, incluyendo las zonas más densas y menos densas de la pinada. Luego se ha hallado el cociente de la desviación estándar y el LAI, obteniéndose así el número de veces a medirse por debajo de la copa del árbol en cada punto del transecto. Para evitar la interacción del operador y la topografía dunar, se ha dividido cada transecto en subtransectos (Li-cor, 1991a), dibujando de esta forma en el sitio un transecto conformado por rejillas de 13.5x13.5 m.

Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

Se realizaron cuatro mediciones estacionales. Dos en épocas contrastantes, el período comprendido entre el de mayor crecimiento o aparición de rebrotes en las ramas (02-04-2002 y 13-04-2003) y el de mínimo crecimiento (29-07-2002 y 01-08-2003), es decir, en primavera y verano, y dos en las otras dos estaciones.

El trabajo de campo se realizó evitando las condiciones de medición que puedan afectar los resultados en este instrumento, como pueden ser:

- El ángulo de incidencia de los rayos solares: El cual se evitó midiendo en las mañanas o tardes,
- La posición del operador con respecto al sol: Colocándonos siempre entre el aparato y la posición del sol,
- La posición de los árboles a la hora de tomar las mediciones: Evitando caer exactamente al lado del tronco principal del árbol, y dando uno o dos pasos para caer por debajo de la copa,
- Óptimas condiciones de iluminación al momento de tomar las mediciones: Los cuales fueron los días nublados .

Para todos los casos se ha utilizado el tapón del visor de 45°. Se han considerado todas las mediciones de todos los filtros del sensor del LAI-2000 ya que los valores del LAI corregido fueron inferiores a las esperadas y su tendencia ha sido similar en todos los casos (Leblanc y Chen, 2001; Li-Cor, 1991b).

**Correcciones de los datos del LAI-2000.**

Según Gower y Norman (1991) en coníferas lo que se mide con el LAI-200 es el índice de área del vástago, por lo tanto, es necesario realizar una corrección de las lecturas de LAI de este instrumento, multiplicando este resultado por un coeficiente. Chen y Cihlar, (1995) y Chen (1996) indican que este coeficiente se puede calcular de la siguiente manera:

$$LAI = (1 - \alpha) LAI_e \left( \frac{\gamma_E}{\Omega_E} \right) \quad (1)$$

Donde:

- $\alpha$  = Parte leñosa (razón entre el área de la superficie leñosa y el área de la superficie total),
- $LAI_e$  = Índice de área obtenido con el LAI-2000
- $\gamma_E$  = Razón área de acículas a ramillo
- $\Omega_E$  = Índice de agrupamiento para escalas superiores a las del ramillo.

Los índices de corrección obtenidos a través del método semi-destructivo (descrito en el Anexo 1), se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3.** Resumen de valores del LAI-2000, y los índices de corrección obtenidos en la copa de los árboles de dos especies de pinos en el sitio de experimentación de Guardamar del Segura.  $\Omega$  se tomó de Chen *et al.*, (1997) promediando los valores de los pinos longevos.

Especie	Código	Diámetro normal (m)	Altura de árbol (m)	(1- $\alpha$ )	$\gamma_E$	$\Omega_E$	Índice de corrección
<i>P. halepensis</i> Miller	a	0.14	5.30	0.44	1.13	0.77	0.64
	b	0.18	6.00	0.57	0.92	0.77	0.68
	c	0.12	4.00	0.50	0.79	0.77	0.51
	AW	0.09	3.20	0.64	0.91	0.77	0.79
	AP	0.12	6.00	0.60	1.13	0.77	0.88
	AQL	0.14	6.00	0.79	0.84	0.77	0.86
	A48	0.17	5.10	0.67	1.01	0.77	0.88
<i>P. pinea</i> L.	A	0.14	5.20	0.65	0.84	0.77	0.71
	B	0.10	4.20	0.51	1.16	0.77	0.77
	C	0.15	5.00	0.57	0.95	0.77	0.70
	AOJ	0.14	5.30	0.71	0.97	0.77	0.89
	AN48	0.12	4.20	0.59	1.24	0.77	0.95
	A44	0.14	4.34	0.58	0.83	0.77	0.63
	A37	0.13	5.40	0.65	0.94	0.77	0.79

### Estimación del LAI con el ceptómetro

El LAI se estima con el ceptómetro a través del método descrito por Pierce y Running (1988), y el Manual del Usuario del Ceptómetro (Decagon, 1989) utilizando el cociente adimensional de las mediciones de radiación fotosintéticamente activa (PAR) por debajo y por arriba de la copa del árbol, el coeficiente de extinción y la ley de Beer-Lambert, como sigue:

$$\text{LAI}_{\text{Ceptometro}} = \frac{-\ln \frac{Q_i}{Q_o}}{k} \quad (2)$$

Donde:

- $Q_i$  = Radiación fotosintéticamente activa (PAR) obtenida por debajo de la copa del árbol
- $Q_o$  = PAR obtenida por encima de la copa del árbol
- $K$  = Coeficiente de extinción

$Q_i$  y  $Q_o$  se midieron abajo y arriba de la copa del árbol, y  $k$  se estimó de acuerdo al Manual del ceptómetro (Decagon, 1989) y Campbell (1986), como sigue:

Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

$$K = \frac{(x^2 + \tan^2 \theta)^{\frac{1}{2}}}{x + 1.774(x + 1.182)^{-0.733}} \quad (3)$$

Donde:

X = Relación entre la longitud horizontal y vertical de la copa del árbol

$\theta$  = Angulo al cenit, ángulo medido desde la vertical

X se estimó midiendo el área de la sombra de la copa del árbol proyectada al suelo y el área plana vertical de esta misma copa.  $\theta$  se estimó a través de la medida directa del ángulo que el sol origina respecto a una línea vertical. Colocando dos piezas de madera unidas en ángulo recto, la vertical de 10 cm y la horizontal de 30 cm, y un nivel de mano en la horizontal. Se midió la sombra hecha por la pieza vertical proyectada en la pieza horizontal, donde  $\theta = (\arctan (xi/10))$  donde xi es la longitud de la sombra y 10 el tamaño de la pieza vertical.

En días nublados, se necesitó realizar una corrección ya que el ceptómetro requiere de medidas con radiación directa, y no difusa, como ocurre en días con presencia de nubes. Para estos casos Norman (1975) citado en Decagon (1989), sugieren la utilización de la siguiente relación:

$$LAI = \frac{[(1 - \frac{1}{2}K)\beta_b - 1] \ln \tau}{A(1 - 0.47\beta_b)} \quad (4)$$

Donde:

K = Coeficiente de extinción

$\beta_b$  = Fracción de radiación fotosintéticamente activa que está explicado por el eje de luz incidente, valorado como 0 en días nublados

$\tau$  = Transmitancia de la copa del árbol o dosel del pinar, el cual se calcula a partir de medidas por debajo y arriba de la copa del árbol (B/A)

A = Constante relacionada con la absorbancia en la banda de radiación fotosintéticamente activa, y que es representado por la ecuación:  $A=0.283+0.785a-0.159a^2$ , donde a es la absorbancia de la hoja.

**Caída de hojas**

Se ha recolectado mensualmente la caída de acículas en un área de 1 m<sup>2</sup> debajo de 8 árboles de *P. halepensis* Miller y 8 de *P. pinea* L. (Fig. 6). Así recolectados han sido llevados al laboratorio, pesadas antes y después del secado en sub-muestras más o menos de 30 gramos.

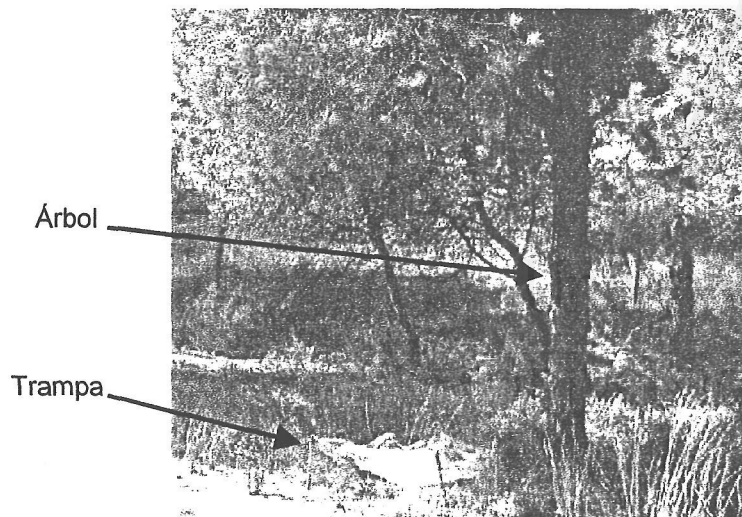


Figura 6. Trampa de recojo de hojarasca en *Pinus pinea* L.

### **Mediciones adicionales**

- El diámetro altura pecho se midió en el tronco del árbol con una cinta forestal a 1.3 m de altura sobre el suelo.
- La altura de las dunas se medido con un alfilermetro Sunnto.
- Reglas y listones de madera de 30 cm de longitud para la medición del ángulo cenit.

### **Representación gráfica de los valores del LAI**

Se ha realizado la representación gráfica utilizando el programa Surfer (win32) ver. 6.04.

### **Análisis estadístico de los valores del LAI**

Se ha realizado la comparación de medias de los datos del LAI para diferenciar las estaciones y los valores anuales. Para ello nos hemos apoyado en:

- a) Regresión lineal: se utilizó la regresión lineal para comparar los datos obtenidos del ceptómetro y el LAI-2000.
- b) Análisis de las estadísticas descriptivas: para comparar las medias y sus desviaciones estándares por estaciones dentro de cada año y entre años.
- c) Análisis de varianza en un solo sentido (One-way-AOV): para comparaciones de medias en el análisis de varianzas utilizando Tukey al 1 y 5%.
- d) Test de t-student para diferenciar medias de dos poblaciones.

## 2.4. Resultados

### 2.4.1. Resultados del LAI-2000 y Ceptómetro.

Los resultados de las pruebas de confiabilidad del índice de corrección para el LAI-2000 muestran que los valores del índice de área obtenido en forma semi-destruktiva ( $LAI_d$ ) y los valores de LAI corregidos encontrados con el LAI-2000 y el ceptómetro, tienen una correlación altamente significativa ( $R^2= 0.9692$ ,  $n=14$  y  $STDV= 0.3277$  para el ceptómetro y  $R^2= 0.9524$ ,  $n=14$  y  $STDV= 0.4077$  para el LAI-2000) (Fig. 7).

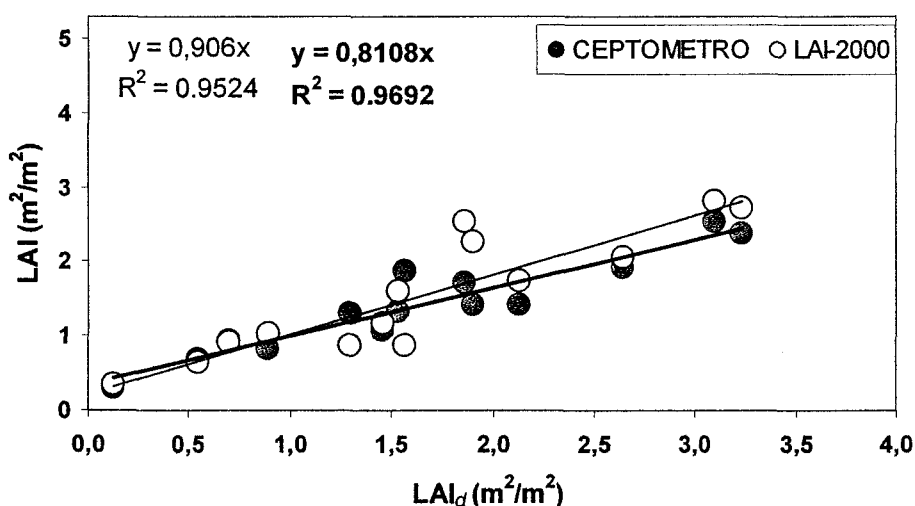


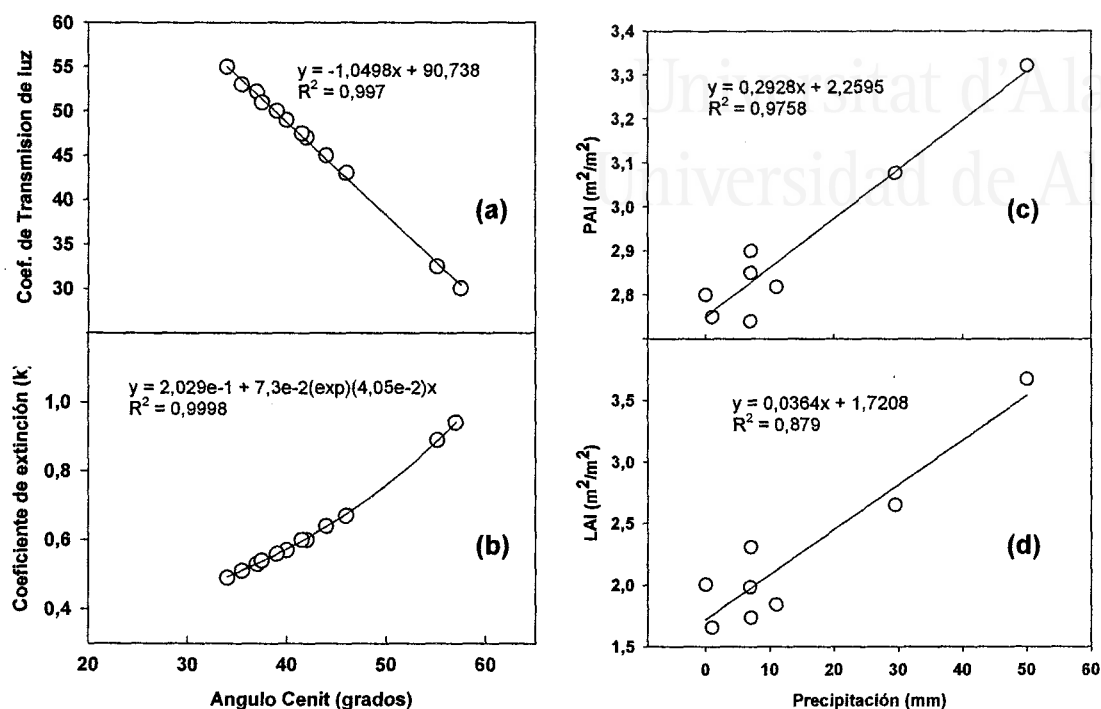
Figura 7. Correlación del índice de área foliar obtenido en forma destructiva ( $LAI_d$ ) y el LAI obtenido y corregido con el LAI-2000 y el Ceptómetro medidos en la parcela de experimentación de Guardamar del Segura.

### **Relación del LAI con los parámetros utilizados para su estimación**

La Fig. 8a muestra la relación del coeficiente de transmisión en diferentes ángulos cenit. Esta figura muestra una correlación lineal y de sentido negativo, lo que nos indica que por cada unidad de reducción del ángulo cenit, se reducirá en 1.05 unidades del coeficiente de transmisión. La Fig. 8b muestra la tendencia de  $k$  con un  $x$  de 0.51 ( $x$  es el parámetro de la relación del área proyectada de un elemento de la copa sobre un plano horizontal y su proyección en un plano vertical). La figura muestra que los máximos valores de  $k$  obtenidos son de 0.89 y 0.94, indicando una posición horizontal de las acículas, sesgo de medición que atribuimos a la cercanía del instrumento a las ramas.

La regresión no lineal de la relación del coeficiente de extinción y el ángulo cenit ajusta a la curva de la forma  $Y=Y_0+a \exp(bx)$  ( $R^2= 0.9918$ , con un error estándar = 0.0025).

La Fig. 8c y 8d muestra la relación de la precipitación con el LAI y PAI. Ambas relaciones muestran una tendencia lineal positiva y un ajuste lineal altamente significativo ( $R^2= 0.97$  para el primero y  $R^2= 0.88$  para el segundo).



**Figura 8.** Relación del ángulo de los rayos solares (cenit) con (a) el coeficiente de transmisión de la luz (b) y el coeficiente de extinción k, y la precipitación con (c) el índice de área del total de la planta (PAI) y (d) el índice de área foliar (LAI).

La alta correlación de los resultados del LAI estimados en forma destructiva con los resultados del LAI obtenidos con los instrumentos mencionados, nos ha mostrado la posibilidad de estimar esta variable con los dos instrumentos, sin embargo se ha optado por el LAI-2000 por sus ventajas sobre el ceptómetro, sobre todo de cálculo (el LAI-2000 muestra directamente valores de LAI, en cambio el ceptómetro muestra valores de PAR, y necesita otras mediciones, como X y  $\theta$  de la ecuación 3) y de las condiciones medioambientales necesarias para su utilización (la nubosidad que es predominante en época de lluvias tanto en primavera, otoño, e invierno).

#### 2.4.2. Caída de hojas

La tabla 4 muestra el resumen de promedios de caída de acículas en el año 2002. Se observa valores altos de recolección en Junio en comparación al resto de meses del año.

La especie que mayor caída de acículas ha tenido ha sido el *pino alepo* con  $328.3 \text{ g/m}^2 \cdot \text{año}$  en comparación al *pino piñonero* con  $175.8 \text{ g/m}^2 \cdot \text{año}$ .

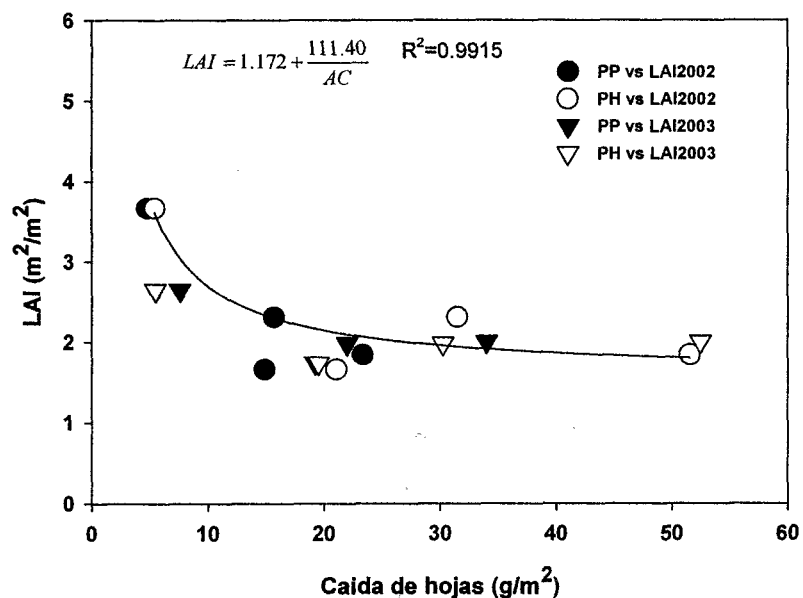
Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

La estación en la que mayor caída de acículas se ha registrado ha sido en verano, con 51.5 g/m<sup>2</sup>.mes para el *pino alepo* y 23.3. g/m<sup>2</sup>.mes para el *pino piñonero*.

**Tabla 4.** Valores medios (n=8) de caída de acículas en el periodo de investigación (de Enero a Diciembre del 2002), por meses y por estaciones (g/m<sup>2</sup>.mes).

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Prom. <i>P. pinea</i> L.	9.0	18.6	0.4	5.0	8.9	44.7	23.4	1.9	29.0	17.9	0.0	17.0
STDV. <i>P. pinea</i> L.	9.7	14.5	1.0	10.5	15.2	59.5	37.1	3.5	38.9	33.4	0.0	20.9
Prom. <i>P. halepensis</i> Miller	25.1	7.3	0.0	4.2	12.0	102.9	36.6	15.1	48.2	35.3	10.9	30.7
STDV. <i>P. halepensis</i> Miller	24.6	12.9	0.0	7.9	22.2	169.3	49.7	28.1	53.1	53.6	18.4	43.3

	Otoño	Primavera	Verano	Invierno
Prom. <i>P. pinea</i> L.	14.8	4.8	23.3	15.6
STDV. <i>P. pinea</i> L.	5.2	4.3	21.4	14.6
Prom. <i>P. halepensis</i> Miller	21.0	5.4	51.5	31.5
STDV. <i>P. halepensis</i> Miller	12.2	6.1	45.8	18.9



**Figura 9.** Relación de la caída de hojas con el índice de área foliar (LAI) en dos periodos y dos especies. ●: *P. pinea* L. año 2002; ▼: *P. halepensis* Miller año 2002; ○: *P. pinea* L. año 2003; ▽: *P. halepensis* Miller año 2003. AC= Acículas.



La Fig. 9 expone la relación del LAI con la caída de hojas mostrando la tendencia de la primera con la segunda: el LAI disminuirá su valor a medida que disminuye la cantidad de hojas en la copa del árbol, ya sea por su caída, muerte de éstas o separación mecánica de la rama. En sentido contrario, el LAI aumentará su valor a medida que haya mayor cantidad de hojas en la copa del árbol, lo que sugiere que el LAI tendrá su máximo valor cuando la copa del árbol haya alcanzado su máxima producción de acículas.

### Relación del LAI con las características del árbol

La Fig. 10a muestra la relación lineal y positiva del diámetro altura pecho (DBH) y el LAI, la cual nos muestra un coeficiente de correlación de 0.97; bajo este resultado se presume encontrar un incremento del LAI por cada 0.99 unidades de incremento de DBH. La Fig. 10b nos muestra la correlación no lineal del DBH con el área proyectada de las hojas y la parte leñosa de la copa del árbol. La significativa correlación de estos datos (para hojas  $R^2=0.86$  y para leña  $R^2=0.62$ ) nos presume encontrar mayores cantidades de área proyectada de acículas y la parte leñosa a medida que exista un incremento en el DBH, aunque en mayor proporción se dé en acículas. Estas dos figuras nos relacionan el LAI con el DBH, de tal forma que podemos asumir que, el incremento del DBH influirá en el valor del LAI.

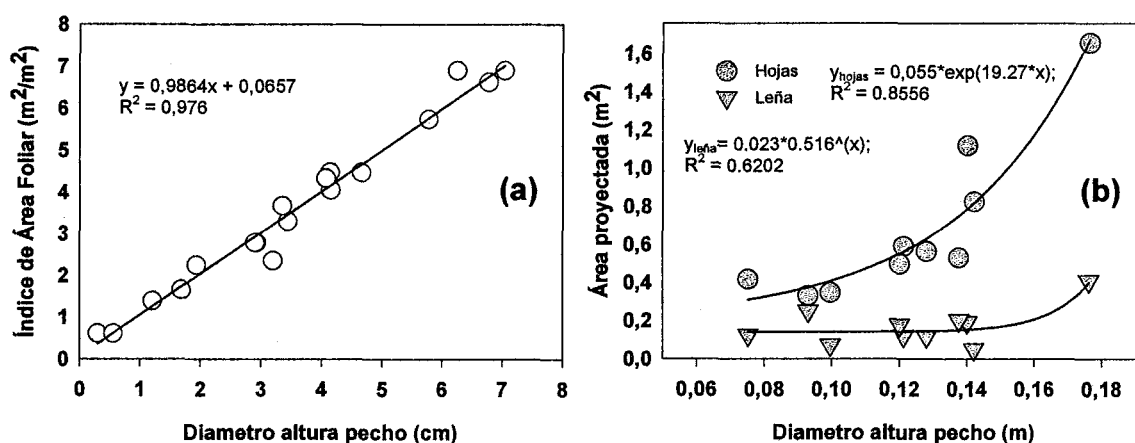


Figura 10. Relación del diámetro altura pecho con (a) el índice de área foliar (LAI) y (b) el área proyectada de los principales componentes de la copa del árbol para ambas especies.

### 2.4.3. Comparación de resultados en diferentes estaciones

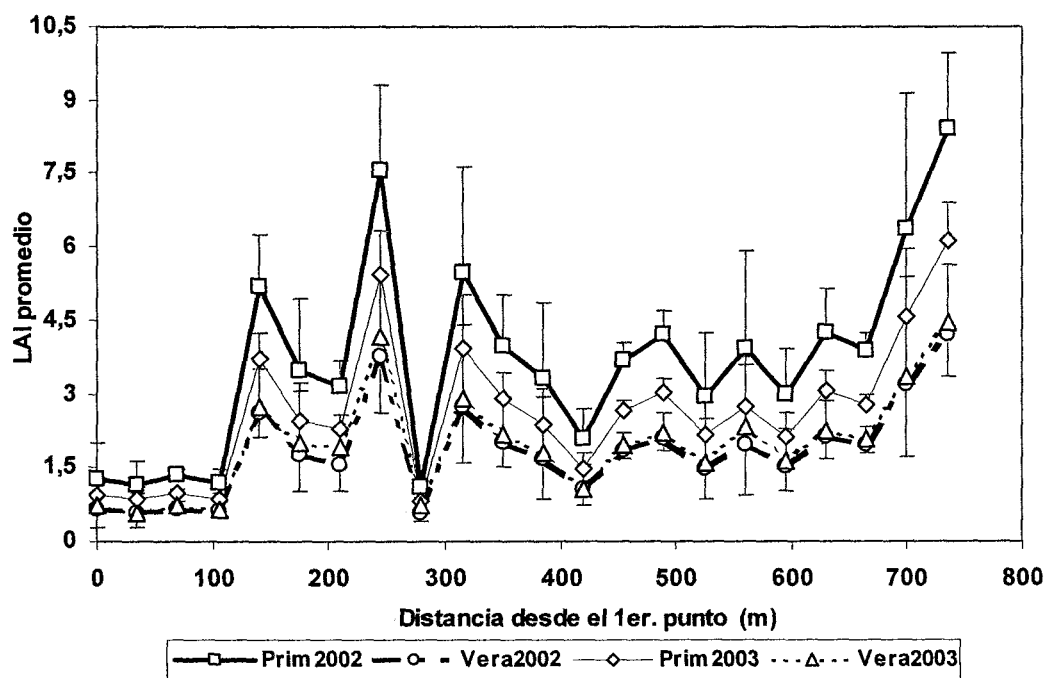
La tabla 5 muestra la variación del LAI en diferentes estaciones en los años 2002 y 2003. Los valores máximos de LAI se han encontrado en la primavera del 2002 (3.67) y la primavera del 2003 (2.65). Los valores más inferiores han correspondido a los otoños de ambos años (1.66 y

*Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional*

1.74 para 2002 y 2003 respectivamente). El promedio general del LAI para los dos años ha sido  $2.23 \pm 0.67$ . Para el 2002  $2.37 \pm 0.77$  y para el 2003  $2.09 \pm 0.58$ , lo que significó una disminución significativa. Sin embargo al mirar por estaciones, se han encontrado diferencias significativa entre las dos primaveras ( $p < 0.0001$ ), pero no entre el LAI de los dos veranos. Los valores extremos encontrados fueron de 9.78 en la medición de primavera del 2002 y de 0.24 en el verano del mismo año. El análisis pareado entre estaciones dentro de un mismo año, mostró una diferencia altamente significativamente tanto en el primer como en el segundo año ( $p < 0.0001$ ).

**Tabla 5.** Variación del LAI medio estimado y su desviación estándar en las cuatro estaciones de los años 2002 y 2003.

Año	Estación	Promedio	STDV	Pendiente	Precipitación (mm)
2002	Otoño	$1.66 \pm 0.32$		P2	
	Invierno	$2.31 \pm 0.74$			36.0
	Primavera	$3.67 \pm 1.58$		P1	142.3
	Verano	$1.84 \pm 0.44$		P2	33.5
2003	Otoño	$1.74 \pm 0.35$		P3a	37.0
	Invierno	$1.98 \pm 0.52$			44.8
	Primavera	$2.65 \pm 0.94$		P1a	103.8
	Verano	$2.00 \pm 0.52$		P2a	0.0
<b>Promedio general</b>		<b><math>2.23 \pm 0.67</math></b>			



**Figura 11.** LAI promedio a lo largo del cuadrante transversal imaginario de la pinada de Guardamar del Segura. Prim2002 = Primavera 2002, Vera2002 = Verano 2002, Prim2003 = Primavera 2003, Vera2003 = Verano 2003. Las barras muestran las desviaciones estándares de una línea de 6 puntos perpendicular al cuadrante.

#### 2.4.4. Comparación de resultados en diferentes espacios

La Fig. 11 muestra la variación del LAI a lo largo del transecto imaginario en la primavera y verano del 2002 y 2003. La Fig. 12 muestra la distribución espacial del LAI en estas cuatro estaciones.

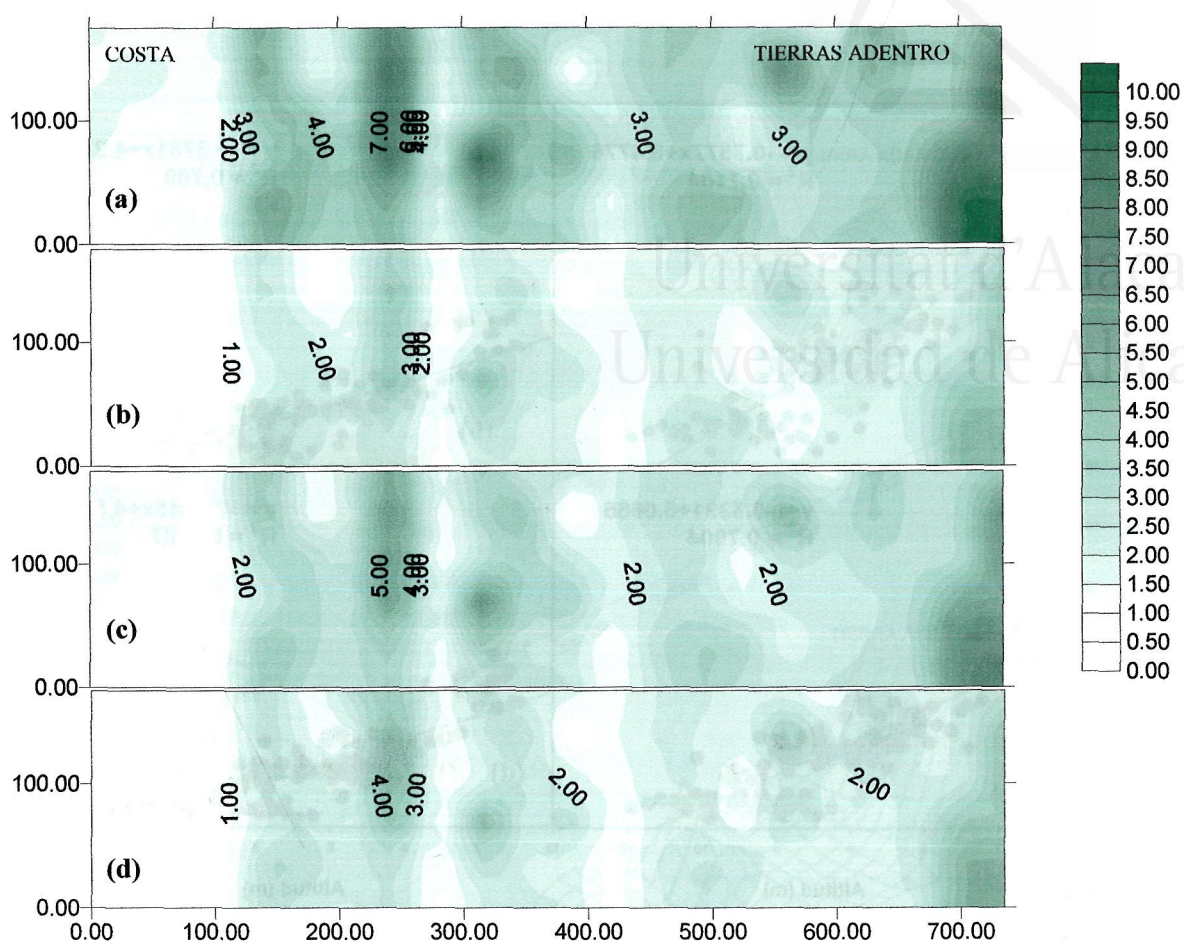
La comparación de medias utilizando el test de Tukey al 5% muestra diferencias significativas entre las primaveras del 2002 (a) y 2003 (c); no existen diferencias entre los veranos del 2002 (b) y 2003 (d). Comparando los dos grupos, (a) y (c) contra (b) y (d), se observan diferencias significativas.

La variación de LAI parece indicar un periodo de crecimiento en la primavera del 2002 y primavera del 2003 en comparación a los veranos correspondientes, que muestran índices más pequeños.

Se observó una fuerte variación de la distribución espacial del LAI en el transecto imaginario. En la primavera del 2002, los valores de índices menores se observaron cerca de la costa (entre 1.14 y 1.34 en promedio), y los valores mayores tierras adentro, es decir, en zonas de dunas fijas (entre 8.40 y 6.35 en promedio). En el verano del mismo año, los valores variaron de 0.56 y 0.67 en los primeros 175 m del cuadrante cerca de la playa, y en el otro extremo del cuadrante, a los 700 y 735 m el LAI encontrado fue de 3.18 y 4.21 respectivamente. Al año siguiente, 2003, en primavera el mayor índice, aunque menor al anterior año, se ubicó en el mismo sitio ( $6.11 \pm 1.18$ ).

Sin embargo, a diferencia del anterior año, los índices de valores menores se ubicaron no solo en la parte cercana a la costa. A 315 m se observó una caída muy fuerte del LAI ( $0.82 \pm 0.078$ ) en comparación a la primavera del anterior año ( $1.12 \pm 0.11$ ). Los valores cerca de la costa variaron de 0.99 a 0.82, en los primeros 175 m. En verano del 2003, los índices menores encontrados a la misma distancia variaron de 0.74 a 0.59 en promedio, y los máximos valores encontrados estuvieron a 735 m ( $4.45 \pm 0.85$ ).

Esta distribución de valores dependió también de la situación topográfica en la que se encontraba la vegetación. En zonas de dunas altas o picos de dunas, el LAI es comparable con la de la costa y en zonas de hondonadas de dunas o dunas abajo, el LAI es comparable con el LAI de tierras adentro, es decir, mayor a 1.

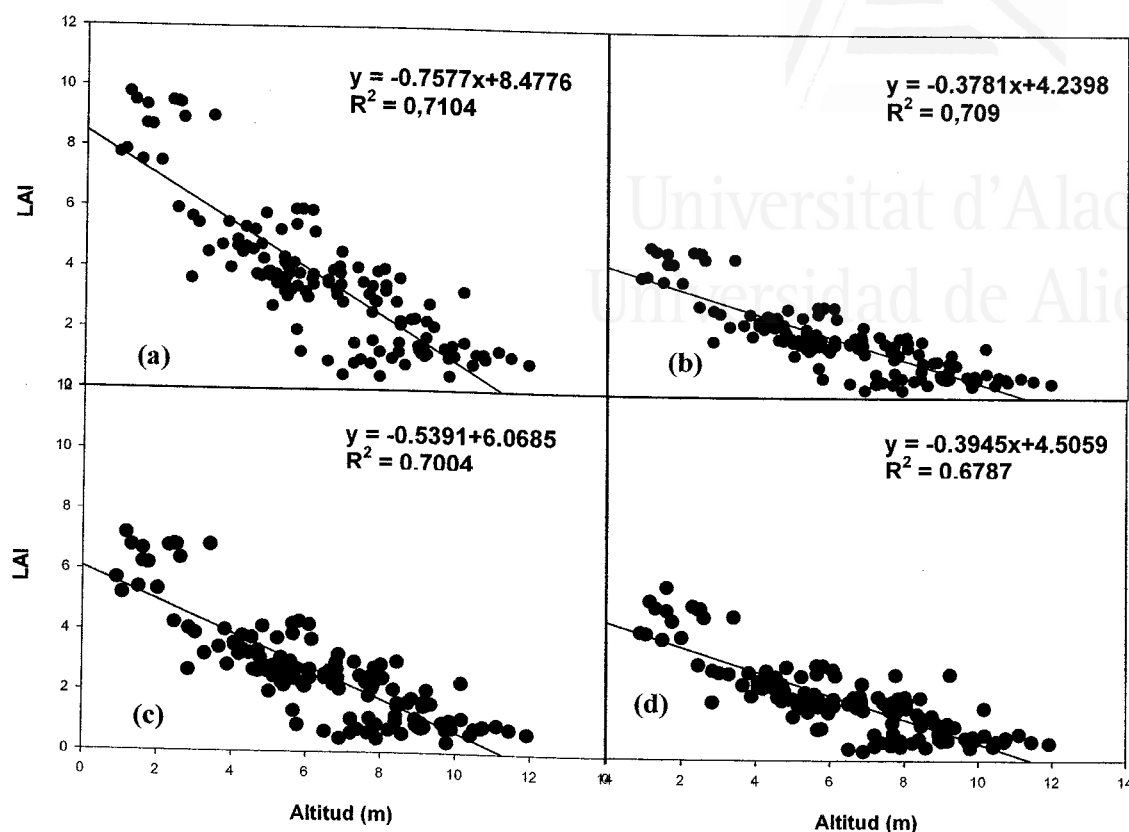
*Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional*

**Figura 12.** Variación del índice de área foliar (LAI) medidos en un cuadrante imaginario en diferentes estaciones: (a) Primavera 2002, (b) verano 2002, (c) primavera 2003, (d) verano 2003 en Guardamar del Segura (Alicante). La barra de escalas muestra la variación del LAI: 0=sin cobertura y 10=Máximo LAI.

#### 2.4.5. Relación del LAI y la topografía de las dunas

La relación de la altitud con los índices encontrados fue altamente significativo ( $p=0.000$ ) pero inversamente proporcional en las dos estaciones (Primavera 2002:  $R^2=0.71$ ; verano 2002:  $R^2=0.71$ ; Primavera 2003:  $R^2=0.70$ ; verano 2003:  $R^2=0.68$ ) (Fig. 13).

La correlación del LAI y la altitud de la duna es alta y negativa, la cual se observa en sus pendientes (Primavera 2002 = -0.75; verano 2002 = -0.37; Primavera 2003 = -0.54; verano 2003 = -0.39).

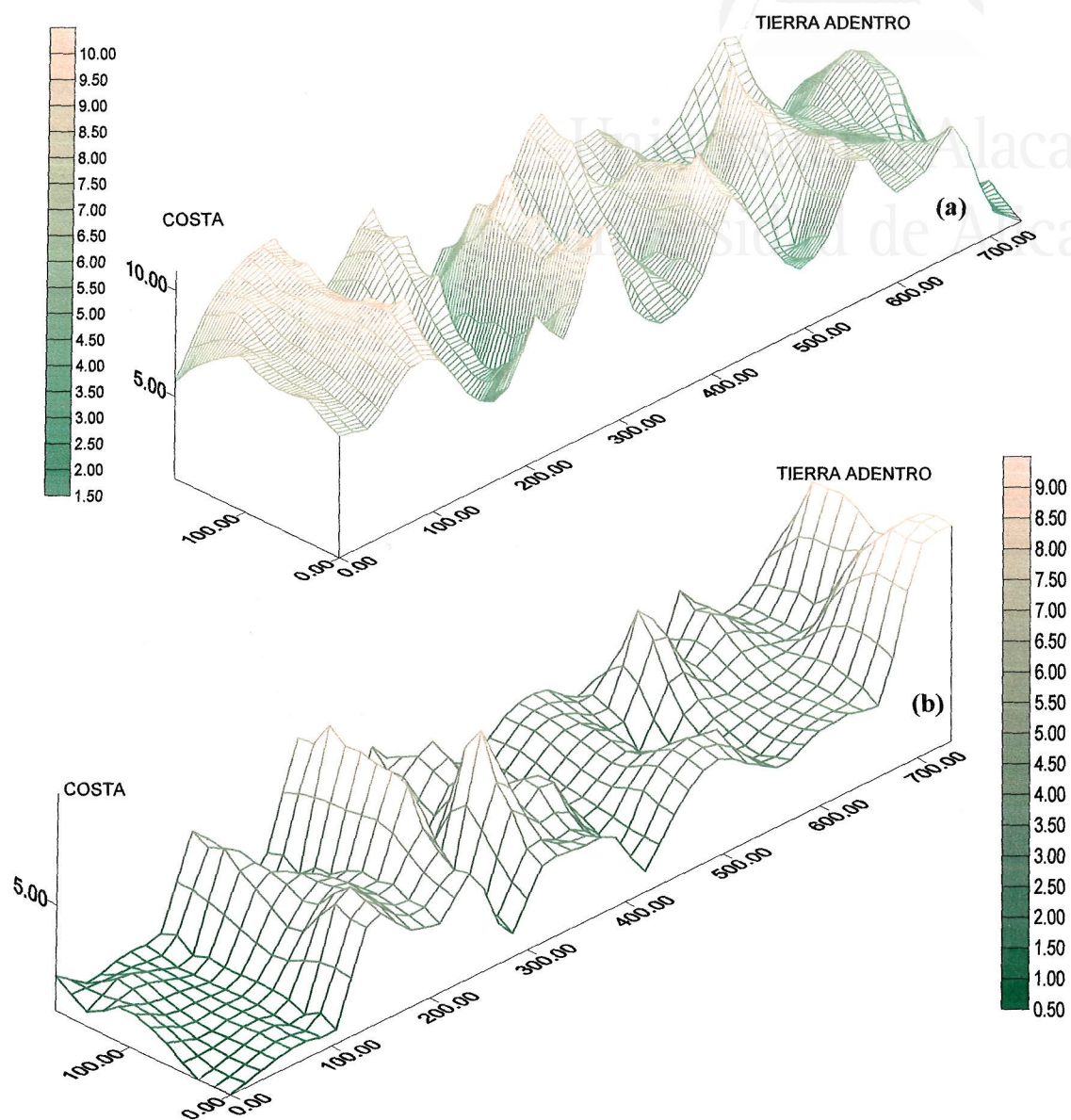


**Figura 13.** Relación del índice de área foliar (LAI) y la altitud dunar en diferentes estaciones: (a) Primavera 2002, (b) verano 2002, (c) primavera 2003, (d) verano 2003 en Guardamar del Segura (Alicante).

De la misma forma, se nota que este comportamiento está también relacionado con las depresiones de las dunas, lugar donde se concentra la mayor parte de todos los flujos hídricos (Fig. 14).

Sin embargo realizando el análisis de la relación altura y LAI por cuadrantes, visualizamos una respuesta diferente. Se puede observar alta correlación a los 175, 245, 525, 560, 595 y 700 metros después de la costa. No existe correlación en los sitios cercanos a la costa, hasta los 140 metros. Esta falta de correlación aparece también a los 350, 455 y 665 metros después del primer punto de medición, dunas adentro (tabla 6). Las mayores desviaciones estándares se han observado en lugares de hondonadas de dunas (280 y 385 metros) y los valores de LAI con menor desviación estándar en zonas de muy baja densidad de plantación, a los 70 y 140 metros, la primera cercana a la zona de dunas no fijadas y la segunda al inicio mismo de la zona con mayor densidad de plantación.

*Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional*



**Figura 14.** (a) Vista de altitudes de la situación topográfica en las dunas; (b) ubicación del LAI en referencia a la posición geográfica en las dunas. La barra de escalas muestra la variación de la (i) altitud: 0 = hondonada y 10 = Pico de duna; (ii) LAI: 0=sin cobertura y 10=Máximo LAI.



**Tabla 6.** Desviación estándar (STDV), coeficiente de regresión ( $R^2$ ), probabilidad ( $p$ ) de la relación LAI y altitud de los diferentes cuadrantes menores localizados en el cuadrante cuasi-perpendicular a la costa en Guardamar del Segura.

Cuadrante No.	Distancia desde el primer punto de medición	STDV	$R^2$	$p$
1	0	1.08215	0.0018	0.9370
2	35	0.80356	0.4904	0.1213
3	70	0.46663	0.2097	0.3611
4	105	0.88850	0.0180	0.7998
5	140	0.56085	0.0009	0.9551
6	175	0.76283	0.8776	0.0059 **
7	210	1.18197	0.6687	0.0468 *
8	245	1.12390	0.7422	0.0274 **
9	280	1.89433	0.4364	0.1532 *
10	315	1.33408	0.5172	0.1072 *
11	350	1.45242	0.3498	0.2162
12	385	1.84925	0.5545	0.0895 *
13	420	1.26675	0.6329	0.0584 *
14	455	0.67993	0.0009	0.9544
15	490	0.82503	0.3422	0.2226 *
16	525	0.85652	0.9267	0.0021 **
17	560	0.55832	0.9713	0.0003 **
18	595	0.76461	0.8391	0.0103 **
19	630	0.79678	0.6379	0.0567 *
20	665	1.07667	0.1764	0.4070
21	700	1.24969	0.7737	0.0209 **
22	735	0.91841	0.0550	0.6548

## Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

---

### 2.5. Discusión

#### 2.5.1. Comparación del LAI-2000 y el Ceptómetro.

La comparación del comportamiento de ambos instrumentos (LAI-2000 y ceptómetro) indican una clara tendencia lineal positiva (Fig. 7), lo que nos denotaría que cualquiera de los dos instrumentos puede ser utilizado para la estimación del LAI.

Los dos métodos utilizados respondieron a la estimación del LAI, ya que la correlación de ambas, en relación al muestreo semi-destructivo, fueron altas. Los resultados revelan que permiten estimar el LAI de una forma más rápida y menos dañina para los árboles. También, se ha notado diferencias propias entre los dos. Una de las principales es la debida a la utilización manual de los instrumentos que ocasionaría lecturas con bloqueos directos, o la luz difusa debida a nubosidad inesperada (Wünsche, *et al.* 1995). La variabilidad de los datos del LAI no corregidos nos muestran que estos están influenciados también por los elementos no foliares. Por esta razón, se esperaba una mayor influencia de la parte leñosa más para el LAI-2000 que para el ceptómetro, debido a las diferencias existentes entre las visiones de los ángulos cenit y hemisférico de los dos sensores. El análisis de errores muestra un mayor sesgo para el ceptómetro, resultado que atribuimos a las diferencias de altura y follaje de los árboles, ya que la radiación es menos directa a mayor cantidad de follaje y cuanto más alta es la planta, su follaje tiene mayor probabilidad de interceptar mayor cantidad de luz; esto disminuye la radiación que intercepta ( $Q_i/Q_o$ ) el ceptómetro (Welles, 1990). Otra de las razones fue que este instrumento (el ceptómetro) sobreestima en mayor grado sus resultados, especialmente en la obtención de datos y aumenta su error a medida que las condiciones de cielo claro pasan a condiciones de cielo cubierto (White, *et al.*, 1997). En nuestro trabajo de campo, se ha utilizado muy poco este instrumento (ceptómetro) ya que en su estimación del LAI utiliza medidas de interceptación de radiación solar directa y alta intensidad de luz (ya que las radiaciones difusas necesitaban otras mediciones como la absorbancia de la hoja) y adicionales mediciones a lo largo del día (como el ángulo cenit). Además Verwijst y Wen (1996) señalan que este método no suministra información suficiente y directa del estado de crecimiento de las hojas para estudios en el cual se está buscando una respuesta puntual del cambio estacional del LAI (estos investigadores trabajaron con *Salix viminalis*).

En resumen, el comportamiento de variación del ceptómetro obedece mayormente a las medidas realizadas del  $k$  (coeficiente de extinción), el cual depende de la significancia del sombreado de las ramas y ramillas (Vose y Swank, 1990) (Fig. 8). Esta característica hace que las mediciones con el ceptómetro en días soleados sea más efectivas, ya que la luz atraviesa la copa de los árboles dando lugar a luz difusa debajo de éstas, casi uniformemente en todas direcciones de manera homogénea espacial y temporalmente (Messier y Puttonen, 1995). Si nos basamos en este hecho, la transmitancia de la luz en días de alta radiación es una función



de cuanto la copa del árbol está abierto (baja densidad de follaje y ramas); en otras palabras, de cuanto densidad foliar tendrá. En consecuencia, el método que se utiliza para medir esta transmitancia debería ser suficientemente aceptable para realizar las estimaciones requeridas.

A pesar de estas dificultades, la alta correlación positiva ( $R^2 = 0.92$ ) observada entre los resultados de los dos instrumentos muestra que los valores son aceptables. Resultados similares han sido encontrados por Gatch, *et al.* (2001); Mussche, *et al.* (2001); Wilhelm, *et al.* (2000); Kucharik, *et al.* (1998). La alta significancia del coeficiente de regresión de las observaciones estimadas con ambos instrumentos ( $R^2=0.9287$ ,  $p<0.0003$ ), denota que podemos utilizar ambos instrumentos para estimar el LAI. Autores como Wilhemmer *et al.*, (2000) encontraron similar comportamiento del LAI<sub>d</sub> y las obtenidas por instrumentos ópticos; de la misma forma, vieron una correlación significativa entre el método semi-destructivo y el LAI-2000 ( $R^2=0.94$ ), ceptómetro ( $R^2=0.93$ ), y sunscan ( $R^2=0.81$ ). Señalan que se espera encontrar similar estimación del LAI con cualquier instrumento óptico, si se siguen las apropiadas limitaciones de los procedimientos operacionales. Indican que cada instrumento tiene sus ventajas y desventajas, como el tamaño de los sensores o las condiciones de uso, razón por la cual se debe tener especial cuidado en su elección, ya que además cada uno implementa el análisis de la fracción de los espacios, en distinta forma.

Por todo lo señalado anteriormente, para realizar las mediciones del LAI, se ha utilizado mayormente el LAI-2000, tomando en cuenta las restricciones que se recomienda. Este instrumento ha resultado más versátil en el manejo de datos y adecuado a las condiciones medioambientales de Guardamar del Segura. Así mismo, las mediciones con el LAI-2000 muestran que las oscilaciones de los datos (errores o sesgos en la medición) son debidas mayormente a observaciones realizadas en un periodo de tiempo demasiado corto, y a variaciones relativas en tiempo y espacio (Deblonde *et al.*, 1994). En consecuencia, debido a las condiciones de la zona de trabajo, y las condiciones de medición del LAI, los valores obtenidos con el LAI-2000 deben ser corregidos ya que no toma en cuenta determinadas preposiciones de la estructura de la copa del árbol (Leblanc y Chen, 2001), como la falta de distribución aleatoria de las acículas en los ramillos. Por otro lado, al estimar el LAI con este método, también estamos refiriéndonos a las fracciones de espacios de las copas de los árboles. Para distinguir la variabilidad del follaje en la copa de los árboles de periodos determinados, se debe tener en cuenta las características del instrumento y realizar cuidadosas mediciones (Nackaerts, *et al.*, 2000).

Asumimos que el valor estimado del LAI corregido estuvo adecuado por la alta correlación de éstos con el obtenido por el método semi-destructivo. Sin embargo la cercanía de los valores del ceptómetro y el LAI-2000 nos alertó de una posible sobreestimación de valores (como ya lo habíamos considerado), por lo que se requirió de un detallado análisis de los datos antes de entrar en un análisis más profundo.

## Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

### **Relación del LAI con los parámetros utilizados para su estimación**

El valor promedio de  $k$  para todos los árboles fue de  $0.61 \pm 0.12$ , altos en relación a los valores encontrados por Jarvis y Leverenz, (1983) citado por Bolstad y Gower (1990) de 0.45; 0.42 y 0.28, pero, en promedio, comparables con los valores encontrados por estos últimos (0.85; 0.73 y 0.37).

El comportamiento encontrado por el ceptómetro obedece básicamente a las medidas realizadas del  $k$  (coeficiente de extinción), el cual depende de la significancia del sombreado de la parte no fotosintetizadora. De la misma forma se advierte que la proyección del área de las ramas es más o menos constante hasta un diámetro normal de 0.26 m; esta invariabilidad al menos hasta el diámetro señalado, evidencia la estabilidad de la parte leñosa durante los cambios estacionales en un período de poca actividad de fotosíntesis. Este fenómeno es característico de zonas áridas y semiáridas, similares a nuestra zona de estudio, con sequías de larga duración y temperaturas elevadas.

Parent y Messier (1996) sugieren que las medidas de la transmitancia en días nublados como despejados son similares; sin embargo las realizadas en días con luz difusa, deben utilizarse para caracterizar la luz del medio ambiente. Esto fue propuesto en base a un estudio realizado en un bosque de alta latitud en el cual la penetración de la luz directa no es el componente dominante de la radiación por debajo de la copa de los árboles. En el estudio de Guardamar del Segura, observamos en verano, en períodos de baja intensidad de radiación, que tanto la directa como la difusa (la medida por debajo de la copa de los árboles) tienen valores poco alejados del promedio; es decir, el valor de la directa es muy cercano al de la difusa (con tasas menores a  $600 \text{ W/m}^2$ ). Cuando la intensidad sube, estos valores se alejan mostrando una mayor variación. Por esta razón se ha tenido mucho cuidado para elegir tanto los sitios como de las horas de toma de muestra con este instrumento.

La densidad foliar también afecta estas mediciones. Sampson y Smith (1993) investigaron la influencia de la arquitectura y el sombreado de la copa del árbol utilizando mediciones del ceptómetro, y llegaron a la conclusión de que el coeficiente de interceptación fue influido por el número de espacios en la copa de los árboles que reduce la eficiencia de extinción de la luz. Es decir, menor cantidad de espacios, mayor eficiencia de extinción de luz. White, *et. al.*, (1997) indica también que el LAI-2000 mide menos atenuación de luz en comparación al ceptómetro; esto ocurre mayormente, en copas de árboles que cambian su densidad foliar y su estructura a través de una visión hemisférica. Esta característica está relacionada al ángulo de incidencia de los rayos solares o coeficiente de incidencia que el ceptómetro toma en cuenta a la hora de realizar sus cálculos (Fig. 8).

La Fig. 8a nos muestra una relación inversamente proporcional del ángulo cenit y el coeficiente de transmisión de los rayos incidentes. Esta relación nos indica que el índice promedio del área proyectada de una copa de árbol horizontalmente en relación a su proyección vertical tendrá un valor nulo (cero) cuando la hoja alcance una posición vertical y un valor de 100 cuando la hoja o acícula esté completamente horizontal (Fig. 8b) (Decagon, 1989; Campbell, 1986).

### **Relación del LAI con la precipitación**

Realizando la estimación del índice de área foliar con respecto al total de la planta, se evidencia que existe una correlación positiva ( $R^2=0.97$ ) del índice del área del total de la planta (PAI) con el valor de las precipitaciones (Fig. 8c). Este comportamiento nos indica que por cada unidad de incremento de la precipitación se presume encontrar un incremento de 0.29 veces más del PAI. Correlación, que sin embargo, se debe tomar muy cuidadosamente, ya que al ser las especies estudiadas de estructuras no homogéneas en especial la de *P. halepensis* Miller. Por tanto esta significancia es solo indicativa de la cantidad de agua que la planta podría estar asimilando para el periodo de mayor necesidad (primavera) con relación al de menor actividad fotosintética (verano). La cantidad de agua encontrada ha coincidido con la presencia de altas precipitaciones, y con coeficientes de variación mensual (83% en Abril, 181,4% en Julio y 201,7% en Agosto) y coeficientes de variación estacional muy altas (62,1% en primavera y de 71,9% en verano), lo que nos indicaría rangos de precipitación muy grandes en periodos relativamente cortos. En consecuencia, se puede concluir que los valores de LAI encontrados en los períodos de medición, no necesariamente responden al efecto de las lluvias, sino a otras relacionadas al almacenamiento de este elemento ya sea en el suelo o en la misma estructura de la planta.

También se ha observado, que existe una significativa correlación de la precipitación y el Índice de Área Foliar (LAI) (tabla 5) ( $R^2=0.8277$ ,  $p<0,0006$ ). El índice mencionado está relacionado con la capacidad de la planta de realizar fotosíntesis y la efectiva extracción de agua del suelo, esto es el uso eficiente de agua, el cual es un factor muy relevante en condiciones de sequedad como son en las regiones áridas y semiáridas (Ogaya *et al.*, 2003). Estas relaciones son muy importantes en la estimación de la cantidad de materia verde resultante (en un período determinado), el cual generalmente está relacionado a una serie de factores entre las que está la cantidad de agua disponible en el suelo y la cantidad de radiación fotosintéticamente activa. Autores como Gillespie *et al.* (1994) indican que el índice de área de la hoja regula la productividad de los ecosistemas influyendo en la fotosíntesis y la evapotranspiración, a través de la interceptación de luz por la copa de las plantas, y por lo tanto, a su vez es una medida de la productividad del bosque. Estos factores medioambientales afectan también fuertemente la variación del área de las acículas, en consecuencia, también es afectada la interceptación de luz por éstos órganos.

## Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

### 2.5.2. Caída de hojas

Respecto de la metodología utilizada para atrapar la caída de acículas, según Rhoads *et al.* (2004) la eficiencia de las redes para atrapar la caída de hojas en especies caducifolias es bastante alta, mientras que para especies perennifolias como los pinos es poco conocida, por lo tanto se deben realizar estudios de larga duración. Investigaciones como las realizadas por Houlton, *et al.* (2003), demostraron la eficacia del uso de redes de retención de la hojarasca en estudios de producción primaria y señalan la necesidad de realizar investigaciones de más de tres años de duración.

Los valores de caída de hojas difieren en general de año en año, este proceso puede incluso variar de mes en mes dentro de una misma estación así como en el mismo mes. La relación de la caída de las acículas con el LAI, en nuestra investigación, ha sido significativa (Fig. 9). *P. halepensis* Miller tiene una tasa de caída mayor que *P. pinea* L., debido a la mayor cantidad de acículas producidas y su duración vegetativa en la planta. Las diferencias que se observan entre las dos especies en la caída estacional de acículas son muy aparentes. Los máximos valores de caída se producen en ambos pinos al inicio del ciclo estival. El *pino piñonero* muestra un retraso en la caída de sus acículas respecto al *pino carrasco*, aunque se debería llevar a cabo una demostración más evidente, con un mayor número de muestras ya que en el mes de intervalo de muestreo en el cual se recolectó la hojarasca, pudo haber existido la influencia de otros factores de tipo climático como el viento.

En el *pino piñonero*, el periodo de caída se extiende en su mayoría por todo el año, sin embargo su máxima valoración se ubica en los meses de junio, julio, seguido de los meses de septiembre, octubre, diciembre, enero y febrero; en el *pino alepo* la tasa máxima se produce en junio, julio, septiembre, diciembre y enero. La diferencia podría estar en que ambas tienen una respuesta diferente al estrés hídrico, lo que condiciona la duración de sus hojas en la estructura de la copa del árbol. Además, se denota que el *pino piñonero* "estira" su índice de caída de acículas, a lo largo casi de todo el año, mientras que el *pino alepo* concentra dicha caída en un corto lapso de tiempo. Un largo periodo de retranslocación de los nutrientes de las hojas de *P. pinea* L., podría causar este retraso en la caída de sus acículas respecto a *P. halepensis* Miller (Escudero *et al.*, 1992). Los periodos vegetativos de las acículas y las características de sitio también favorecería la caída de acículas (Navas *et al.* 2003). Este autor sostiene que el tiempo de duración de las hojas depende básicamente de la relación de cambio entre la velocidad de producción de la planta y una eficiente conservación de nutrientes. Un periodo corto de vida de las hojas estaría más asociado con los índices de velocidad de fijación del carbono y su índice relativo de crecimiento; por otro lado un periodo largo de vida de la hoja estaría relacionado al alto tiempo de residencia de los nutrientes dentro de la planta. En consecuencia, según el anterior autor, señala que se espera que el tiempo de vida de las hojas variará con las características naturales de los hábitats.

### **Relación del LAI con las características del árbol**

La correlación de la Fig. 10 nos indica que el mayor aporte en la caída de acículas fueron los árboles de mayor tamaño (entre 22 y 33 cm de diámetro a la altura del pecho), los que en promedio aportaron en 53.8% del total de acículas caídas, en comparación al 20% del aporte de árboles de menor tamaño (entre 8 y 12 cm de diámetro altura pecho).

Este mismo comportamiento nos ha mostrado diferentes pendientes en cada estación y en cada año, lo que en general expresa una diferenciación de respuesta al cambio estacional de la planta según sean las condiciones fisiológicas en las que se encuentra y cómo ésta responde ante estos cambios.

#### **2.5.3. El LAI en diferentes estaciones**

##### **Año 2002**

La variación estacional del año 2002 ha colocado a la primavera como el principal componente de diferenciación al encontrarse un LAI mayor (3.67) en comparación a los otros. Esta diferenciación se ha dado básicamente por las diferencias entre las características medioambientales entre las estaciones, como la intensidad de precipitación, intensidad de radiación y otros, que tienen que ver con la producción vegetativa.

Los valores de LAI encontrados en este año, se diferencian entre las estaciones, por la actividad vegetativa que los árboles han realizando, es decir, de la aparición de nuevos brotes y en consecuencia de la ocurrencia de la producción vegetativa de esa estación. Así, existe un ascenso del valor del LAI desde invierno a la primavera, que vendría a ser la diferencia entre el LAI de invierno a primavera de este año. En el segundo periodo, se ha encontrado que el valor del LAI ha realizado un descenso; en este período se ha encontrado un decremento de 1.83 veces, de la primavera respecto del verano. Decremento que productivamente es desafortunado para este año, ya que es una indicación del estrés al cual estuvo sometido el pinar.

El cambio de verano a otoño ha sido menos ya que existió un decremento de 0.18 puntos (1.84 de LAI para verano contra 1.66 de LAI de otoño). Este periodo ha significado poca actividad vegetativa del pinar.

##### **Año 2003**

En este año, el LAI ha tenido una diferenciación menos pronunciada que en el anterior año. El primer periodo –del invierno a la primavera– ha existido una elevación del LAI en 0.67 puntos. En el periodo en el cual el LAI parece tener una bajada, de primavera a verano, se ha encontrado que los decrementos son más o menos del mismo orden de los encontrados en la

### Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

---

subida de este valor (0.65 puntos). Esto debido a que las diferencias de producción vegetativa del primer periodo como del segundo no se han diferenciado mucho, es decir, en este año, nuestros árboles no han tenido suficientes recursos como para poder realizar capturas de carbono como en el anterior año.

#### **Año 2002 en comparación al 2003**

La variación estacional del LAI del bosque de Guardamar del Segura se ha basado en la alteración de la biomasa aérea forestal de las principales especies coníferas de la zona, por lo que coincidimos con Luo *et al.* (2002) y Chason, *et al.* (1991) los cuales señalan que es posible detectar el crecimiento y el bajo desarrollo de las acículas (estrechamente relacionado al desarrollo del LAI) en las estaciones correspondientes utilizando métodos destructivos en combinación con métodos indirectos.

Los resultados obtenidos muestran en el primer año (2002) un decremento del 49% de LAI en el verano respecto de la primavera del mismo año; en el segundo año (2003) se observa un 23% de reducción del LAI en el verano respecto de la primavera del mismo año. Estas reducciones se verifican también entre los dos años.

El LAI estacional observado en los cuatro periodos de medición presentan una diferencia significativa entre las primaveras del 2002 y del 2003, y la similitud entre los dos inviernos de los mismos periodos. Así mismo, se observó una disminución del LAI entre el verano del 2002 y del 2003 en un 27%, representando lo particular de las condiciones climáticas de las estaciones estudiadas. Sin embargo, comparando los periodos primaverales, vemos que existió una recuperación notable de este índice, respecto de los periodos precedentes. Los periodos encontrados con valores de LAI altos, corresponden a épocas de mayor disponibilidad de agua en el suelo, como de presencia de precipitaciones, como lo verificaremos en el capítulo siguiente. Aunque se ha observado que en la época de estiaje, ha habido la aparición de brotes en los árboles, sin que el valor promedio del LAI haya aumentado significativamente. Efecto que asumimos es debido a la disponibilidad de agua en perfil del sustrato, por el almacenamiento de aguas de lluvia o provenientes de aguas freáticas. Otra origen de esta aparición podría ser el aprovechamiento del agua de la estructura de la misma planta, ya que en este periodo existe ausencia de lluvias. Este comportamiento nos indicó el desarrollo de las especies arbóreas en la época de lluvias (primavera) y estiaje (verano), lo cual implicaría que el LAI juega un prominente rol como un indicador de las condiciones del ecosistema forestal (Nackaerts, *et al.*, 2000).

En el invierno del 2003 el LAI disminuyó en un 11% respecto del 2002. Esto debido a que en el primer año, las condiciones climatológicas en el invierno y primavera fueron favorables para el desarrollo, sin embargo las condiciones del verano fueron extremas, lo que redujo el desarrollo

de la vegetación hasta un nivel estable (tabla 5). Estabilidad que se refleja en la diferencia no significativa de la comparación entre las medias de los valores de LAI de los dos inviernos estudiados (pendientes de 0.26 y de 0.20 respectivamente).

En el 2002 el LAI bajó en 1.09 veces del verano al otoño, y de 1.03 veces en la misma época para el año 2003. Las comparaciones de medias no fueron estadísticamente diferentes. Estos resultados nos muestran que los cambios son positivos en los períodos de invierno a primavera, y negativos en los períodos de primavera a verano y de verano a otoño. Lo que básicamente se traduciría en la influencia de los efectos medioambientales sobre las partes vegetativas de la planta. Por ejemplo en la época de transición de primavera a verano, existe una caída de hojas. Este proceso influye en el proceso de fotosíntesis, intercambio gaseoso o interceptación de la lluvia, comienzo del desarrollo de brotes, y la formación de anillos de crecimiento.

La variación del LAI a lo largo de las estaciones muestra valores coincidentes con los hallados por Deblonde *et. al.* (1994) que trabajó con *Pinus resinosa* (de 60 años), *P. banksiana* Lamb, (de 30 años) y utilizando el LAI-2000. Estos autores obtuvieron una variación de 2.19, 2.7, y 3.17 para la primera especie, y de 2.26, 2.76, 2.05 para la segunda especie, en el periodo de mayor producción vegetal; en el periodo de menor producción obtuvieron 1.96, 2.48, 3.02 y 2.12, 2.53 y 1.95 para la primera y segunda especie respectivamente, en la época de ausencia de producción vegetativa. En comparación, los resultados obtenidos en nuestro estudio son de  $3.67 \pm 2.28$  y de  $2.65 \pm 1.63$  en el periodo de mayor producción, y de  $1.84 \pm 1.14$  y de  $2.0 \pm 1.21$  obtenidos en verano, la época de menor producción vegetativa, de los años 2002 y 2003 respectivamente.

Usualmente se utiliza un valor único para caracterizar el desarrollo de la copa de los árboles en el ecosistema. Sin embargo el LAI puede cambiar considerablemente de año en año, inclusive dentro de un mismo año. Se sugiere por esa razón que a la información de este parámetro debe acompañársele de otra de carácter temporal en relación a la duración que tienen las partes fotosintetizadoras en la planta (Maass *et. al.*, 1995), esto para tener mayor exactitud en el estudio del desarrollo de la copa de los árboles. Debido a que en la pinada de Guardamar la mayor población de especies son arbóreas es posible utilizar este valor para su caracterización. Este indicador está determinado por los cambios en las estaciones, y por lo tanto está expresado en la pendiente de la curva entre estaciones. En el año 2002 se ha encontrado que existió un incremento (invierno a primavera) de 1.93 veces del primero respecto del segundo ( $R^2=0.81$ ;  $p<0.0001$ ). En el año 2003, en este mismo periodo se ha encontrado un incremento de 1.5 veces de la primera respecto de la segunda estación ( $R^2=0.5591$ ;  $p<0.8601$ ).

Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional**El LAI en relación a las características medioambientales**

Por otro lado se constata que en épocas de temperaturas mayores el LAI encontrado es menor, ya que en la primavera del 2002 se registró una temperatura promedio de 16°C, y se diferencia fuertemente del verano del mismo año con una temperatura promedio de 25°C. De la misma forma, se observó que en verano se obtuvo el valor más bajo de LAI, para ambos periodos, 2002 y 2003, con LAIs promedios de 1.8 y 2. En cambio los valores más altos de este parámetro ecofisiológico se localizan en primavera, con 3.7 y 2.7, en los años 2002 y 2003 respectivamente. Esto nos indicaría que este factor medioambiental (la temperatura) juega un papel muy importante en de la productividad de las plantas, al influir en el LAI. Igualmente, esta influencia es aún más importante cuando se estudian masas forestales de una sola especie, ya que puede alterar significativamente la productividad de todo el conjunto, en consecuencia, alterar la eficiencia de crecimiento del bosque; lo que no ocurre en masas forestales compuestas de alta diversidad, los cuales a través de su ajuste morfológico y ecológico responden positivamente a los factores de estrés, presentes en los medios áridos y semiáridos, como es el de las dunas de Guardamar del Segura.

Contrastando con lo anterior, si observamos más profundamente el comportamiento de la temperatura, vemos que esta variable no es un factor de limitación constante, más bien actúa de acuerdo a las condiciones de otros factores tales como la disponibilidad de humedad en el sustrato. Por ejemplo, la evolución de la temperatura de invierno a primavera ha sido positiva, lo mismo que el comportamiento del LAI. En cambio, la evolución de la temperatura de primavera a verano ha sido positiva, y la del LAI negativa. En este periodo el comportamiento del LAI ha sido más o menos constante (periodo de presencia de humedad en el suelo, luego de las precipitaciones de la estación anterior), luego del cual a ido decreciendo a medida que la temperatura y la disponibilidad de agua bajaba. Se ha observado que en esta época, es donde el árbol sufre una pérdida considerable de sus acículas, empezando desde el amarillamiento hasta la caída de ellas, manteniendo un porcentaje de éstas que le permiten realizar la fotosíntesis y producir un mínimo de área foliar.

En el segundo año, las condiciones para el crecimiento del LAI en la pinada no fueron tan favorables, como en el 2002, aunque existió diferencias altamente significativas entre la primavera y el verano ( $\alpha=0.01$ ;  $p<0.0003$ ).

Según la tabla 5 la variación entre los dos años fue más notoria entre las primaveras; esto indicaría un incremento de radiación y otros factores (como la disponibilidad de agua) para la formación de biomasa en ese período. El LAI promedio alcanzado es comparable con los datos obtenidos por otros investigadores que trabajaron con coníferas maduras (pinos) y de productividad media. Chen, *et. al.* (1997) encontró un valor promedio de 1.95 y 2.57 de LAI con árboles de estas características en comparación al 2.23 encontrado en Guardamar del Segura.



Por otro lado, Bolstad y Gower (1990) trabajando con coníferas de mayor tamaño (*Pinus strobus* L. y *P. resinosa* Ait. de 67.6 y 65.1 m<sup>2</sup>/Ha de área basal), y más densos (2030 y 1250 árboles/Ha), utilizando el ceptómetro encontró valores más altos que el nuestro (8.2 y 6.4 respectivamente para especies citadas), lo que confirmaría la sobreestimación del LAI debido al coeficiente de extinción.

#### 2.5.4. Resultados del LAI en diferentes espacios

Aunque la relación del LAI con la altitud es inversamente proporcional, se ha observado que su relación varía con la estación del año. Desde este punto de vista, la posición de los árboles en distintas partes de las dunas juega un papel importante en los LAIs en la pinada de Guardamar del Segura.

El comportamiento más importante de este índice sigue el siguiente patrón:

- 1) Los LAIs más altos fueron encontrados en las partes más bajas de las dunas, es decir, en las depresiones. Por el contrario, los valores más bajos fueron hallados en las partes más altas, es decir, en los picos de las dunas.
- 2) Los valores del LAI encontrados en las cercanías a la costa son más bajos que los encontrados hacia tierras adentro.

La altitud máxima de las dunas alcanzó 15 m y su influencia fue preponderante en los árboles en la medida que formó un microclima en su entorno, ya que las dunas cercanas a la costa, aunque bajas, fueron influidas por factores inherentes al mar. Por esa razón, las desviaciones de las mediciones son variables en todas las líneas imaginarias paralelas a la costa. Las formaciones dunares con líneas de picos casi paralelas a la costa sugieren la formación de estos microclimas, los cuales muestran correlaciones altitud y LAI altamente significativas (tabla 6), como para los casos de las dunas a los 175, 245, 525, 560, 595 y 700 m desde el primer punto de medición dentro del cuadrante imaginario utilizado. Estas últimas ubicadas en dunas fijas y menos altas.

Este comportamiento obedece básicamente a las características de la topografía dunar, de la presencia de hondonadas, de sus características particulares en comparación a los picos dunares, de las cuales sobresalen sobre todo la cantidad de agua almacenada en el subsuelo y el grado de compactación de éstas, acompañada de una perturbación mínima de las condiciones medioambientales sobre todo del viento y el spray marino. Estas condiciones hacen de por sí un ambiente favorable al aporte de hojarasca (caída de acículas) que a su vez aportan a la capacidad de almacenamiento del sustrato, que en comparación a las dunas más altas se estiman sean más altas.

### Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

Si comparamos las condiciones de los sitios cercanos a la costa con los sitios alejados de ésta, veremos una clara respuesta en el LAI. Las condiciones de las dunas fijadas (los más lejanos a la costa) se parecen más a las zonas de suelo verdadero (suelos con mayor capacidad de retención de agua, mayor estructura y formación de agregados, etc.), los cuales ya contienen un porcentaje apreciable de arcilla y limo, que aumentan las características favorables de los suelos. Así mismo, la lejanía de la costa es otro factor que facilitaría el proceso vegetativo favoreciendo no solo la fotosíntesis sino la transpiración, lo que induce, prácticamente a una elevada expresión del LAI en comparación a la costa. Esta condición nos ayuda a confirmar que en los suelos de dunas (en realidad estratos) con una capacidad muy baja de retención de agua y alta permeabilidad (condición de las dunas no fijadas o semifijadas), sino se tiene el agua freática muy cerca de la superficie, esta disponibilidad depende muy fuertemente de la relación precipitación y evapotranspiración en el periodo de crecimiento, es decir, en el periodo primaveral (Teobaldelli, *et al.*, 2004). La temporada del periodo estival, puede causar en este tipo de suelos una reducción de la producción de la biomasa (porque no hay producción significativa de acículas) y en consecuencia baja acumulación de materia orgánica; mientras que en suelos de mayor retención de humedad, en periodos de precipitación alta (con excesiva concentración de agua en determinados periodos) puede retardarse la descomposición (Sevink, 1991).

Las informaciones cruzadas del LAI entre las estaciones y los espacios nos han sugerido que existe una fuerte correlación para determinados sitios y las estaciones. Los valores máximos de LAI encontrados siempre han estado en primavera y en el subparcela 20 (a 700 m de distancia perpendicularmente desde la costa aproximadamente) con valores entre 9.48 y 9.78 para la primavera del 2002 y valores de 6.82 y 7.20 en la primavera del 2003. En el periodo estival han variado desde 4.74 a 4.89 y de 5.01 a 5.07, para el primer y segundo año respectivamente. Esta subparcela (el número 20) ha estado caracterizada por suelos de arenas estabilizadas, en los que se pueden encontrar matorrales xerofíticos y plantaciones de pinos, característica que le permite tener mayor capacidad de almacenamiento de agua, ya que estas contienen mayor porcentajes de partículas finas (Martín *et al.*, 1989).

#### 2.5.5. Relación del LAI y la topografía de las dunas

Los valores más bajos de LAI se han encontrado en dunas semifijas o de poca densidad de plantación de árboles. Se los ha localizado en la 1ª y 2ª subparcelas, y otras en la 5ª y 10ª subparcela, con valores de LAI que van desde 0.45 a 0.84 para la primavera del 2002 y de 0.34 a 0.87 para la primavera del 2003; en verano el valor más bajo encontrado fue de 0.24 a 0.42 para el 2002, y de 0.30 a 0.43 en el año 2003. El LAI del primer grupo ha estado localizado en la primera subparcela con una altitud promedio de 9.35 m.s.n.m.; el segundo localizado en la décima subparcela a 6.73 m.s.n.m. a una distancia del 350 m desde la costa; la tercera y la cuarta también localizado en la primera subparcela a 9.85 y 9.85 m.s.n.m. respectivamente.

Todos estos sitios se caracterizan por ser picos de dunas o pendiente de éstas. Aquí las características del medio son importantes ya que se diferencian completamente de las primeras, localizados en una hondonada, o duna fija. En los picos dunares generalmente se encuentran las arenas no estabilizadas, que son aun transportadas. Su capacidad de retención del agua es muy baja y su exposición solar máxima, por lo tanto están mayormente pobladas por especies específicas de dunas y que están adaptadas a estas condiciones, como *Sporobolus arenarius*, *Crucianella marítima* entre otros (Seva *et al.*, 1989), con poca población arbustiva. Esta condición de poca densidad poblacional de las especies de interés del estudio ha ocasionado que estos valores sean tan bajos en relación a los encontrados en las hondonadas. A diferencia de éstas, las plantas en los picos dunares están sometidas a condiciones de estrés no sólo en verano sino también en la época de mayor producción vegetal y de mayor presencia de lluvias.

#### **Relación del LAI de Guardamar del Segura con otros ecosistemas**

Los valores de LAI encontrados parecen estar dentro del rango de medioambiente de tierras forestales (media de LAI 2.1, valores máximos 4.5 y mínimos de 0.4) y bajos en comparación a los bosques templados de especies de coníferas perennes (media de LAI 6.7, valores máximos 47.0 y mínimos de 0.04) (Asner *et al.*, 2003). Según este mismo autor los valores menores a 4.5 corresponden en forma decreciente a zonas de tundra, praderas y desérticas. Indica que los valores más altos de LAI fueron los encontrados para las especies forestales de hojas aciculares.

## Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

---

### **2.6. Conclusiones**

- El índice de área foliar (LAI) varía según las estaciones y las condiciones medioambientales tales como la incidencia de precipitaciones. El LAI promedio de mayor valor (3.6) ha sido estimado en el periodo primaveral del 2002 en comparación al LAI del verano (1.84) del mismo año. El año 2003 con menor precipitación que la anterior, el promedio del LAI mayor (2.65) fue estimado en el periodo primaveral y el menor (2.00) en el periodo veraniego.
- La distribución espacial del LAI depende básicamente de la topografía, la influencia del mar y las condiciones medioambientales. Así, los mayores valores de LAI (9.78) se encuentran en las depresiones de las dunas, alejadas de la zona de la costa y ubicados en dunas fijas; el valor menor (0.24) se ha estimado estar en una zona cercana a la costa, en el pico de una duna con características de movilidad.
- El LAI es menor en zonas cercanas a la costa y mayor en zonas alejadas, la cual ha dependido básicamente de la influencia del spray marino y la condición del sustrato dunar. Así en zonas de dunas fijadas, se ha encontrado un mayor valor de LAI y en zonas de la costa un LAI menor a la anterior.
- La relación caída de acículas y LAI es inversamente proporcional pero no lineal. El valor del LAI disminuiría hasta el valor en el cual, sino se hicieran las correcciones a las lecturas del LAI-2000, se estimaría solamente la parte maderable del árbol. Esta relación no está muy clara, y necesita mayor investigación.
- Existe una correlación significativa entre los datos obtenidos con el ceptómetro y el LAI-2000 aunque la información lograda por el primero es levemente mayor en comparación al segundo. Sin embargo la respuesta obtenida por el LAI-2000 se muestra que los elementos no fotosintetizadores (ramas y ramillas) parecen influir, motivo por el cual necesitan ser corregidos.

## 2.7. Referencias

- Asner, P.G., Scurlock, J.M.O., Hicke, J.A. (2003)** Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. *Global Ecology and Biogeography* (2003) **12**, 191-205.
- Barrantes, O. and Gracia, C.A. (1989)**. Estimación del área foliar a partir de la superficie de albura en *Pinus sylvestris*. *Options Méditerranéennes – Série Séminaires* No.3, 1989: 53-56.
- Bolstad, P.V., and Gower, S.T. (1990)**. Estimation of leaf area index in fourteen southern Wisconsin forest stands using a portable radiometer. *Tree Physiology* **7**, 115-124.
- Bréda, N.J.J. (2003)** Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany*, Vol. **54**, No. 392, pp 2403-2417, November 2003.
- Campbell, G.S. (1986)** Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol 36, Issue 4, pp 317-321.
- Chason, J.W., Baldocchi, D.B., Huston, M.A., (1991)**. A comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf area. *Agric. For. Meteorol.* **57**, 107–128.
- Chen, J.M. and Cihlar, J. (1995)**. Quantifying the effect of canopy architecture on optical measurements of leaf area index using two gap size analysis methods. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 33 No.3 May, 1995.
- Chen, J.M. (1996)**. Optically-based methods for measuring seasonal variation of leaf area index in boreal conifer stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol 80, Issue 2-4, July 1996, pp 135-163.
- Chen, J.M., Rich, P.M., Gower, S.T., Norman, J.M., and Plummer, S. (1997)**. Leaf area index of boreal forests: theory, techniques, and measurements. *Journal of Geophysical Research* **102** (D24): 29, 429-29, 443.
- Cherry, M., Hingston, A., Battaglia, M., and Beadle, C. (1998)**. Calibrating the LI-COR LAI-2000 for estimating leaf area index in eucalypt plantations. *Tasforest* Vol. 10: 75-82.
- Cockaine, L. (1926)** Tussock grassland investigation in New Zeland. *En*: A.C. Tansley and T.F. Chipp (Ed), *Aims and Methods in the Study of Vegetation*. Brit. Emp. Veg. Committee and Crown Agents for Colonies, London, England, pp. 349-372.
- Deblonde, G., Penner, M., and Royer, A. (1994)**. Measuring leaf area index with the LI-COR LAI-2000 in pine stands. *Ecology*, Vol. 75, pp 1507-1511.
- Decagon Devices, Inc. (1989)**. Sunfleck Ceptometer, User manual. Delta-T Devices Ltd., Cambridge. 34 pag.
- Eklundh, L., Harrie, L., Kuusk, A. (2001)**. Investigating relationships between Landsat ETM+ sensor data and leaf area index in a boreal conifer forest. *Remote Sensing of Environment* **78** (2001) 239-251.

*Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional*

---

- Escarré, A. (2000)** Los pinares costeros y la vegetación psamofítica: análisis de sus procesos Hidrológicos y propuesta de integración en una restauración en mosaico. Proyecto de Investigación y Desarrollo en relación con la restauración de la cubierta vegetal, CEAM.
- Escudero A., Del Arco J.M., Sanz I.C., Ayala J., (1992)** Effects of leaf longevity, retranslocation efficiency on the retention time of nutrients in the leaf biomass of different woody species. *Oecologia*, **90**, 80-87
- Feldkirchner, D.C. and Gower, S.T. (2001).** Using the LI-COR LAI-2000 to estimate leaf area index and light transmittance in forest canopies. Methodology papers series of the 4th International Conference on ILTER in East and Pacific Region, Ulaanbaata-Hatgal, Mongolia, 2001, pp. 12-14.
- Field, C. and Mooney, H.A. (1983).** Leaf age and seasonal effects on light, water, and nitrogen use efficiency in a California shrub. *Oecologia* **56**: 348-355.
- Gatch, J.A., Harrington, T.B., Castleberry, J.P (2001)** LAI-2000 accuracy, precision, and application to visual estimation of leaf area index of loblolly pine. *En*: Proceedings of the Eleventh biennial southern silvicultural research conference: 2001 March 20-22; Knoxville, TN. Gen. Tech. Rep. SRS-XX. Asheville, NC: U.S. Department, Forest Service, Southern Research Station. 1-30 pp.
- Gillespie, A.R., Allen, H.L., Vose, J.M. (1994)** Amount and vertical distribution of foliage of young loblolly pine tree as affected by canopy position and silvicultural treatment. *Can. J. For. Res.* Vol **24**: 1337-1344.
- Gond, V. De Pury, D.G.G. Veroustraete, F. and Ceulemans, R. (1999)** Seasonal variations in leaf area index, leaf chlorophyll, and water content; scaling-up to estimate fAPAR and carbon balance in a multilayer, multispecies temperate forest. *Tree Physiology* **19**, 673-679
- Gower, S. T. and Norman, J. M. (1991).** Rapid estimation of leaf area index in conifer and broad-leaf plantations. *Ecology*, **72**(5): 1896-1900
- Gower, S.T., Kucharik, C.J., Norman, J.M. (1999).** Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, **70**, 29-51.
- Groeneveld, D.P. (1997)** Vertical point quadrat sampling and an extinction factor to calculate leaf area index. *Journal of Arid Environments* (1997) **36**: 475-485
- Harrington, T. B., Gatch, J. A., Borders, B.E. (2002)** Seasonal dynamics in leaf area index in intensively managed loblolly pine. In: Proceedings of the eleventh biennial southern silvicultural research conference. *Gen. Tech. Rep.* SRS-48. Asheville, NC: US. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 622 p.
- Hebert, M. T., and Jack, S. (1998).** Leaf area index and site water balance of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) across a precipitation gradient in East Texas. *Forest Ecology and Management* **105** (1998) 273-282.

- Houlton, B.Z., Discroll, C.T. Fahey, T.J., Groffman, P.M. and Likens, G.E. (2003)** Nitrogen dynamics in ice storm-damaged forest ecosystems: implications for nitrogen limitation theory. *Ecosystems*, **6**: 431-443.
- Jarvis, P. G. and Stewart, J. (1979)** Evaporation of water from plantation forest. *En*: E.D. Ford, D.C. Malcom and J. Atterson (Ed). The Ecology of Even-Aged Forest Plantation Institute of Terrestrial Ecology, Cambridge, pp. 327-350.
- Kucharik, C.J., Norman, J.M., and Gower, S.T. (1998)**. Measurements of branch area and adjusting leaf area index indirect measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. **91**, Issues 1-2, pp. 69-88.
- Lallana, H.V. (1999)** Medición del área foliar mediante escáner y software IDRISI. *Revista FAVE* **13** (2): 27-33, 1999.
- Law, B.E., Van Tuyl, S., Cescatti, A., and Baldocchi, D.D. (2001)**. Estimation of leaf area index in open-canopy ponderosa pine forest at different successional stages and management regimes in Oregon. *Agricultural and Forest Meteorology* **108** (2001) 1-14.
- Leblanc, S.G. and Chen, J. M. (2001)** A practical scheme for correcting multiple scattering effects on optical LAI measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* **110** (2001) 125-139.
- Leblanc, S.G., Fernandes, R., and Chen, J.M. (2002b)**. Recent advancements in optical field leaf area index, foliage heterogeneity, and foliage angular distribution measurements. Proceedings of International *Geoscience and Remote Sensing Society*, 24-28 June 2002, Toronto.
- Levy, E.B. and Madden, E.A. (1933)** The point quadrat method of pasture analysis. *New Zeal. J. Agric.*, **46**: 267-279.
- Li-Cor, (1991a)** LAI-2000 Plant canopy analyzer. Operating manual. Lincoln, Nebraska, USA. 224 pag.
- Li-Cor, (1991b)** 1000-90 Communication and utility software for Li-Cor Instruments. Lincoln, Nebraska, USA.
- Luo, T., Neilson, R., Tian, H., Vörösmarty, C. J., Zhu, H., and Liu, S. (2002)** A model for seasonality and distribution of leaf area index of forests and its application to China. *Journal of Vegetation Science* **13**: 817-830, 2002.
- Maass, J.M., Vose, J.M., Swank, W.T., Martinez-Yrizar, A. (1995)** Seasonal changes of leaf area index (LAI) in a tropical forest in west Mexico. *Forest Ecology and Management* **74** (1995) 171-180.
- Martens, S.N., Ustin, S.L., Rousseau, R.A. (1993)**. Estimation of tree canopy leaf area index by gap fraction analysis. *Forest Ecology and Management* **61** (1993) 91-108.
- Martín, J., Seva, E. y Escarré, A. (1989)** Características del sustrato dunar. *En*: Escarré, A. Martín, J. y Seva, E. Eds. Estudios sobre el medio y la biocenosis en los arenales costeros de la provincia de Alicante. 51-62 pp.

Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

- Messier, C., y Puttonen, P. (1995)** Spatial and temporal variation in the light environment of developing Scot pine stands: the basis for quick and efficient method of characterizing light. *Can. J. For. Res.*: **25**: 343-354.
- Mussche, S., Samson, R., Nachtergale, L., De Schrijver, A., Lemeur, R., and Lust, N. (2001)**. A comparison of optical and direct methods for monitoring the seasonal dynamics of leaf area index in deciduous forest. *Silva Fennica* 35 (4): 373-384.
- Nackaerts, K., Coppin, P., Muys, B., Hermy, B. (2000)** Sampling methodology for LAI measurements with LAI-2000 in small forest stands. *Agricultural and Forest Meteorology* **101** (2000) 247–250.
- Navas, M., Ducout, B., Roumet, C., Richarte, J., Garnier, J., Garnier, E. (2003)** Leaf life span, dynamics and construction cost of species from Mediterranean old-fields differing in successional status. *New Phytologist* (2003) **159**: 213-228.
- Nilson, T. (1999)**. Inversion of gap frequency data in forest stand. *Agricultural and Forest Meteorology* **98-99** (1999): 437-448.
- Nilson, T., Anniste, J., Lang, M., Praks, J. (1999)**. Determination of needle area indices of coniferous forest canopies in the NOPEX region by ground-based optical measurements and satellite images. *Agricultural and Forest Meteorology* **98-99** (1999): 449-462.
- Norman, J.M., Campbell, G.S., (1989)**. Canopy structure. *En*: Pearcy, R.W., Ehleringer, J., Mooney, H.A., Rundel, P.W. (Eds.), *Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation*. Chapman and Hall, New York, USA, pp. 301–325.
- Ogaya, R., Peñuelas, J., Martínez-Vilalta, J., Mangirón, M. (2003)** Effect of drought on diameter increment of *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia*, and *Arbutus unedo* in a holm oak forest of NE Spain. *Forest Ecology and Management* **180** (2003) 175–184
- Parent, S. y Messier, C. (1996)** A simple and efficient method to estimate microsite light availability under forest canopy. *Can. J. For. Res.*: **26**: 151-154..
- Perry, S.G., Fraser, A.B., Thomson, D.W. and Norman, J.M. (1988)** Indirect sensing of plant canopy structure with simple radiation measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, **42**: 255-278.
- Pierce LL, and, Running, S.W. (1988)** Rapid estimation of coniferous forest leaf area using a portable integrating radiometer. *Ecology* **67**, 1762-1767.
- Raventós, J., De Luis, M., Gras, M.J., Cufar, K., Gonzales-Hidalgo, J.C., Bonet, A., Sánchez, J.R. (2001)** Growth of *Pinus pinea* and *Pinus halepensis* as affected by dryness, marine spray and land use changes in a Mediterranean semiarid ecosystem. *Dendrochronologia* **19**(2)-2001: 211-220.
- Rhoads, A.G., Hamburg, S.P., Fahey, T.J., Siccama, T.G., and Kobe, R. (2004)** Comparing direct and indirect methods of assessing canopy structure in a northern hardwood forest. *Can. J. For. Res.* **34**: 584-591 (2004).
- Ross, J., (1981)**. The radiation regime and architecture of plant stands. *En*: W. Junk (Ed), *The Hageu*, The Netherlands. 1-13 pp.



- Sampson, D.A., and Smith, F.W. (1993)** Influence of canopy architecture on light penetration in lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) forests. *Agric. For. Meteorol.* **64**: 63-79.
- Seva, E., Gutiérrez, A., Martín J., Escarré A. (1989)** Plantas Psamófilas. *En*: Escarré A., Martín J., Seva E. (Ed) Estudios Sobre El Medio y la Biocenosis en los Arenales Costeros de la Provincia de Alicante. 63-71 pp.
- Sevink, J. (1991)** Soil development in the costal dunes and its relation to climate. *Landscape Ecology* vol **6** no. 1/2 pp 49-56 (1991).
- Smith, N.J., Chen, J.M., and Black, T.A. (1993)** Effects of clumping on estimates of stand leaf area index using the LI-COR LAI-2000. *Canadian Journal of Forest Research*, Vol. **23**, pp. 1940-1943.
- Smolander, H., and Stenberg, P. (1996)**. Response of LAI-2000 estimates to changes in plant area index in a Scots pine stand. *Tree Physiology* **16**, 345-349.
- Spanner, M.A., Pierce, L.L., Running, S.W. and Peterson, D.L. (1990)** The seasonal trends of AVHRR data of temperate coniferous forest: relationship with leaf area index. *Remote Sensing Environ.*, **33**: 97-112.
- Stenberg, P., Linder, S., Smolander, H., and Flower-Ellis, J. (1994)** Performance of the LAI-2000 plant canopy analyzer in estimating leaf area index of some Scot pine stands. *Tree Physiology* **14**, 981-995.
- Teobaldelli, M., Mencuccini, M., Piussi, P. (2004)** Water table salinity, rainfall and water use by umbrella pine trees (*Pinus pinea* L.) *Plant Ecology* **171**: 23-33, 2004.
- Thomas, S.C., and Winner, W.E. (2000)**. Leaf area index of an old-growth Douglas-fir forest estimated from direct structural measurement in the canopy. *Can. J. For. Res.* **30**: 1922-1930 (2000).
- Timothy B. H., Gatch, J. A., and Borders, B.E. (2002)** Seasonal dynamics in leaf area index in intensively managed Loblolly pine. *En*: Proceedings of the eleventh biennial southern silvicultural research conference. Outcalt, Kenneth W.(Ed). Gen. Tech. Rep. SRS-48. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 622 pag.
- Tinney, F.W., Aamodt, O.S. and Ahgren, H.L. (1937)** Preliminary report of a study on methods used in botanical analysis of pasture swards. *J. Amer. Soc. Agron.*, **29**: 835-840.
- Vertessy, R.A., Benyon, R.G., Osullivan, S.K. and Gribben, P.R. (1995)** Relationships between stem diameter, sapwood area, leaf area and transpiration in a young mountain ash forest. *Tree Physiology*, **15**: 559-567.
- Verwijst, T. and Wen, D. (1996)** Leaf allometry of *Salix viminalis* during the first growing season. *Tree Physiology* **16**, 655-660.
- Vose, J.M., and Swank, W.T. (1990)**. Assessing seasonal leaf area dynamics and vertical leaf area distribution in eastern white pine (*Pinus strobes* L.) with a portable light meter. *Tree Physiology* **7**, 125-134.

Respuesta del índice de área foliar al cambio estacional

---

- Walter, J.M.N., Fournier, R.A., Soudani, K., Meyer, E. (2003).** Integrating clumping effects in forest canopy structure: an assessment through hemispherical photographs. *Can. J. Remote Sensing*. Vol. **29** No.3, pp 388-410, 2003.
- Waring, R.H. (1985)** Imbalanced forest ecosystems: assessments and consequences. *For. Ecol. Manage.*, **12**:93-112.
- Waring, R.H., Newman, K. and Bell, J. (1981)** Efficiency of tree crowns and stemwood production at different canopy leaf densities. *Forestry*, **54**: 129-137.
- Warren, W. J. and Reeve, J.E. (1959)** Analysis of the spatial distribution of foliage by two-dimensional point quadrats. *New Phytol*, **58**: 92-101.
- Watson, D.J. (1947)** Comparative physiological studies in the growth of fields crops. I: Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between year. *Annals of Botany*, **11**: 41-76.
- Welles, J.M. (1990)** Some indirect methods of estimating canopy structure. *Remote Sens.Rev.* **5**(1): 31.43.
- White, J.D., Running, S. W., Nemani, R., Keane, R.E., Ryan, K.C. (1997)** Measurement and remote sensing of LAI in Rocky Mountain ecosystem. *Can. J. For. Res.* **27**: 1714-1727 (1997).
- Wilhelm, W.W., Ruwe, K., Schlemmer, M.R. (2000)** Comparison of three leaf area index meters in a corn canopy. *Crop. Sci.* **40**:1179-1183 (2000).
- Wünsche, J.N. , Lakso, A.N., Robinson, T.L. (1995)** Estimating total light interception by apple trees of varying forms. *Hort. Science* **30**(2): 272-276. 1995.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

*"Podrán cortar todas las flores, pero no podrán detener la primavera"*  
**Pablo Neruda**



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## CAPITULO 3

### BALANCE DE AGUAS EN EL PINAR DE GUARDAMAR DEL SEGURA: RESPUESTA ESTACIONAL

#### 3.1. Resumen

Se ha realizado el balance de aguas de un pinar en Guardamar del Segura en el SE de la península Ibérica en dos años hidrológicos consecutivos (Noviembre 2001 – Septiembre 2002 y Octubre 2002 – Agosto 2003) en los que se ha recogido 386.8 y 185.5 mm de precipitación (P) respectivamente. En este bosque, los valores de trascolación (Tr) y la escorrentía cortical (Ec) representa un 65% y un 9% del total de la P, respectivamente. La Tr para el conjunto de pinos se ha producido en P mayores a 3.2 mm a partir de la cual se ha ido incrementando el porcentaje. Cuando se trata de P mayores de 50 mm *P. pinea* deja pasar el 69% de la P y *P. halepensis* el 77%. La Ec se observó en P mayores a 6 mm.

Los valores de humedad volumétrica de agua en el suelo no han superado los 11.9% para la capacidad de campo, ni 5.3% para el punto de marchitez permanente. La estación con mayor cantidad de agua almacenada en el suelo ha sido la primavera del 2002, que también presenta los mayores índices de transpiración con  $0.43 \pm 0.20$  mm.día<sup>-1</sup>. La transpiración está muy relacionada a la cantidad de agua en el perfil del suelo; esto se puede apreciar en las mediciones de potencial hídrico. En perfiles de suelo con contenido volumétrico de agua a capacidad de campo, los árboles muestran potenciales de -1.5 Mpa e índices de transpiraciones de hasta 0.37 L/m<sup>2</sup>.día. Así mismo, se ha observado el cierre estomático cuando el PAR supera los 800 W/m<sup>2</sup>, lo que ha permitido la identificación de un comportamiento plástico. Realizando la comparación del rocío con la temperatura al nivel del suelo, se ha visto que existe una correlación altamente significativa. Se puede asumir que durante el invierno los bajos valores de transpiración y ocasionalmente los bajos valores de radiación, producen un limitado flujo de savia; en cambio en verano, este flujo está limitado por la falta de agua en el perfil del suelo.

## 3.2. Introducción

### 3.2.1. Cuadro general

De todas las comunidades forestales en España, según la Dirección General de Conservación de la Naturaleza del Ministerio de Medio Ambiente (1997) al menos 4.6% de la superficie forestal pertenece de la Comunidad Valenciana. De este total, al menos 1.843.859 Has son de *Pinus halepensis* Miller y 391.884 de *P. pinea* L. (Martín y Gonzales, 2000). La mayoría de estas plantaciones se localizan en zonas económicamente productivas. De esta población una parte estimada viene a ser las repoblaciones dispersas y con carácter de recuperación del medio ambiente como la fijación de dunas, en cuyo ambiente se ha llevado a cabo la investigación.

En el estudio de los balances hidrológicos en cuencas realizadas en España los pioneros fueron los ecólogos de la escuela de Margalef quienes, a partir de una colaboración con forestales y ecólogos de EEUU, investigaron las características del balance de aguas y nutrientes en comunidades forestales Mediterráneas en cuencas situadas en la Sierra de Prades (Escarré *et al.*, 1986; Bellot, 1988), y en el Montseny (Ávila y Rodá, 1985, 1988). Posteriormente, encontramos trabajos que continuaron estas investigaciones como las de Lledó y Piñol (1989) en la Sierra de Prades y de Bellot y Escarré (1989) en el mismo lugar, y continuaron con Piñol *et al.* (1991). Otros trabajos relacionados al balance hidrológico se han llevado en la cuenca de Mula (Murcia) (Belmonte y Romero, 1999) y las llevadas a cabo en Cáceres (Extremadura) (Mateos y Schnabel, 2001).

En los últimos 15 años, en el departamento de Ecología de la Universidad de Alicante ha trabajado, en líneas de investigación dirigidas a la realización de balances hídricos a partir de parcelas en pinares y matorrales localizados sobre un acuífero de nivel controlado situado en la Sierra de Ventós (Bellot *et al.*, 1999) y en pinares costeros (Escarré, 2000; Escarré *et al.*, 2004).

Esta parte de la tesis se dedica al componente agua en el ecosistema, realizando un balance de ésta en dos especies de coníferas predominantes en este medio. Para entender los procesos en los que la investigación ha hecho mella, es necesario referirse resumidamente sobre las características del balance.

### 3.2.2. El balance de aguas

**El agua:** El agua es un componente esencial de las plantas. Este componente participa en el movimiento de las sustancias a través de la planta, sirve de medio para las reacciones químicas, y es necesario para la fotosíntesis. Sin embargo parte de ella se pierde de forma inevitable por el proceso de transpiración, que numerosas plantas tolerantes a la sequía han

## Balance de aguas en el pinar

---

sabido minimizar controlando el cierre de estomas en momentos de máxima insolación y por ello a no ser que las raíces tengan un continuo abastecimiento, eventualmente la planta llegará a marchitarse. Por otro lado, cuando la planta se expone a moderados periodos de sequía, ésta aumenta su habilidad de resistir la falta de agua.

De ahí es porqué el agua es tan importante para la vida de las plantas, ya que participa en numerosos procesos no sólo dentro de la planta, sino también en el ecosistema, y esto es lo que refiere el ciclo hidrológico.

El agua por tanto es extraído del suelo por las raíces y bombeado hasta las hojas realizando una función de transporte vital de allí se libera al ecosistema participando de forma activa en el ciclo hidrológico.

**El ciclo hidrológico:** Un simplificado ciclo hidrológico está compuesto generalmente por varios flujos (Fig. 15):

**Precipitación (P):** es la primera etapa del ciclo en la que se proporciona el paso del agua de la atmósfera al suelo.

**Rocío (R):** es el agua que procede de la condensación del aire húmedo.

**Capilaridad (Aq):** Es el flujo de agua ascendente desde capas profundas hacia capas más superficiales del suelo.

**Trascolación (Tr):** El agua que pasa libremente a través de la copa del árbol hasta llegar al suelo.

**Escorrentía cortical (Ec):** Es agua que escurre o resbala libremente por la superficie de las ramas y el tronco del árbol, hasta llegar al suelo.

**Intercepción (Int):** es la retención del agua de lluvia por la parte aérea de las comunidades vegetales.

**Evapotranspiración (T+Ev):** es el flujo de agua que se pierde desde el suelo al evaporarse y por transpiración de la plantas. Algunos autores distinguen lo que es la transpiración y evaporación del dosel húmedo, porque el primero es gobernado en gran parte por el control estomático y el último principalmente por las propiedades aerodinámicas de la vegetación (Jarvis y Stewart, 1979).

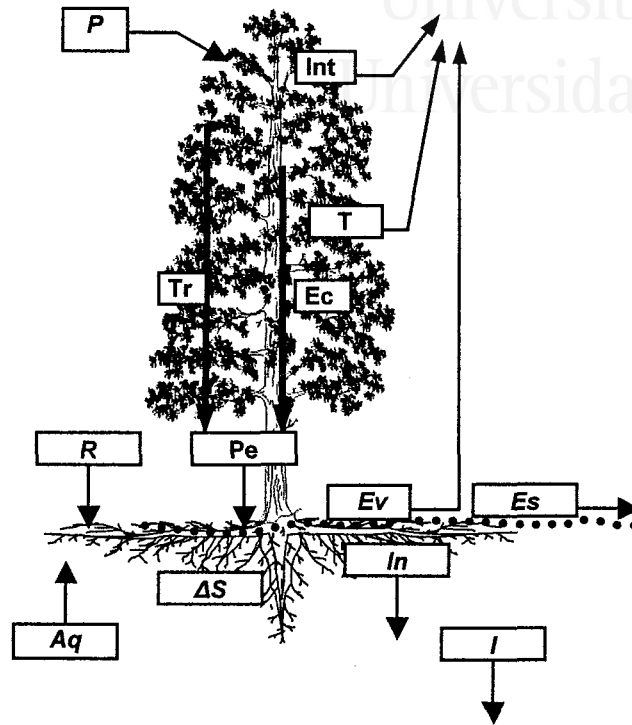
**Escorrentía superficial (Es):** es el flujo hídrico superficial que se produce en el suelo después de la lluvia, este proceso es el que origina la erosión en el suelo.

**Infiltración (In):** es el proceso mediante el cual el agua se introduce en el suelo por los poros y microporos, se trata del proceso más importante del ciclo, ya que es el que regula el almacenamiento del agua y su posterior aprovechamiento por los ecosistemas.



**Almacenamiento del agua en el suelo ( $\Delta S$ ):** Es el agua que ha sido almacenado en el perfil del suelo luego de la infiltración.

**Percolación (I):** es la transmisión del agua a capas inferiores después de infiltrarse, gracias a ésta se recargan los acuíferos.



**Figura 15.** Esquema del balance de aguas en el ecosistema dunar de Guardamar del Segura. Precipitación (P), rocío (R), capilaridad (Aq), trascolación (Tr), escorrentía cortical (Ec), intercepción (Int), transpiración (T), evaporación (Ev), escorrentía superficial (Es), infiltración (In), almacenamiento del agua en el suelo ( $\Delta S$ ), percolación (I).

Teniendo en cuenta las características de las dunas, el balance de aguas tomará en cuenta los componentes del ciclo hidrológico ilustrados en la ecuación del balance hídrico:

$$P + Aq + R = Ev + T + \Delta S + I \quad (5)$$

Donde:

- P = Precipitación total (mm)
- Aq = Capilaridad originada por la presencia de agua freática (mm)
- R = Rocío (mm)
- Ev = Evaporación (mm)
- T = Transpiración (mm)
- $\Delta S$  = Almacenamiento de agua en el suelo (mm)
- I = Percolación (mm)

*Balace de aguas en el pinar*

---

En la Fig. 15 además se observa que la P al tomar contacto con los árboles, puede llegar al suelo por la Tr y la Ec. El conjunto al llegar finalmente al suelo se denomina precipitación efectiva ( $P_e$ ), que es agua que estará disponible a las plantas en el suelo:

$$P_e = Tr + Ec \quad (6)$$

Donde:

$P_e$  = Precipitación efectiva (mm)  
 Tr = Trascalación (mm)  
 Ec = Escorrentía cortical (mm)

En el estudio del ciclo hidrológico es importante la identificación del agua que entra al ecosistema, así como las pérdidas que ésta pudiera tener, ya que constituye la base para el estudio de los patrones de movimiento del agua en el ecosistema (Granier, *et al*, 2000). Por ejemplo, el origen de la disminución en los niveles de agua freática en un sistema acuífero, puede estar en el uso estacional de agua por los árboles (Cermak, J. y Prax, 2001).

Los estudios de balance de aguas no están separados de los procesos fisiológicos de los árboles, ya que por ejemplo afecta la caída de hojas (Hebert y Jack, 1998) y está muy relacionado a la radiación fotosintéticamente activa (PAR). Se han encontrado significativas relaciones entre el área foliar de los bosques y el balance de agua de un sitio (Grier y Running, 1977), debido a que dentro de este último está involucrado la transpiración.

### 3.2.3. Dinámica del agua en la vegetación

#### **Trascalación y escorrentía cortical**

La trascalación es el flujo de agua que atraviesa la copa de los árboles para llegar finalmente al suelo. La escorrentía cortical es el flujo de agua que recorre o se escurre las ramas y tronco de la planta para finalmente llegar al suelo. La sumatoria de ambos procesos constituyen la precipitación efectiva.

La trascalación así como la escorrentía cortical son típicamente estimados como una fracción de la precipitación total utilizando medidas de un evento o de la interceptación anual.

Se ha visto que el efecto de la trascalación y la escorrentía cortical tienen significativos efectos sobre el almacenamiento de agua en el suelo. Los suelos forestales por esta razón se han constituido en reservas importantes de agua en tiempos de estiaje. La estructura forestal es

prácticamente responsable de la distribución de agua en el bosque y es determinante del agua que llega finalmente al suelo (Bellot y Escarré, 1989).

La ecuación del balance de aguas, puede ser finalmente resuelta, mediante el conocimiento de la cantidad de precipitación total y la precipitación efectiva. El almacenamiento en la copa del árbol puede ser determinada después de determinar las cantidad de agua de P, Tr y Ec.

### **Interceptación**

Conceptualmente, la interceptación de la precipitación por la copa de los árboles es la diferencia entre la precipitación total (arriba de la copa de los árboles) y la precipitación efectiva ( $P_e$ ) (debajo de la copa de los árboles). El agua interceptada es almacenada temporalmente sobre las hojas y puede seguir dos caminos: o absorberse por la vegetación o evaporarse directamente de la superficie de las hojas hacia la atmósfera. El proceso de la interceptación de la lluvia está caracterizada por la dimensión de la precipitación (cantidad e intensidad) y la arquitectura de la copa del árbol (Crockford y Richardson, 1990a). Parámetros arquitecturales del árbol así como el área de la hoja y la posición de las hojas, e incluso las características de la superficie de las hojas contribuyen a la variabilidad de la interceptación y la trascolación entre diferentes especies de árboles.

Estudios de la hidrología forestal han demostrado que la interceptación forestal del agua de lluvia es muy importante en momentos de considerar la evaporación total de un bosque (Cantu y González, 2001) ya que los volúmenes de Int son importantes en temperaturas altas, sobre todo zonas de clima árido. Entender los mecanismos y la magnitud de la interceptación de la precipitación es crítico en el manejo de los recursos de agua para un ecosistema. En estudios de hidrología la distribución y la caracterización de la humedad son esenciales ya que pueden tener efectos relacionados a otros procesos como la erosión del suelo (Clements, 1971).

#### **3.2.4. Relación del balance de aguas con el LAI y el balance de carbono.**

En general, cuando se incrementa la disponibilidad de agua, el LAI también incrementa. Sin embargo está claro que en algunos ecosistemas aunque esto pasa, no necesariamente ocurre esa consecuencia, ya que el incremento de agua no previene el descenso estacional de los valores del LAI (la variabilidad del LAI está relacionado también a la variabilidad estacional). Las hojas de la copa del árbol son fundamentalmente consideradas como interceptadoras de luz y responsables de la ganancia de carbono del individuo a través de la fotosíntesis, lo que implica que también sean responsables (al abrir los estomas para la asimilación del  $\text{CO}_2$ ) de la pérdida de agua del ecosistema.

El estrés hídrico está normalmente vinculado a la temperatura, así como también a la foto-inhibición, a través del exceso de interceptación de radiación por la copa del árbol. Si está

### Balance de aguas en el pinar

---

El estrés hídrico está normalmente vinculado a la temperatura, así como también a la foto-inhibición, a través del exceso de interceptación de radiación por la copa del árbol. Si está asociada a temperaturas, y a pérdidas por transpiración, está claro que también está asociado a los cambios estacionales.

Está aceptado que el balance de aguas afecta a la producción primaria neta del ecosistema. El balance de aguas está determinado por las entradas, pérdidas y almacenamientos en el ecosistema. De la misma forma, la productividad primaria neta está determinada por los índices de fotosíntesis y la respiración autotrófica. La ganancia de carbono por la copa del árbol está determinada por la cantidad de radiación interceptada por ésta, y la eficiencia de utilización de la energía lumínica. Es axiomático que el balance de aguas de un ecosistema influye a la producción primaria neta, pero ¿de qué manera influye la interceptación en la disminución del aporte de agua al suelo? ¿que características de la precipitación influyen en la reserva del agua del suelo? ¿cuál es la demanda de transpiración del pinar? ¿es suficiente la precipitación para hacer frente a esta demanda?

#### 3.2.5. Hipótesis y objetivos.

##### **Hipótesis**

No hay relación entre el consumo de agua por los árboles predominantes, el almacenamiento de agua en el perfil del suelo y la precipitación real en la zona.

##### **Objetivos**

El objetivo general de esta parte de la investigación fue la de determinar las entradas, pérdidas y almacenamiento de agua en el sistema de árboles formados de *P. halepensis* Miller y *P. pinea* L. y examinar los procesos del ciclo del agua en los componentes del sistema investigados.

El objetivo específico del estudio fue:

- Caracterizar la precipitación en el pinar y la interceptación por la copa del árbol.
- Estimar la transpiración actual de individuos representativos del ecosistema.
- Determinar los niveles de almacenamiento de agua en el pinar de Guardamar del Segura.
- Determinar las entradas y salidas de agua.

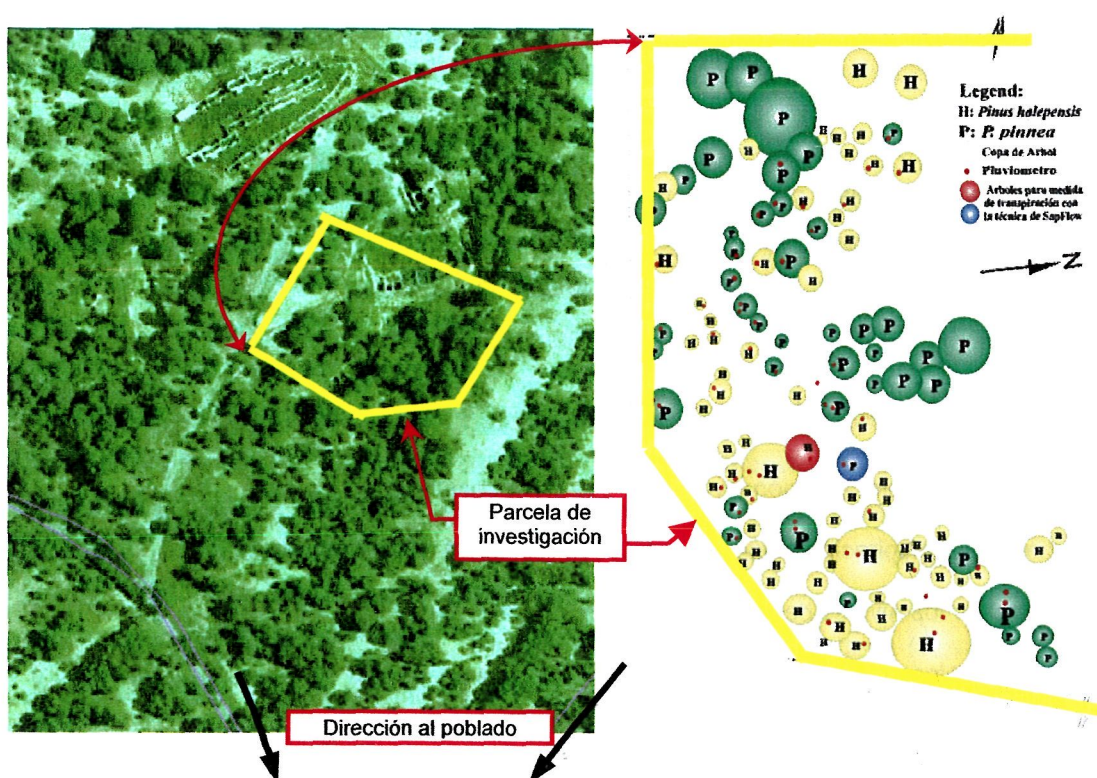
### 3.3. Materiales y métodos

#### 3.3.1. Localización

En el estudio del balance de aguas, la determinación de los flujos P, R, Tr, Ec, T, se desarrollaron en la parcela vallada. El estudio del balance de agua en el suelo (muestreo de suelos básicamente) se realizó en el transecto imaginario descrito en la sección de *Materiales y métodos* del capítulo 2.

#### **Características del espacio vallado: localización, suelos y vegetación**

La parcela vallada está ubicada en la pinada de Guardamar del Segura (38°06,128'N 0°38,965'W), a 45 Km al SE de la ciudad de Alicante, y a 1,5 Km del término municipal del mismo nombre (Fig. 16). Este sitio está ubicado en la parte central de las dunas, un espacio primeramente enmallado para proteger restos arqueológicos de poblaciones fenicias y musulmanas encontrados a principios de la anterior década (González *et al.*, 1997). Situado a 750 m al Sur del encauce del río Segura, tiene una superficie aproximada de 2 Ha, el espacio útil para instalar nuestro estudio es de 3.900 m<sup>2</sup>. En este lugar la topografía dunar muestra diferencias de hasta 18 m entre el máximo punto de elevación y el máximo punto de depresión.



**Figura 16.** Ubicación espacial de las especies y los pluviómetros para efectos de monitoreo de la dinámica de aguas en la parcela de Guardamar.

*Balance de aguas en el pinar***Tabla 7.** Códigos, diámetros a la altura del pecho (DBH), intervalos y clases identificadas para cada árbol en estudio en la parcela enmallada de Guardamar del Segura.

Clase diamétrica	n	Código	Especie	DBH (cm)	Intervalos de clase (cm)
Menor	1	G	<i>Pinus pinea</i> L.	6,7	< 13
	2	D	<i>Pinus halepensis</i> Miller	8,3	< 13
	3	A	<i>Pinus halepensis</i> Miller	8,3	< 13
	4	I	<i>Pinus halepensis</i> Miller	9	< 13
	5	41	<i>Pinus halepensis</i> Miller	9,1	< 13
	6	W	<i>Pinus pinea</i> L.	9,3	< 13
	7	28	<i>Pinus halepensis</i> Miller	9,3	< 13
	8	C	<i>Pinus halepensis</i> Miller	9,4	< 13
	9	N48	<i>Pinus pinea</i> L.	10	< 13
	10	B	<i>Pinus pinea</i> L.	10	< 13
	11	16	<i>Pinus halepensis</i> Miller	10,4	< 13
	12	26	<i>Pinus halepensis</i> Miller	10,5	< 13
	13	18	<i>Pinus halepensis</i> Miller	10,8	< 13
	14	39	<i>Pinus halepensis</i> Miller	11,4	< 13
	15	OJ	<i>Pinus pinea</i> L.	12	< 13
	16	8	<i>Pinus halepensis</i> Miller	12,1	< 13
	17	E	<i>Pinus pinea</i> L.	12,5	< 13
	18	37	<i>Pinus pinea</i> L.	12,8	< 13
	19	20	<i>Pinus halepensis</i> Miller	12,9	< 13
Medio	1	9	<i>Pinus halepensis</i> Miller	13,2	13 a 20
	2	5	<i>Pinus halepensis</i> Miller	13,3	13 a 20
	3	17	<i>Pinus pinea</i> L.	13,4	13 a 20
	4	QL	<i>Pinus halepensis</i> Miller	13,8	13 a 20
	5	34	<i>Pinus halepensis</i> Miller	14,1	13 a 20
	6	46	<i>Pinus pinea</i> L.	14,2	13 a 20
	7	36(4)	<i>Pinus halepensis</i> Miller	14,8	13 a 20
	8	29	<i>Pinus pinea</i> L.	14,8	13 a 20
	9	30	<i>Pinus pinea</i> L.	15,2	13 a 20
	10	P	<i>Pinus halepensis</i> Miller	15,3	13 a 20
	11	44	<i>Pinus pinea</i> L.	15,5	13 a 20
	12	H	<i>Pinus halepensis</i> Miller	16,5	13 a 20
	13	24	<i>Pinus pinea</i> L.	18,1	13 a 20
	14	27	<i>Pinus pinea</i> L.	18,6	13 a 20
	15	35	<i>Pinus pinea</i> L.	19,1	13 a 20
	16	19	<i>Pinus pinea</i> L.	19,7	13 a 20
Mayor	1	40	<i>Pinus pinea</i> L.	21,2	> 20
	2	K	<i>Pinus pinea</i> L.	21,3	> 20
	3	33	<i>Pinus halepensis</i> Miller	21,6	> 20
	4	42	<i>Pinus pinea</i> L.	22	> 20
	5	32(2)	<i>Pinus pinea</i> L.	22,9	> 20
	6	F	<i>Pinus pinea</i> L.	24,2	> 20
	7	38	<i>Pinus halepensis</i> Miller	26	> 20
	8	23(1)	<i>Pinus pinea</i> L.	27,5	> 20
	9	12	<i>Pinus pinea</i> L.	28,7	> 20
	10	45	<i>Pinus halepensis</i> Miller	30,2	> 20
	11	43	<i>Pinus halepensis</i> Miller	37,5	> 20

En esta parte de las dunas se aprecia la presencia mayoritaria de árboles de *Pinus pinea* y *P. halepensis* con poca vegetación estrictamente psamófito.

Se ha cartografiado la totalidad de los pinos presentes en la parcela vallada (Fig. 19) y los datos de sus características se presentan en la tabla 7. A partir de ésta se establecen 3 clases de portes (tabla 8) las que se encuentran mayoritariamente en tres zonas distintas de la parcela.

**Tabla 8.** Diámetros de troncos a la altura del pecho (DBH) y altura de individuos agrupados en sus clases diamétricas

Clase diamétrica	DBH (cm)	Altura (m)
Mayores	>20	>9
Medios	20 - 13	9 - 5
Menores	< 13	< 5

Nota: DBH en inglés, diameter at breast height, diámetro a la altura del pecho.

Dado que los árboles se plantaron entre 1897 (Mira, 1906) y 1926 las edades de los árboles oscilan entre los 77 y 106 años al 2003. Las alturas de los árboles oscilan desde los 1 a 13 m, y sus copas varían de 2 a 9 m de diámetro.

Los suelos de las dunas de la parcela en Guardamar están formados por arena, carentes de complejo húmico-arcilloso y el complejo adsorbente, y de carácter calcáreo, lo que le da una característica de sustrato. Algunas características generales de estas dunas se pueden apreciar en la tabla 8 (Seva *et al.*, 1989).

**Tabla 9.** Características físico químicas de las dunas de Guardamar del Segura, de 0 hasta los 40 cm de profundidad.

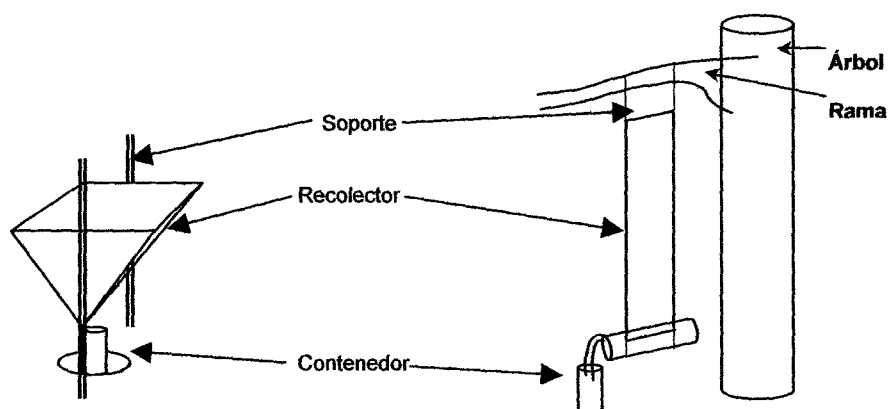
Característica	Profundidad	
	De 0 a 20 cm	De 20 a 40 cm
Densidad aparente (g/cc)	1.38	1.48
Porosidad (%)	45	41
Percolación cm	0.031	0.036
Capacidad de Campo g <sub>agua</sub> /100g suelo	10.33	7.25
N (%)	0.0244±0.0039	0.0115±0.0019
Na (%)	1.612±0.194	1.390±0.246
K (%)	2.904±0.402	2.754±0.408
P (ppm)	0.0017	0.0014

Balace de aguas en el pinar**3.3.2. Metodología****Precipitación (P)**

Se ha medido la precipitación colocando 2 pluviómetros estándar a cielo abierto capaces de medir 50 mm, en dos posiciones de la parcela, los cuales se han recolectado después de cada lluvia. Las mediciones se realizaron durante los siguientes periodos: 2001-2002 y 2002-2003. Estas mediciones pluviométricas se compararon con otras dos: las realizadas por los técnicos del vivero de Guardamar del Segura dependiente de la Generalitat Valenciana, y con una estación pluviométrica instalada en el mismo lugar.

**Rocío (R) y capilaridad (Aq)**

Se instalaron dos sistemas de retención de humedad de rocío (Fig. 17). La primera con una estructura de vidrio, sujeta verticalmente en la rama de un árbol y orientada paralelamente a la dirección predominante del viento de levante, para lo cual se contó con 3 hojas de vidrio de 1.5x1 m. Cada una se sujetó con un alambre a una altura de 1 m, cercana a las hojas del árbol, y en tres árboles de diferentes índices de área foliar. Y la segunda de una estructura de metal, colocada en el suelo a 30 cm de altura; la estructura metálica tuvo una forma de pirámide invertida de 100x100x82 cm. En ambas estructuras y en la base de cada una de estas se localizó un depósito de recolección del agua al nivel del subsuelo, y conectada a través de un tubo de plástico.



**Figura 17.** Esquema de las estructuras (rociómetros) utilizadas en la medición del rocío.

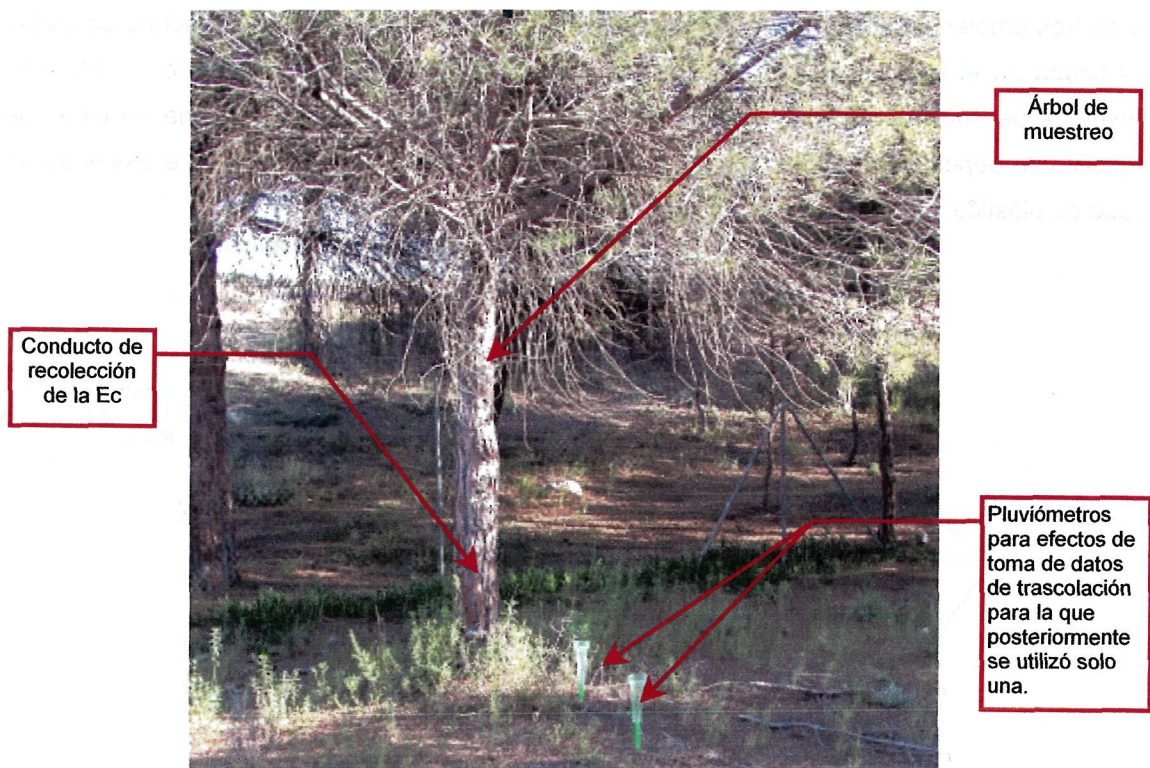
Para explicar los flujos del rocío se ha medido la temperatura al nivel del suelo con un HOBO data logger series (Onset Cia.) en el mismo periodo en el cual se ha medido el rocío: año 2002.



### **Dinámica de agua en la vegetación.**

Para monitorear esta parte del balance de aguas, se eligieron árboles de diferentes clases diamétricas (clase diamétrica mayor, media y menor) con índices de área foliar similar, y localizadas en ambas especies dominantes (tabla 7 y 8).

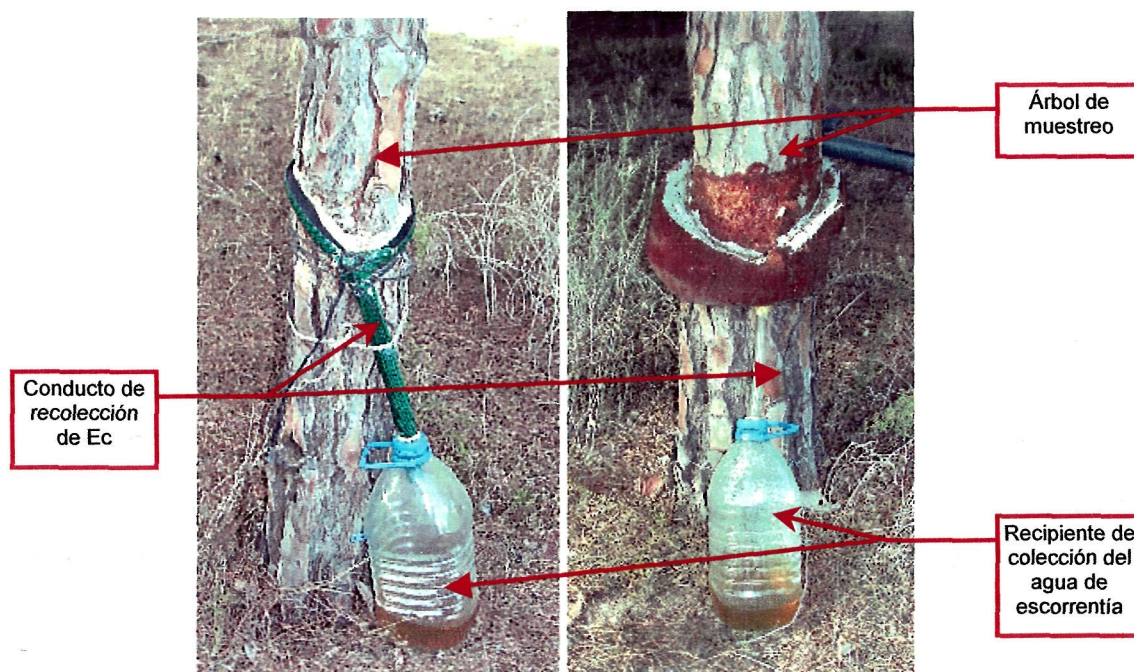
**a) Trascología ( $Tr$ ):** Se instalaron 46 pluviómetros debajo de la copa de 46 árboles (tabla 6), las cuales según a la disposición de los árboles se agrupó en tres clases de índices de área foliar. Para determinar el lugar de ubicación del pluviómetro debajo de la copa, se realizó un experimento de prueba al inicio de la época de las lluvias, colocando 3 pluviómetros en línea, a la misma distancia y desde el tronco hacia la parte exterior de la copa del árbol. El promedio de los valores de trascología de éstos, se acercaron a los valores de ubicación del pluviómetro central. Esta prueba determinó la localización de los pluviómetros en el centro de la copa, para todos los casos, ya que la variación entre puntos fue evidente (Fig. 18).



**Figura 18.** Localización de los pluviómetros para la toma de muestras de trascología.

Balance de aguas en el pinar

**b) Escorrentía cortical (Ec):** Para determinar la Ec, se instaló un sistema de 18 colectores en cada una de las clases diamétricas de la tabla 6; cada uno de éstos consiste en una manguera de plástico abierto longitudinalmente adherida al tronco principal del árbol. La manguera rodea el tronco con una pequeña inclinación que permite canalizar el agua escurrida por el tronco hasta un recipiente colector de 5 litros de capacidad. Para montar el sistema, primeramente se ha lijado la parte superficial del tronco principal al cual se adherirá la manguera. Esta se ha situado a una altura de 50 cm desde el suelo y adherido con pegamento Sika (Fig. 19). En una primera fase se utilizó también anillos de poliuretano como se muestra en la figura 19 utilizados por Escarré *et al.* (1986).



**Figura 19.** Disposición de los recipientes y el dispositivo de recolección de agua de la escorrentía cortical.

Las precipitaciones que recolectaron una cantidad superior a 5 litros, han sido estimados gracias a recipientes auxiliares colocados debajo de los recipientes conectados a las mangueras.

La  $E_c$  se ha calculado utilizando la relación entre la cantidad de agua recolectada en cada árbol y la totalidad de árboles en toda la parcela de recolección de acuerdo a (Aboal *et al.*, 1999; UNECE, 2004):

$$E_c = \frac{Ar}{ba} * \frac{BA}{A} \quad (7)$$

Donde:

$E_c$  = Escorrentía cortical (mm)

$Ar$  = Agua promedio recolectada en los árboles (L)

$ba$  = Área basal promedio de los árboles medidos ( $m^2$ )

$BA$  = Área basal del conjunto de árboles de la parcela de experimentación ( $m^2$ )

$A$  = Área de la parcela de experimentación ( $m^2$ )

La primera parte de la ecuación (7) ( $Ar/ba$ ) representa la escorrentía cortical por individuo; multiplicando la segunda, se incorpora el valor para representar la  $E_c$  en toda la parcela.

El área basal ha sido calculado asumiendo el contorno del tronco como una circunferencia. Para el cálculo del área basal de todos los árboles se ha sumado todas las áreas basales individuales.



Balace de aguas en el pinar

**b.1.) Índice de canalización:** Se ha estimado los índices de canalización de cada árbol a fin de relacionar los volúmenes recolectados con el área equivalente de recolección del fuste y la precipitación. Índices que exceden la unidad indican que las ramas del individuo han concentrado efectivamente una cantidad de agua. Es decir, este índice nos ha asistido como un indicador de la eficiencia de  $E_c$  en el árbol. Se utilizó la relación utilizada por Chuyong, et al., (2004) y Levia (2004) a través de:

$$FR = \frac{E_c}{(ba) * (P)} \quad (8)$$

Donde:

- FR = Índice de canalización
- $E_c$  = Volumen de la escorrentía cortical (L)
- ba = Área basal del árbol medido ( $m^2$ )
- P = Volumen de precipitación (mm)

Este índice ha sido utilizado para comparar la magnitud de escorrentía cortical en las dos especies estudiadas, y dentro de cada especie entre individuos.

**c) Cálculo de la interceptación (Int):** La interceptación del agua de la precipitación se ha calculado por simple sustracción, según:

$$Int = P - Tr - E_c$$

Donde:

- Int = Interceptación (mm)
- P = Precipitación total (mm)
- Tr = Trascolución (mm)
- $E_c$  = Escorrentía cortical (mm)

De esta relación se dedujo la precipitación efectiva ( $P_e$ ), es decir, el agua efectiva que llega al suelo, mediante:

$$P_e = Tr + E_c \quad (10)$$

Donde:

- $P_e$  = Precipitación efectiva (mm)
- Tr = Trascolución (mm)
- $E_c$  = Escorrentía cortical (mm)

**Determinación de la de la granulometría del sustrato:**

Se ha realizado la granulometría de los suelos del pinar de Guardamar encontrándose tres grupos de arena. Basándonos en la clasificación granulométrica americana (USDA, 1988) de la tabla 10, considerando que existe un grupo con arenas mayores a 2 mm, otro con arenas que contienen partículas de 2 a 0.05 mm, y otro grupo limo-arcilloso que contiene partículas menores a 0.05 mm, razón por la cual se la dividido en:

- 1) Arena muy gruesa: partículas mayores a 2 mm
- 2) Arena muy gruesa a media: partículas de 2 a 0.25 mm
- 3) Arena fina a arena muy fina: partículas de 0.25 a 0.05 mm
- 4) Limo+arcilla: partículas menores a 0.05 mm.

**Tabla 10.** Clasificación granulométrica del tamaño de las arenas según el sistema USDA (USDA, 1998; FAO-ISRIC-ISSS, 1998)

	Característica	USDA (micrómetro)	ISSS(micrómetro)
<b>Arena</b>	muy gruesa	2000-1000	-
	gruesa	1000-500	2000-200
	media	500-250	-
	fina	250-100	20-200
	muy fina	100-50	-
<b>Limo</b>		50-2	20-2
<b>Arcilla</b>		< a 2	< a 2

**Determinación de la Densidad Aparente ( $\rho_b$ ) del sustrato:**

Se determinó a través del método del cilindro (a una profundidad de 30 cm). Este método utiliza un cilindro de volumen conocido el cual se introduce en suelo no alterado. Esta muestra es pesada y secada hasta peso constante. Luego se calcula la  $\rho_b$ , según la relación:

$$\rho_b = \frac{M}{V} \quad (11)$$

Donde:

$\rho_b$  = Densidad Aparente (Kg/m<sup>3</sup>)

M = Masa de suelo seco (Kg)

V = Volumen conocido de suelo (m<sup>3</sup>)

## *Balace de aguas en el pinar*

La  $\rho_b$  nos sirvió luego para convertir los datos de gravimetría en datos con unidades volumétricas.

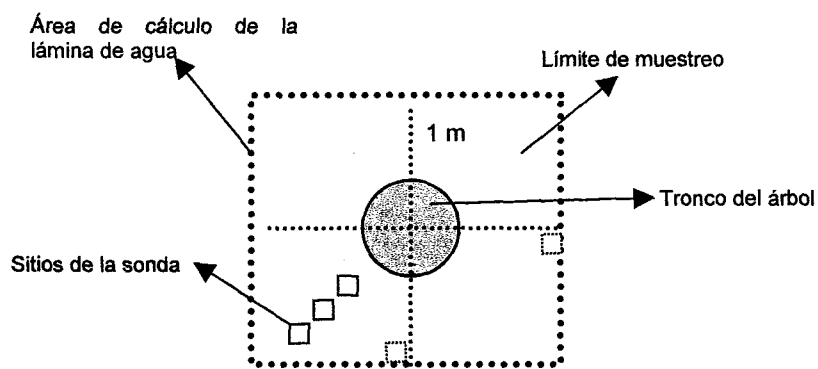
### **Almacenamiento de agua en el perfil del suelo**

**Recolección de muestras de suelo:** La cantidad de agua retenida en el perfil del suelo fue determinada por el método gravimétrico. Para extraer las muestras se utilizó una sonda de 2 presas desmontables 1.2 m de largo de forma rectangular y un mazo de 0.60 kg (Fig. 20).

El muestreo se realizó a lo largo del transecto imaginario utilizado para mediciones del índice de área foliar, identificándose en la misma, 7 sitios de muestreo y sus características se muestran en la tabla 11. Estos sitios se ubicaron en 3 topografías (parte baja de la duna, en la pendiente dunar y en el pico de la duna), 3 coberturas de 3 valores de LAI, y a un metro del tronco del árbol (Fig. 20 y 21). Se hicieron recolecciones de muestras de suelo de 200 g aproximadamente, cada 20 cm, hasta un metro de profundidad, y con una frecuencia de 15 días. Una vez recolectadas en bolsas de plástico, fueron pesadas inmediatamente, e introducidas a la estufa a 105°C hasta peso constante, y pesadas nuevamente.



**Figura 20.** Instrumentos utilizados para el muestreo de suelos.



**Figura 21.** Posición de la recolección de muestras de suelo en el transecto con respecto a un árbol.

Tabla 11. Características de sitio para la recolección de datos de humedad de suelo

Sub parcela	Predominancia de especies	Micro topografía	Materia orgánica	Insolación	Ubicación
1	<i>Pinus pinea</i> L.	Plano	Pobre	Media	A 1 m del árbol y frente dunar
2	<i>P. pinea</i> L.	Pendiente	Media	Baja	A 1 m del árbol y hacia el interior de las dunas
3	<i>P. pinea</i> L. y <i>P. halepensis</i> Mill.	Elevación	Media	Alta	A 1.5 m del árbol y encima de la formación dunar
4	<i>P. pinea</i> L.	Depresión	Alta	Muy baja	A 1 m del árbol y en la depresión dunar
5	<i>P. pinea</i> L. y <i>P. halepensis</i> Mill.	Elevación	No existe	Alta	A 1.5 m del árbol y encima de la formación dunar
6	<i>P. pinea</i> L. y <i>P. halepensis</i> Mill.	Plana	Media	Media	A 1 m del árbol y en el plano dunar, con una leve declive de 2%
7	<i>P. halepensis</i> Mill.	Plana	Media	Media	A 1 m del árbol y en el plano dunar

Para el cálculo de la cantidad de agua volumétrica en un m<sup>2</sup> de área de suelo, se multiplicó la densidad aparente con los valores de gravimetría calculados inicialmente, a través de la siguiente relación:

$$\theta = \frac{\rho_b}{\rho_w} \theta_m \quad (12)$$

Donde:

$\theta$  = Contenido volumétrico de agua (%)

$\rho_b$  = Densidad aparente (Kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_w$  = Densidad del agua (=1000 kg/m<sup>3</sup>)

$\theta_m$  = Contenido gravimétrico de agua en el suelo (%)

Los valores así obtenidos se han expresado luego en lámina de agua. Para esto se ha convertido este valor expresándolo como el espesor que tendría esa cantidad de agua si se extendiera formando una capa continua de agua; la transformación deriva de:

$$L = \theta_m * \rho_b * h = \frac{\theta}{100} * h * 10 \quad (13)$$

Donde:

L = Lámina de agua (mm)

$\theta$  = Contenido volumétrico de agua en el suelo (%)

h = Profundidad de suelo (cm)

El dato de humedad disponible a capacidad de campo que se utilizó fue de 11.9 a 5.3% según la  $\rho_b$ . Este cálculo representa el área en el cual se ha trabajado por debajo de copa del árbol hasta un metro de radio, a partir del tronco del árbol. La profundidad

*Balace de aguas en el pinar*

de cálculo a la que se trabajo, fue 20 cm; se tomaron 5 niveles, totalizando 1 metro de profundidad de sustrato (Fig. 21).

Para el análisis de los datos se ha utilizado el programa Statistix for Windows versión 2.02 (1996); se ha realizado comparaciones de medias de grupos pareados (utilizando Tukey del ANOVA en un solo sentido) en función a la profundidad y los diferentes sitios de muestreo. El nivel de significancia trabajado fue al 5%.

**Flujo de savia.**

Para la evaluación de la transpiración actual, se utilizó el método de medición de flujo de savia Flow32 (Dynamax Inc., 1994; Lundblad, *et. al.*, 2001) que sigue el método del balance térmico en la rama.

*Descripción del sensor.*

El sensor consiste en la conjunción de un elemento de calor y termolocalizadores (termistores), que se presionan firmemente sobre la superficie externa de la ramilla limpia como se muestra en la figura 22. Está conformado por tres termistores, dos lectores de temperatura (cuadrados grises extremos a la rama de la planta en el esquema de la Fig. 22) y un emisor de calor (los cuadrados grises ubicados en la parte media de la rama de la planta del esquema - Fig. 22). Las lectores están ubicados para medir las diferencias de temperatura ocasionadas por el emisor.

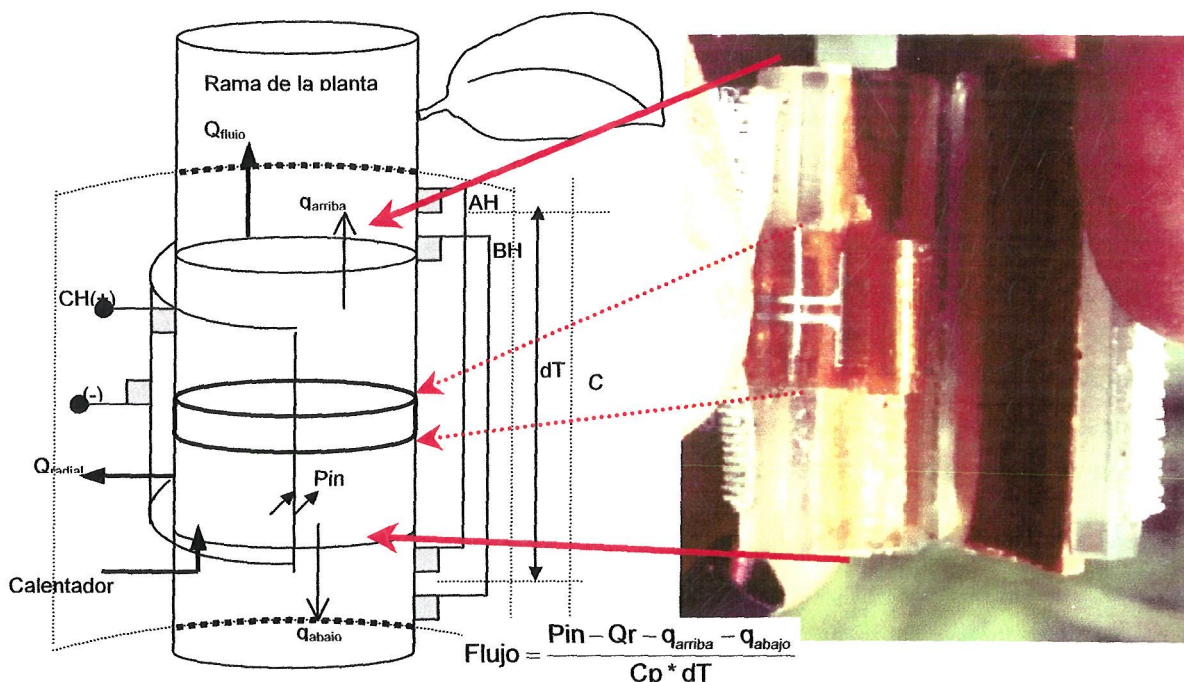
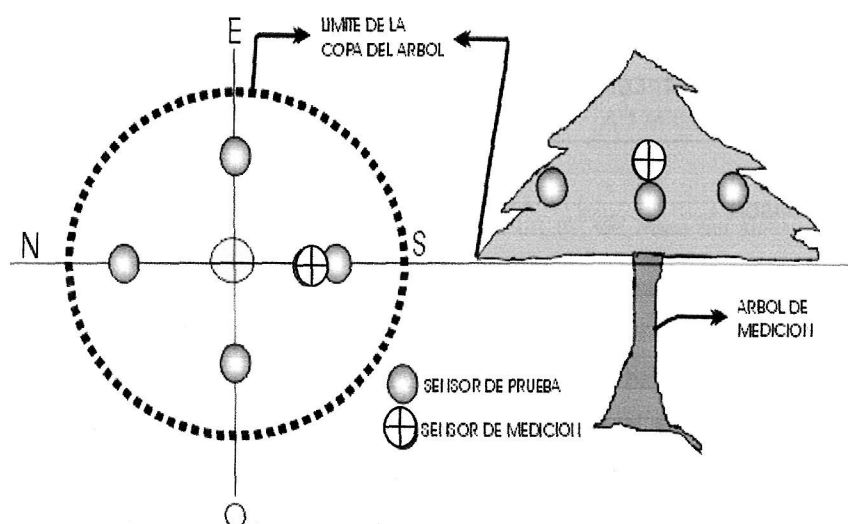


Figura 22. Esquema del sensor del sapflow32 mostrando el balance de energías.



### Tareas previas a la Instalación definitiva de los sensores:

Para la instalación de los sensores se eligieron los árboles más representativos del área ya que estos tenían el índice de área foliar, alturas y diámetros a la altura del pecho, cercanos a la media de la población. En un primer periodo, tiempo con el que se localizó la posición del sensor en la copa del árbol, se instalaron 8 sensores en 8 individuos (cuatro en *P. halepensis* Miller y cuatro en *P. pinea* L.) (tabla 12 y Fig. 23). Los 4 sensores fueron instalados en un solo individuo en distintas orientaciones: E, O, N, S. Con el auxilio del promedio del flujo de la savia, se identificó que el sensor se colocaría en la parte media vertical horizontal de la copa del árbol, con una orientación S, siguiendo el recorrido solar, EO, como medición principal (cruz inscrita en el círculo de la Fig. 23).



**Figura 23.** Posición de los sensores de medición de flujo de savia en el árbol en la prueba de localización de éstos, y el sensor de medición.

### Instalación definitiva de los sensores:

La instalación de los sensores se realizó cuidadosamente. Se buscaron ramas de superficies más o menos lisas y con acículas sanas. Una vez ubicadas éstas, a unos centímetros anterior a la bifurcación, se han medido sus diámetros mediante un pie de rey (ramas entre 0.48 a 0.50 cm). Acto seguido han sido cuidadosamente limpiadas para conseguir una superficie lisa sin dañar la epidermis de la rama, logrando así un buen contacto ramita-sensor, y consecuentemente, una buena localización de la señal de calor por parte de los termistores. Una vez logrado esto, se instaló el medidor de manera que el sensor abrazaba la parte limpia de la rama.

*Balance de aguas en el pinar***Tabla 12.** Principales características de los árboles utilizados para las pruebas de posición de sensores de flujo en el primer periodo de la investigación en la parcela enmallada de Guardamar del Segura. Los asteriscos indican los árboles con las que se trabajó.

n	LAI	Especie	Diámetro base del tronco (cm)	Diámetro a 1,3 (cm)	Diam. Copa A (m)	Diam. Copa B (m)	Altura total (m)	Altura tronco (m)	Altura de instalación del sensor (m)
1 *	2.5	Alepo	14.5	14.1	4	5.3	6.2	1.3	3.7
2	2.7	Alepo	15.2	14.8	4.2	4.4	3.1	1.8	2.5
3	9.4	Alepo	34.2	33.5	9.0	7.3	7.4	1.4	4.0
4	1.5	Alepo	11.9	11.4	3.4	3.2	4.2	1.4	2.8
5 *	2.0	Piñonero	13.1	12.8	3.7	3.9	5.1	1.7	3.4
6	3.0	Piñonero	15.8	15.5	3.6	3.9	4.8	1.5	3.1
7	5.3	Piñonero	22.8	22.0	6.0	5.4	6.2	1.8	4.0
8	1.1	Piñonero	10.5	10.0	3.0	2.5	3.7	1.0	2.4

Una vez conseguido este contacto, el sensor se envolvió con una protección de material aislante y papel estañado para evitar entradas o fugas de calor ajenas al experimento o agentes que pudieran hacer variar estas mediciones como las precipitaciones, variación de la temperatura o los vientos.

*Periodos de medición*

El primer periodo (de ubicación de sensores) fue entre los DOY (en inglés Day of the Year, día del año) 23 al 28 (23 al 28 de Enero). Los periodos de medición con la posición identificada del sensor fueron de los DOY 31 al 40 (periodo de invierno) y 78 al 125 (período de primavera y verano). La segunda etapa fue en el 2003 del DOY 14 al 231 (otoño, invierno, primavera y verano).

Las mediciones o tomas de muestras, fueron realizadas cada 5 minutos y almacenadas cada 30 minutos en un data logger (almacenador de datos) CR10 (Campbell Scientific Inc., Logan). Estas mediciones finalmente se recobraron en un ordenador portátil y para el análisis de los datos se tomaron frecuencias de 30 minutos. Las mediciones de la constante térmica k fueron adquiridas en condiciones de cero movimiento de savia, es decir, de las 01:00 h hasta 05:00 h de la mañana.

*Tareas luego de la medición*

Después de quitar los sensores de la rama, realizamos la estimación del área foliar de las acículas de la ramita correspondiente, a través de un escaneo de éstas a 8 bits para evitar el sombreado de sus contornos. Ya con estas imágenes se procedió al cálculo a través de programa ImageJ versión 1.30 (National Institutes of Health, USA, 2003) que determina el alto, ancho, área y otros parámetros de imágenes de 8 bits. Asumiendo que las acículas son semicilíndricas, se ha calculado la superficie del semicilindro en base a su altura y la superficie

exterior de la acícula sin tomar en cuenta la base de éstas. Para esto se ha utilizado el área del cilindro partido por dos (Fig. 24), a través de:

$$S = A_L + A_B = \frac{P}{2} \cdot h + h \cdot r = \frac{(2\pi \cdot r)}{2} \cdot h + h \cdot r = r \cdot h \cdot (\pi + 1) \quad (14)$$

Donde:

S = Superficie de la acícula (cm<sup>2</sup>)

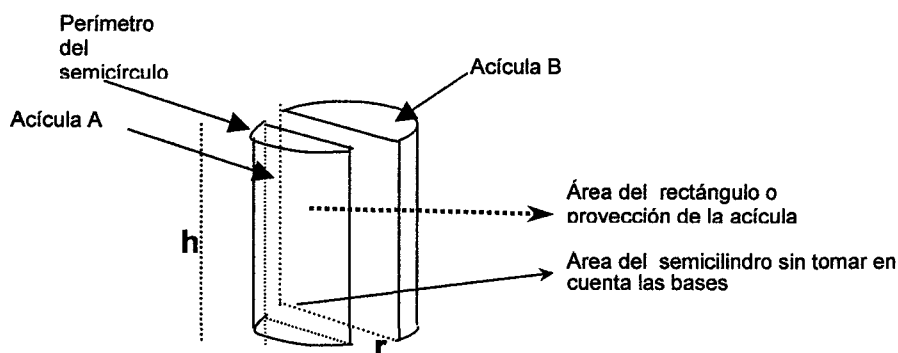
A<sub>L</sub> = Área lateral de la acícula (cm<sup>2</sup>)

A<sub>B</sub> = Área proyectada de la acícula (cm<sup>2</sup>)

P = Perímetro del círculo (cm)

h = Longitud de la acícula (cm)

r = Radio de la acícula (cm)



**Figura 24.** Parte seccional de una acícula. Ambos colores indican dos partes unidas en una sola estructura. Ambas partes de las acículas tienen estomas. Para más detalles ver el texto de resultados.

Una vez conocido el área y la velocidad de transpiración, se ha procedido a estimar los valores de toda la copa a partir de la ramita. La transpiración total del árbol se ha estimado a través de la relación de número de ramillos dentro de un prisma imaginario inscrito en la copa del árbol, sus diámetros y el área foliar que sostienen estas estructuras. Según Vertessey *et al.* (1997) y Vose *et al.* (2000) existe una correlación altamente significativa entre el flujo de savia y el área de flujo que recorre ésta.

Si asumimos la relación directa del área proyectada de la copa del árbol con la transpiración, partiremos de que:

$$T_a = \frac{T_{pr}}{S_{pp}} * S_{pa} \quad (15)$$

Donde:

T<sub>a</sub> = Transpiración del árbol (mm)

S<sub>pp</sub> = Superficie proyectada del prisma imaginario (m<sup>2</sup>)

Balace de aguas en el pinar

$S_{pa}$  = Superficie proyectada de la copa del árbol ( $m^2$ )  
 $T_{pr}$  = Transpiración en el prisma imaginario ( $l/m^2 \cong mm$ ), el cual calcularemos a través de:

$$T_{pr} = \frac{\sum (T_{RP1} + T_{RP2} + T_{RP3} \dots T_{RPn})}{S_{pp}} \quad (16)$$

Donde:

$T_{RP}$  = Transpiración del ramillo dentro del prisma ( $l$ ), el cual calcularemos a través de:

$$T_{RP} = S_{RP} * I_t \quad (17)$$

Donde:

$S_{RP}$  = Superficie foliar del ramillo dentro del prisma ( $m^2$ )

$I_t$  = Índice de transpiración ( $g/cm^2 \cong g/m^2 \cong cc/m^2 \cong l/m^2$ ), el ha sido calculado a través de:

$$I_t = \frac{\sum T_{30}}{A_{ramillo}} \quad (18)$$

Donde:

$T_{30}$  = Transpiración del ramillo obtenido con el SapFlow 32 y almacenado cada 30 minutos (g)

$A_{ramillo}$  = Área foliar del ramillo en el cual ha estado instalado el SapFlow 32 ( $cm^2$ )

El  $I_t$  se ha calculado en base al valor medio de las transpiraciones obtenidas en los días de medición con el SapFlow 32.

En el caso de la transpiración por la parcela entera, sabiendo la alta correlación entre el diámetro a la altura del pecho y el diámetro de la copa del árbol, se ha estimado la transpiración media de un individuo en un diámetro medio a la altura del pecho, que luego se la ha relacionado con el diámetro a la altura del pecho total de la parcela partido por el área de la parcela. En este último caso se obtiene un valor meramente orientativo, ya que se extrapola el consumo de pocos árboles a toda una hectárea sin tener en cuenta la variabilidad de árboles en esta superficie. El único fin de este cálculo es el de obtener un orden de magnitud del consumo de agua por hectárea, con el objeto de comparar con otros ecosistemas.

### **Cálculo del balance de aguas**

Para calcular el balance total de aguas se ha utilizado los procedimientos seguidos por Flores y Ruiz (1998), Lledó y Piñol (1989), Oyarzún y Huber (1999) y Schiller y Cohen (1998) entre otros, los cuales utilizan en general los mismos parámetros que aparecen en las ecuaciones (5) y (6).

Para el análisis de los datos se ha convertido toda la información a mm, para poder comparar los flujos.

### **Análisis estadístico**

Se ha realizado la comparación de medias de los datos de P, Tr, Ec, Int,  $\Delta S$ , T que nos ha diferenciado las estaciones y la información anual. Por lo cual se ha utilizado:

1. Regresión lineal: Para explorar la relación entre la precipitación y la trascolación, escorrentía cortical e interceptación,
2. Análisis de varianza en un solo sentido (One-way-AOV): para comparaciones de medias dentro y entre los factores de variabilidad (especie y estación), y para diferenciar las medias de las poblaciones muestra utilizando el test de Tukey y LSD (diferencias mínimas significativas) al 1 y 5% de significancia,
3. El test estadístico de t-student para comprobar si las medias de dos grupos son diferentes ( Ec, Tr, o Int en diferentes estaciones) verificando si la media de las diferencias del par seleccionado son diferentes de cero.

*Balace de aguas en el pinar***3.4. Resultados****3.4.1. Precipitación**

*Precipitación anual:* Una de las principales entradas de agua al ecosistema del pinar de Guardamar del Segura es sin duda, la precipitación. Los datos y las características de precipitación anual recolectados en el sitio enmallado de la pinada se reflejan en la tabla 13 y 14.

**Tabla 13.** Precipitación recolectada en el sitio de experimentación de la zona de Guardamar del Segura durante el periodo de Noviembre 2001 a Junio 2003.

Año Mes	Resumen mensual (mm)	Año Mes	Resumen mensual (mm)	Año Mes	Resumen mensual (mm)
2001 Ene		2002 Ene	7	2003 Ene	32.9
2001 Feb		2002 Feb	0	2003 Feb	11.9
2001 Mar		2002 Mar	29	2003 Mar	31,5
2001 Abr		2002 Abr	83	2003 Abr	0
2001 May		2002 May	54.7	2003 May	72.2
2001 Jun		2002 Jun	4.5	2003 Jun	0
2001 Jul		2002 Jul	11	2003 Jul	0
2001 Ago		2002 Ago	22.5	2003 Ago	0
2001 Sep		2002 Sep	0	2003 Sep	1.0
2001 Oct		2002 Oct	7.5	2003 Oct	48.0
2001 Nov	64	2002 Nov	16.95	2003 Nov	52.0
2001 Dic	111	2002 Dic	12.5	2003 Dic	18.0
<b>Anual</b>	<b>175</b>		<b>248.7</b>		<b>267.5</b>

Nota: Los datos en cursiva están fuera del periodo de investigación.

En lo que respecta a la estadística descriptiva de los datos de precipitación, ésta la podemos observar en la tabla 14. Estos valores nos muestran que efectivamente ha existido una irregularidad entre los eventos de lluvia de los años 2002 y 2003 con un coeficiente de variación similar en el año 2002 y en el 2003 (112%), lo que corresponde a una desviación estándar de 24.8 y 24.9 para el primero y segundo año respectivamente, con una media del error similar para ambos (7.16 y 7.18).

**Tabla 14.** Estadística descriptiva de la precipitación de los años 2002 y 2003.

	2002	2003
Numero de meses	12	12
Precipitación anual	248.65	267.5
Media mensual	20.72	22.29
Desviación estándar	24.80	24.86
Varianza	615.11	618.10
Media del error estándar	7.15	7.17
Coefficiente de variación	119.69	111.53
Valor mínimo	0	0
Mediana	11.75	14.95
Valor máximo	83	72.2

En el año 2002, la mayor precipitación se ha registrado en el mes de abril (83 mm), a diferencia del año 2003 que se ha registrado en el mes de mayo (72.2 mm). Los meses de menor precipitación han sido localizados en enero (7 mm), junio (4.5 mm) y octubre (7.5 mm) del 2002; en el siguiente año, los meses de menor precipitación han sido septiembre (1 mm) y febrero (12 mm). Los meses de precipitación nula han sido febrero y septiembre en el 2002, y abril, junio, julio y agosto del 2003.

La Fig. 25 nos muestra la media de las precipitaciones anuales en una serie de 26 años [Servicio Meteorológico Nacional (Martín, 1945)] y 29 años [Instituto Nacional de Meteorología de la Generalitat Valenciana (Pérez-Cueva, 1994)], en comparación a los encontrados en el año 2001, 2002 y 2003. Se advierte una alta variabilidad entre las observaciones de la zona de investigación en comparación a los datos medios de estas dos series. Así por ejemplo, el mes de abril del 2002 ha sido dos veces superior con respecto a la media de las series mencionadas; en el 2003, ha coincidido con la media. El mes de mayo, tanto del años 2002 como del 2003, ha sido otra excepción, ya que ha mostrado un valor de lluvia dos veces mayor a la media de las series. En julio y agosto, el año 2002, ha mostrado precipitaciones mayores a la media de las series; en el 2003, prácticamente no ha existido lluvia. Otra de las excepciones para el 2002, ha sido en octubre noviembre y diciembre (7, 17 y 13 mm), las cuales han sido mucho menores que la media de las series (53, 34 y 39 mm respectivamente).

Esta variabilidad en la precipitación ha determinado una serie de eventos distintos a los que se podría esperar (según los datos desde el 1945 al 1990), caracterizando el periodo de investigación en tres distintos. Uno de alta precipitación, otro que se ha enmarcado en el promedio de precipitaciones de la zona, y otro de precipitaciones más inferiores al promedio anual. Los promedios mensuales que pertenecen al primer periodo serían las de noviembre, diciembre del 2001, abril y mayo del 2002; las observaciones de marzo 2002, febrero, abril, octubre y noviembre del 2003 pertenecen al segundo periodo; los promedios mensuales de enero, junio, octubre, diciembre del 2002, febrero, marzo, junio, julio, agosto, septiembre, diciembre del 2003 pertenecen al periodo de menor precipitación con respecto a la media anual

*Balace de aguas en el pinar*

de la zona. Por lo que este periodo se ha caracterizado por ser más seco en referencia a la primera.

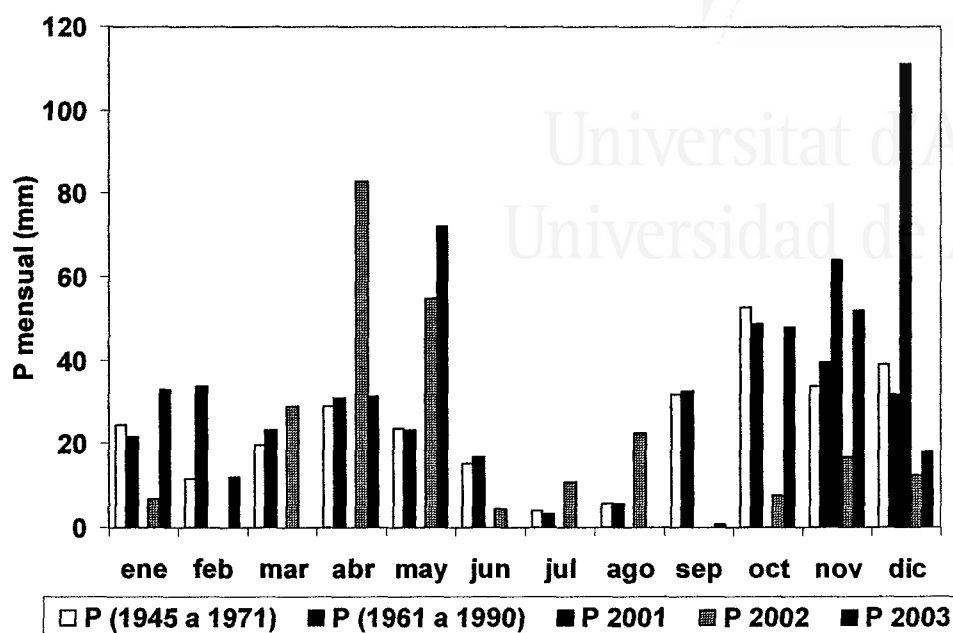


Figura 25. Comparación de precipitaciones recolectadas en el enmallado de Guardamar del Segura durante el periodo de investigación con el promedio de 26 años (1945 a 1971) y de 29 años (1961 a 1990) de precipitación en Guardamar del Segura.

En general la precipitación anual encontrada en los años 2002 y 2003 en el pinar de Guardamar del Segura fue similar a la de las medias de la serie de datos de precipitación del Servicio Meteorológico Nacional de España (Martín, 1984) (1945 a 1971) que señala una precipitación media anual de 291.25 mm, y de Pérez-Cueva (1994) (serie de 1961 a 1990) que indica una pluviosidad promedio anual de 311.9 mm, en comparación a los 248.7 mm del 2002 y de 267.5 mm del año 2003.

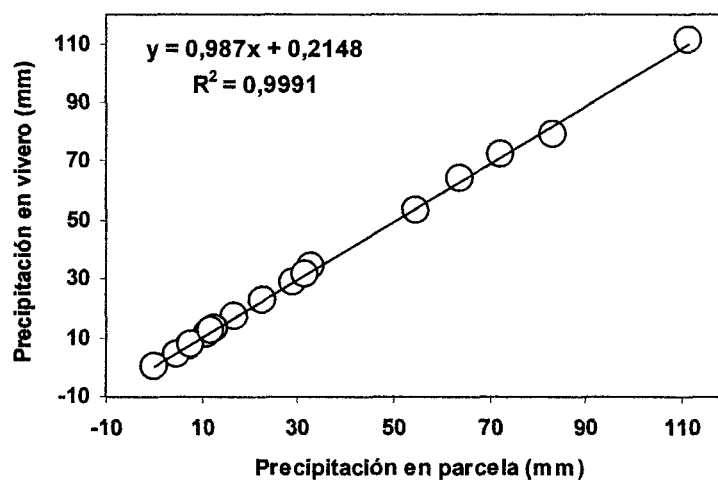
*Precipitación estacional:* Estacionalmente, la precipitación dentro del periodo de investigación refleja que la mayor cantidad de precipitación ocurrida ha sido en la primavera del 2002 (con 142.3 mm), seguida de la primavera del 2003 (103.8 mm). Los otoños del 2001 y 2002 se han diferenciado fuertemente, ya que han tenido 175 y 37 mm respectivamente. Los periodos de menor precipitación se han localizado en los veranos de ambos años (33.5 y 1 mm en el año 2002 y 2003 respectivamente). Los inviernos han sido más o menos similares en el año 2002 y 2003 con 36 y 45 mm respectivamente.

Un periodo especialmente lluvioso ha sido la encontrada en los meses de abril y mayo del 2002 y mayo del 2003, correspondientes a la primavera de ambos años. El periodo seco ha



resultado en los meses de julio y agosto del año 2002 y julio del 2003 correspondientes a el verano de ambos años (Fig. 25).

*Fiabilidad de datos recolectados:* Para verificar la fidelidad de los datos recolectados en el pinar, se ha comparado éstos con los datos recolectados por el personal de la Generalitat Valenciana ubicados en el vivero de Guardamar del Segura, a unos 500 m de distancia de la parcela de investigación. La Fig. 26 nos muestra la alta correlación de los datos recolectados en la zona de estudio en comparación a los datos recolectados en el mencionado vivero. Dándonos a entender que los datos de precipitación obtenidos en nuestro sitio, primero son fiables, y segundo, están en el mismo orden que los obtenidos bajo una metodología diferente (en la parcela de investigación se ha utilizado dos pluviómetros de 50 mm de capacidad como los utilizados para trascolación –Fig. 17– y en el vivero utilizan un pluviómetro de mayor capacidad y de boca más ancha).



**Figura 26.** Correlación de datos de lluvia recogidos en el vivero y la parcela de experimentación de Guardamar periodo Noviembre 2001 a Agosto 2003

### 3.4.2. Rocío y capilaridad

La segunda entrada de agua estudiada, fue el rocío. La Fig. 27(a) muestra la producción de rocío a lo largo del año 2002 desde enero a diciembre. Esta figura nos muestra la alta ocurrencia de éste en el mes de julio en comparación a los otros meses. De la misma forma enero y febrero han sido significativamente superiores en comparación al resto de meses del año (excepto julio). Por el contrario, en octubre como en noviembre no se ha producido rocío alguno.

La Fig. 27(b) nos muestra la relación de los datos de rocío y la temperatura del aire tomada sobre el suelo de la parcela de experimentación. Esta correlación muestra un comportamiento decreciente y altamente significativa ( $R^2 = 0.79$ ), donde el rocío aumenta a medida que la

*Balance de aguas en el pinar*

temperatura disminuye. El periodo sin producción de rocío, corresponde básicamente a los meses de mayor radiación solar; por el contrario los meses de temperaturas más bajas han acumulado una buena cantidad de rocío.

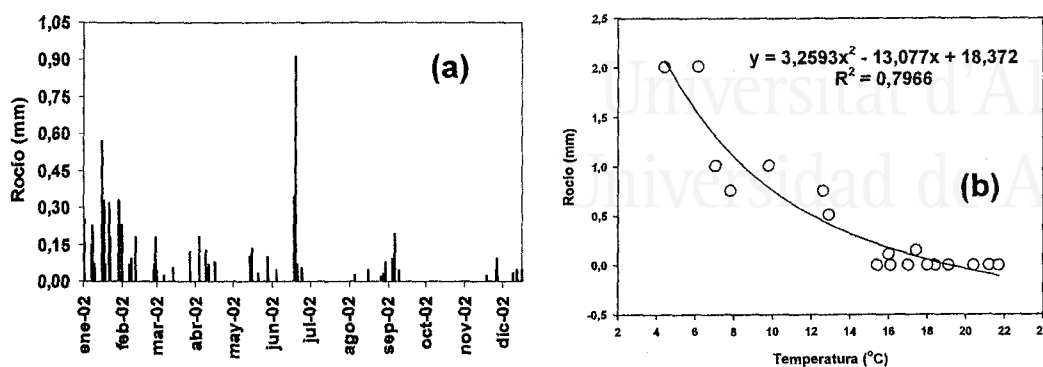


Figura 27. (a) Respuesta del rocío en el período 15-01-02 al 30-12-02. (b) Relación temperatura al nivel de la superficie del suelo y rocío de verano 2003.

Se asume que la presencia de rocío en estos períodos tendría dos explicaciones. Primero, que los meses de mayor ocurrencia de rocío están relacionados con las bajas temperaturas que a su vez están vinculados con el invierno (diciembre, enero, febrero). Y segundo, a los meses en los que se ha producido rocío sin formar parte del invierno (julio) y que ha estado relacionado a las noches claras de la época de verano. Las altas temperaturas del suelo durante el día y bajas temperaturas durante la noche ocasionadas por los cielos claros (al ser la arena una mala conductora de calor, se enfría y se calienta muy rápidamente) ocasionan que este proceso se lleve a cabo en el amanecer del día. En estas condiciones estos suelos emiten gran cantidad de radiación de onda larga al espacio, y la diferencia de temperaturas entre la atmósfera y el aire en los poros del suelo (el cual da lugar a una diferencia de presiones entre estas dos fases), condicionan la formación de rocío.

### Capilaridad y percolación

El proceso de capilaridad y de percolación se ha calculado a través de la diferencia de entradas y salidas de agua del sistema utilizando la ecuación (5), asumiendo el movimiento de la fracción de agua a través del perfil del suelo, es decir, de la siguiente manera:

$$I \text{ ó } Aq = P + R - (Ev + T + \Delta S),$$

Dependiendo si el resultado final es negativo, es considerado como capilaridad (Aq) o positivo como una percolación (I).

Se ha asumido que el proceso de capilaridad se originó en la atracción ascendente de las moléculas de agua desde un nivel inferior a la superficie del suelo debidas a la tensión

superficial de la interfase aire-agua y la atracción de las moléculas de este líquido a la fase sólida del suelo. El volumen de capilaridad y percolación ocurrida en el periodo de investigación se muestra en la Fig. 28. Las estaciones de mayor capilaridad son en invierno y primavera, y los meses con valores mayores fueron en marzo, seguido de febrero, y junio en el 2002. Los meses de abril, mayo, julio y septiembre del 2002 han tenido similar magnitud de capilaridad.

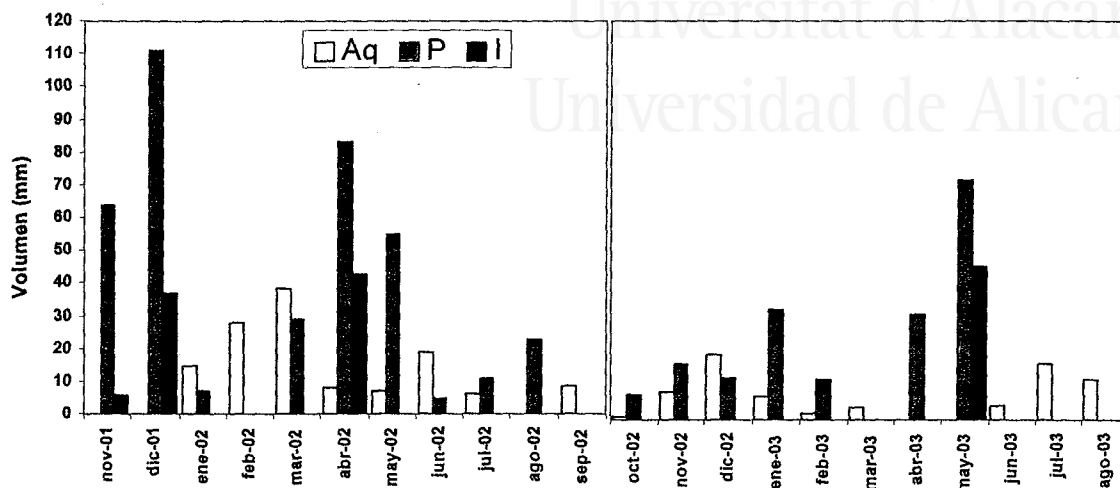


Figura 28. Ocurrencia de la capilaridad y la percolación en el año 2001 al 2003 durante el periodo de investigación.

El proceso de percolación profunda se verifica una vez que los poros del suelo se han saturado completamente y el agua continua infiltrándose. Los índices de infiltración a su vez depende de la textura del suelo y de las condiciones de estructura del material suelo. Las únicas percolaciones fueron registradas en noviembre y diciembre del 2001, abril 2002 luego de dos consecutivas precipitación considerable. La última percolación registrada fue en mayo del 2003. Asumimos que este flujo se ha debido a la saturación del material suelo y la poca capacidad de retención de humedad de éste.

### 3.4.3. Dinámica de agua en la vegetación

#### Trascolación.

*Origen de la trascolación:* Se ha observado que existen diferentes fases en el proceso de la humectación de las acículas. Una vez iniciado la precipitación, el agua moja las acículas ubicadas en la parte superior de la copa del árbol; éste empape satura la superficie de la acícula ocasionando un escurrimiento, la cual baña las hojas ubicadas por debajo de éstas. Las gotas que posteriormente llegan a estas partes, pueden sufrir el mismo proceso y finalmente resbalar y así llegan a crear la trascolación, que después llega a suelo. Las gotas que no

*Balace de aguas en el pinar*

interceptan ningún componente del árbol (ni acícula ni rama), trascolan libremente, hasta llegar al suelo.

*Trascolación anual:* El agua que llegó efectivamente al suelo se ha diferenciado en los tres años 2001, 2002, 2003 (124.3mm, 175.3 mm y 104.0 mm, respectivamente) aunque el primer y el último año son series incompletas (tabla 15).

Se observa que la cantidad de precipitación influye en la cantidad de agua trascolada. El agua de precipitación trascola la copa de los árboles en un volumen directamente proporcional a ésta. En el 2001 se observó 71%, en el 2002 se observaron trascolaciones desde 63% hasta los 73%, y en el año 2003 se han observado trascolaciones desde un 65% hasta un 72%.

La regresión de los datos de precipitación diaria con los de la trascolación diarios ha dado una alta y significativa correlación ( $R^2=0.9966$ ,  $p<0.001$ ) y una desviación estándar baja (stdv= 1.33) (Fig. 29). Realizando la estadística comparativa de las observaciones de ambas especies se ha encontrado que no existe diferencias significativas de los promedios de Tr inclusive tomando en cuenta las clases diamétricas. Analizando los datos por especies, en el pino piñonero, se observó diferencias significativas entre interceptaciones de árboles pequeños y grandes ( $\alpha=0.01$ ;  $p<0.001$ ), a diferencia del pino alepo, en el cual no se observo estas diferencias.

**Tabla 15.** Relación de los promedios de precipitación estacional con las variables de la dinámica de agua en la vegetación (P=Precipitación; Tr= Trascolación; Ec= Escorrentía cortical; Int= Interceptación; P<sub>e</sub>=Precipitación efectiva).

Año	Estación	P (mm)	Tr (mm)	Ec (mm)	Int (mm)	%Tr	%Ec	%Int	P <sub>e</sub> (mm)
2001*	otoño	175.0	124.3	17.7	33.1	71	10	19	141.9
<b>Total</b>		175.0	124.3	17.7	33.1				141.9
2002	invierno	36.0	24.9	3.3	7.8	69	9	22	28.2
2002	primavera	142.3	103.9	14.2	24.2	73	10	17	118.1
2002	verano	33.5	23.5	2.7	7.4	70	8	22	26.1
2002	otoño	37.0	23.1	2.6	11.2	63	7	30	25.7
<b>Total</b>		248.7	175.3	22.8	50.6				198.1
2003**	invierno	44.8	29.1	3.8	11.9	65	9	27	32.9
2003**	primavera	103.8	74.9	10.7	18.1	72	10	17	85.6
2003**	verano	1.0	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	100	0.0
<b>Total</b>		149.5	104.0	14.5	31.0				118.5

\* Los datos de este año solo contemplan desde octubre del 2001

\*\* Los datos de este año solo contemplan hasta agosto del mismo

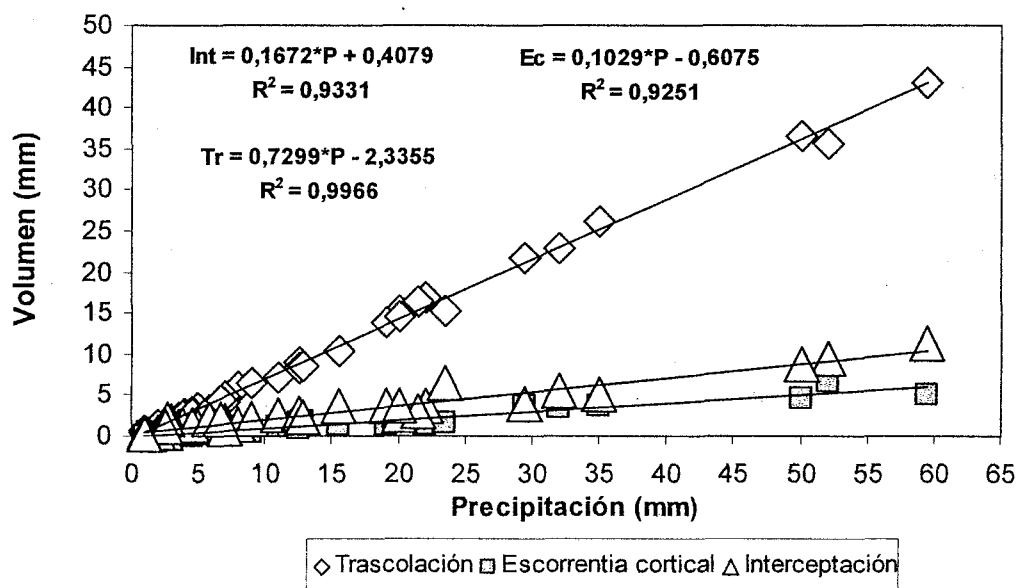
*Trascolación estacional:* Las estaciones que mayor cantidad de trascolación han recolectado fueron las primaveras. Las estaciones de verano recolectan menos trascolación.

La diferencia entre especies de acuerdo a su clase diamétrica se ha evidenciado también en las estaciones. Así, por ejemplo, en primavera, en el pino piñonero de clase diamétrica grande

(C3 árboles mayores a 20 cm de diámetro a la altura del pecho) los volúmenes de trascolación han sido menores a los que presentan los pinos de tamaño pequeño (C1 menores a 13 cm de diámetro a la altura del pecho). En la primavera del 2002 los C3 trascolaron 65% y en la del 2003, trascolaron 61% a diferencia de los árboles C1, que trascolaron 78 y 77% en los mismos periodos. Con bajas precipitaciones como las ocurridas en verano y otoño, se ha observado que los árboles de clase diamétrica grande son los que trascolan menos que aquellos de clase pequeña (66 y 67%, y 58 y 62% respectivamente para ambos años) (tabla 15).

*Trascolación en el pino alepo y piñonero:* La trascolación en la pinada de Guardamar del Segura se da solamente en precipitaciones mayores a 3.2 mm, pudiéndose observar a partir de eventos lluviosos de 2.74 mm bajo las copas de *P. halepensis* Miller, y de lluvias mayores de 3.69 mm bajo *P. pinea* L.. Es decir, la precipitación debe superar este umbral para que se produzca trascolación.

Efectuando la comparación de especies vemos que a través del pino carrasco llega al suelo el 69% de agua de precipitación, mientras que el pino piñonero retiene más agua, ya que recolecta bajo su copa el 65% de la precipitación. Cuando las lluvias son copiosas (mayores de 50 mm) bajo pino carrasco se ha recogido el 77% de la precipitación, mientras que a la sombra del piñonero sólo se cuantifica el 69%



**Figura 29.** Relación general entre la precipitación diaria y el volumen de los parámetros medidos: trascolación (Tr), escorrentía cortical (Ec) y la interceptación (Int).

*Comparación de clases diamétricas:* Teniendo en cuenta el grosor de los pinos, en el pino piñonero, la trascolación en árboles de diámetro pequeño ha sido mayor (68%) que la de aquellos de diámetro grande (60%). En el pino carrasco esta diferencia no ha sido entre los diámetros citados: 70% para DM y 72% para DY (tabla 16).

Balance de aguas en el pinar

Sin embargo, entre los eventos de trascolación se han encontrado variaciones. Por ejemplo, en el pino carrasco se han observado trascolaciones en primavera (2002) del 77 y 80% para clases diamétricas pequeñas y grandes, respectivamente. Es decir, existe mayor trascolación en árboles grandes de *P. halepensis* Miller en sucesos de alta precipitación (50 mm) aunque ocurre lo mismo en precipitaciones pequeñas (3.5 mm). Para el pino piñonero, en primavera (2002) ha ocurrido lo contrario, ya que el DM ha tenido mayor trascolación (78%) que el DY (65%). El volumen de trascolación en árboles grandes es mayor en comparación a los árboles pequeños, independientemente del volumen de precipitación.

**Tabla 16.** Estadística descriptiva de la trascolación (Tr), escorrentía cortical (Ec) e interceptación (Int) en tres diferentes clases diamétricas (DE= Diámetro de tronco de clase medio-C2; DM= Diámetro de tronco de clase pequeña-C1; DY= Diámetro de tronco de clase grande-C3) para dos especies: *P. halepensis* Miller (PH) y *P. pinea* L. (PP).

	PPTrDE	PPTrDM	PPTrDY	PHTrDE	PHTrDM	PHTrDY
# de Mediciones	44	44	44	44	44	44
Suma total	381.6	425.5	371.1	394.7	414.0	439.1
Media	8.7	9.7	8.4	9.0	9.4	10.0
Desviación estándar	10.2	11.3	9.7	10.1	10.5	11.6
Error estándar de la media	1.5	1.7	1.5	1.5	1.6	1.8
Coefficiente de variación	117.9	116.6	115.1	112.5	111.5	116.7
Valor mínimo de la serie	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6
Valor máximo de la serie	43.0	46.3	36.1	44.4	43.4	48.3

	PPEcDE	PPEcDM	PPEcDY	PHecDE	PHecDM	PHecDY
# de Mediciones	44	44	44	44	44	44
Suma total	63.3	70.7	37.2	52.7	87.1	31.9
Media	1.4	1.6	0.8	1.2	2.0	0.7
Desviación estándar	1.8	2.1	1.3	1.5	3.0	1.0
Error estándar de la media	0.3	0.3	0.2	0.2	0.4	0.2
Coefficiente de variación	125.4	128.6	157.4	126.3	149.0	139.4
Valor mínimo de la serie	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Valor máximo de la serie	6.8	7.9	6.8	6.8	15.8	4.8

	PPIntDE	PPIntDM	PPIntDY	PHIntDE	PHIntDM	PHIntDY
# de Mediciones	44	44	44	44	44	44
Suma total	127.3	76.0	163.9	124.8	71.1	101.2
Media	2.9	1.7	3.7	2.8	1.6	2.3
Desviación estándar	2.7	1.5	4.0	3.4	1.5	2.2
Error estándar de la media	0.4	0.2	0.6	0.5	0.2	0.3
Coefficiente de variación	94.9	84.5	108.5	118.3	93.0	94.4
Valor mínimo de la serie	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2
Valor máximo de la serie	10.6	5.8	20.3	13.5	6.7	9.6

Para precipitaciones menores como verano, otoño o invierno (2002) la tasa más baja de trascolación ha ocurrido en árboles de clase pequeña (verano con 68%) en comparación a los más grandes que han tenido mayores cantidades de agua trascolada (verano con 75%).

Si observamos los valores acumulados de trascolación, el pino piñonero, en periodos de precipitación acumuladas mayores a los 100 mm (como en primavera), los árboles de clase pequeña siempre han superado los 70% de trascolación en comparación a los de clase grande que sólo han superado el 60% (por ejemplo con precipitaciones sobre los 16 mm). Sin embargo

para precipitaciones acumuladas mayores a 170 mm (caso de otoño, 2001), ambas clases diamétricas han superado los 70% de trascolación (suceso que se puede ver en precipitaciones sobre los 25 mm). Con esta comparación se quiere mostrar que las estaciones se diferencian en términos de trascolación, por la cantidad de precipitación que ocurra y la cantidad de agua que la copa de árbol deja pasar.

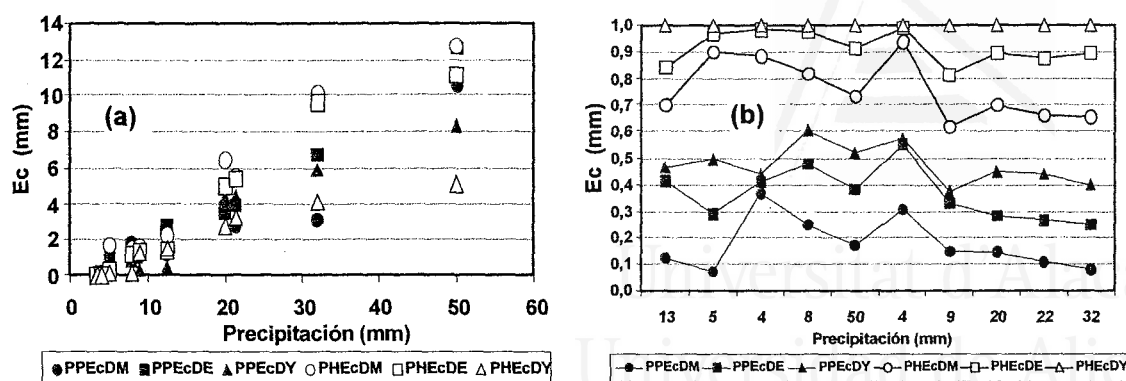
En el pino piñonero, a precipitaciones de 1 mm en clases diamétricas pequeñas, no existe trascolación (mínima trascolación 0); a una precipitación de 52 mm hay un máximo de 42 mm de trascolación. De la misma forma, para el pino carrasco, a una precipitación de 1 mm tampoco existe trascolación y a 52 mm de precipitación un máximo de 31 mm de trascolación.

### ***Escorrentía cortical.***

*Escorrentía cortical anual:* El agua que llegó al suelo a partir de la Ec en 2001 fue de 17.7 mm, en el 2002, 22.8 mm y en el 2003, 14.5 mm.

La Ec dependió de la cantidad de agua de precipitación y de la estructura de la corteza del árbol. Con precipitaciones mayores a 6 mm ya se pueden apreciar la manifestación de una Ec; sin embargo la influencia apreciable de este factor es a partir de los 15 mm, ya que por la mayor cantidad de agua de precipitación existe una mayor circulación de agua por la corteza del árbol y en consecuencia un aumento de la precipitación efectiva. Esto se puede apreciar mejor en los valores porcentuales de la Ec con respecto a la P (Fig. 33). La pendiente de la curva es mayor a partir de los 6 mm de precipitación.

*Escorrentía cortical estacional:* Las estaciones de mayor Ec han sido las primaveras del 2002 (14.2 mm) como del 2003 (10.7 mm). Las estaciones donde la Ec resultaron muy bajas han sido en verano (2.7 mm) y en otoño (2.6 mm).

*Balace de aguas en el pinar*

**Figura 30.** Relaciones de la Ec y la precipitación (a), y de los valores acumulados de Ec y la precipitación en primavera del 2002 (b) de Guardamar de Segura en dos especies de árboles: *P. halepensis* Miller (PH) y *P. pinea* L. (PP). DE= Diámetro de tronco de clase media; DM= Diámetro de tronco de clase pequeña; DY= Diámetro de tronco de clase grande.

*Escorrentía cortical en el pino alepo y piñonero:* Para el pino piñonero, la Ec en el 2001 ha sido, 17.7 mm; en el 2002, 23.4 mm y en el 2003, 14.2 mm. El pino alepo ha recolectado a través de la Ec en el 2001, 17.7 mm; en el 2002, 22.3 mm y en el 2003 13.9 mm.

En eventos de precipitación menores a 6 mm, la Ec en el pino alepo es menor que en el pino piñonero. Aumenta a partir de los 15 mm y se su valor varía muy poco a partir de los 20 mm.

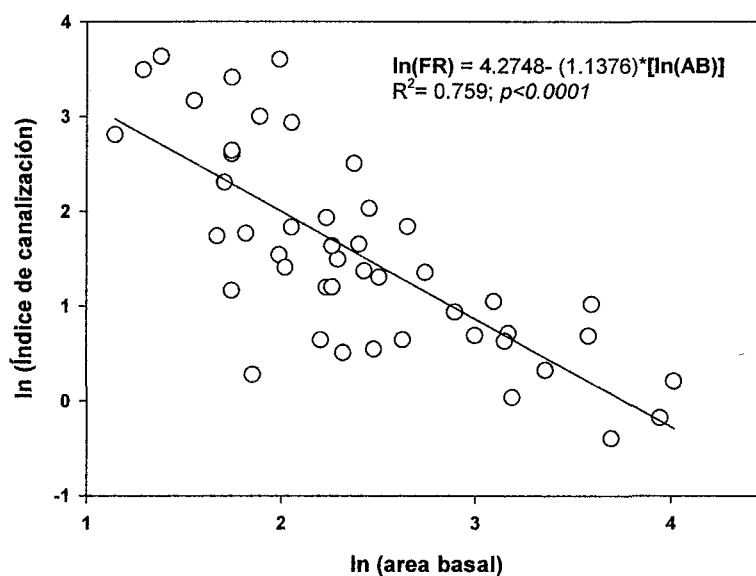
*Comparación de clases diamétricas:* La mayor cantidad de Ec se ha registrado en el pino carrasco de clase diamétrica menor con 32 mm representando un 18% del total de la precipitación en comparación a la mayor cantidad de Ec del pino piñonero que fue en la clase diamétrica menor con 22.7 mm, representando un 13% del total precipitado (Fig. 30b). Observando los valores acumulados de la Ec, el acumulado es mayor en el pino alepo en comparación al pino piñonero; dentro de cada especie, los mayores valores acumulados de Ec se encuentran en los de clase diamétrica mayor (Fig. 30b), sin embargo esto varía con el volumen de precipitación (Fig. 30a), ya que en el pino piñonero no existe Ec en clases diamétricas mayores antes de los 9 mm a diferencia de los del pino alepo, en los cuales si se manifiesta ésta después de los 6 mm.

**a) Índices de canalización:** A fin de resaltar la importancia de la estructura del árbol se ha calculado los índices de canalización del agua de precipitación (FR) (tabla 17), ya que este índice esta relacionado con la posición de las ramas, su ángulo de inserción de éstas en el tronco, y su capacidad de concentrar y canalizar el agua de lluvia (lo que en último término es eficiencia) a través de su estructura.



**Tabla 17.** Promedios anuales y rangos de los índices de canalización de *P. halepensis* Miller y *P. pinea* L.

Parámetro	<i>P. pinea</i> L.			<i>P. halepensis</i> Miller		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Media	12.1	5.8	2.2	19.4	5.0	2.5
Rango	0.03-215.8	0.01-116.3	0.01-32.0	0.03-489.2	0.01-75.4	0.01-46.3

**Figura 31.** Relación entre los logaritmos neperianos del área basal y el índice de canalización para 46 individuos medidos en el proceso de escorrentía cortical.

Los promedios anuales de los FR observados en el pinar de Guardamar del Segura son bajos respecto de otros encontrados en el mismo género de árboles (Chuyong *et al.*, 2004; Levia, 2004), pero éstos sugieren una significativa contribución de la copa del árbol en la generación de escorrentía cortical (Fig. 31). De entre los índices calculados los que menor contribución fueron los de diámetro mayor en ambas especies. Sin embargo la mayor eficiencia se ha visto en el pino alepo, aunque su rango de efectividad de canalización del agua de lluvia ha sido muy amplio (C.V. de 315%) (tabla 16). Comparando las dos poblaciones de FR una del pino carrasco y la otra del pino piñonero, los índices de canalización entre las clases C3 son similares ( $\alpha=0.05\%$ ;  $p>0.8174$ ) y en ambas especies existe una diferencia significativa al comparar los FR de las C1 y las C3 ( $\alpha=0.05\%$ ;  $p<0.0425$ ).

En resumen, se ha visto que existe mayor eficiencia de canalización del agua de lluvia en el pino carrasco que en el pino piñonero. Aunque esto se diferencia con el tamaño del árbol. Árboles de porte menor en el pino carrasco, han canalizado mejor el agua que en el pino piñonero; árboles más grandes en ambas especies han sido similares. Por lo que se ha

## Balace de aguas en el pinar

concluido que la eficiencia de la canalización de agua a través de las ramas ha dependido de la estructura de la copa del árbol y del volumen de precipitación.

### Interceptación

*Interceptación anual:* El agua que se interceptó en la copa del árbol en 2001 fue de 33.1 mm, en el 2002, 50.6 mm y en el 2003, 30.0 mm.

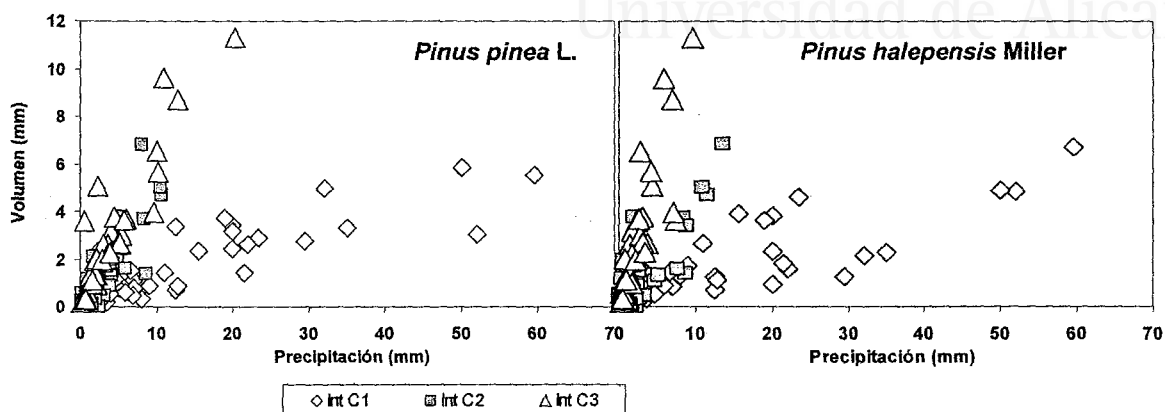


Figura 32. Interceptación en C1 (clase diamétrica pequeña), C2 (clase diamétrica media) y C3 (clase diamétrica grande) de *Pinus halepensis* Miller y *Pinus Pinea* L., bajo diferentes precipitaciones.

*Interceptación estacional:* Los mayores valores de Int se han registrado en el verano, otoño e invierno. Sin embargo esto ha dependido de la cantidad de precipitación. Como en la Ec y la Tr, se observa que el volumen de precipitación influye en la cantidad de agua interceptada. Los valores más alto de Int se han registrado en precipitaciones menores a 3 mm. De hecho, proporcionalmente las mayores cantidades de Int se ha registrado en precipitaciones menores a 6 mm.

*Interceptación en el pino alepo y piñonero:* Para el pino piñonero, la Int en el 2001 ha sido, 34.9 mm; en el 2002, 58.4 mm y en el 2003, 34.5 mm. En el pino alepo se ha interceptado en el 2001, 30.7 mm; en el 2002, 43.1 mm y en el 2003, 25.2 mm. Si observamos las Int con respecto a las precipitaciones de todo el periodo de investigación, se ha observado una diferencia significativa dentro de las dos especies, en la clase mayor ( $\alpha=0.05$ ,  $p<0.0269$ ).

Los máximos valores de interceptación se han registrado en el pino piñonero después de un evento de lluvia de 2.7 mm con el 90% de agua interceptada. Este mismo evento en el pino alepo sólo ha interceptado 35%.

*Comparación de clases diamétricas:* Los valores de interceptación más grandes en el pino piñonero corresponden a una clase diamétrica pequeña y media; bajo esta misma precipitación

la Int en los árboles de clase diamétrica grande sólo alcanzó 79%. De la misma forma, en el pino carrasco las mayores pérdidas han ocurrido en precipitaciones menores o iguales a 3 mm con el 53%, 73% y 44% de agua interceptada en árboles de clases diamétricas pequeña, media y grande respectivamente. En pocas palabras, en precipitaciones pequeñas (3 mm) los árboles pequeños de pino piñonero ha interceptado más que los árboles pequeños de pino alepo.

La mayoría de los valores más inferiores de Int se han registrado en precipitaciones mayores a 20 mm a partir del cual los valores no han variado mucho (Fig. 32). El valor más bajo de Int se ha registrado en el pino carrasco de clase diamétrica media luego de una precipitación de 20 mm que significó un 2.4% en relación al total de la precipitación; el valor más inferior de Int en el pino piñonero a correspondido a 2.7% en una clase diamétrica grande luego de una precipitación de 22 mm. Esto es, en eventos de precipitación grandes (>22 mm) los árboles medianos y grandes de pino piñonero y pino alepo han presentado menores porcentajes de interceptación en relación al total de precipitación.

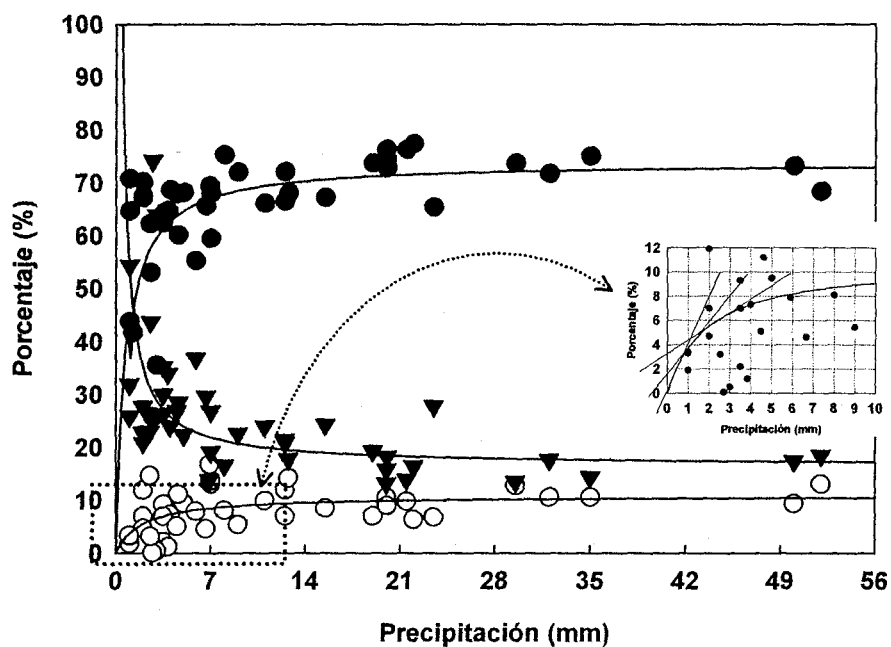


Figura 33. Relación entre la precipitación y el porcentaje de los parámetros medidos: trascolación (Tr-●), escorrentía cortical (Ec-O) e interceptación (Int-▼).

La comparación de las diferentes respuestas de la precipitación a la interceptación nos muestran diferentes respuestas. La cantidad de agua interceptada por la copa del pino carrasco para todas las clases diamétricas son diferentes y altamente significativas ( $p < 0.0001$ ) (tabla 5 y 7, Anexo 4).

Balance de aguas en el pinar

En el espacio más lluvioso del periodo de recolección de datos (13/11/01 al 11/05/02), se pudo apreciar una diferencia significativa entre las clases pequeña y grande del pino piñonero ( $\alpha=0.05$ ,  $p<0.0485$ ), clase pequeña y media del pino carrasco ( $\alpha=0.05$ ,  $p<0.0158$ ), en la clase pequeña de los pinos carrasco y piñonero ( $\alpha=0.05$ ,  $p<0.0122$ ).

En este mismo periodo, los árboles de diámetro menores a 13 cm, las poblaciones de Ec respecto de la precipitación de los pinos piñonero y carrasco, tienen diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ,  $p<0.0498$ ).

Si vemos separadamente estas respuestas, vemos que dentro del pino carrasco, hay una diferencias significativas entre las clases pequeña y grande ( $\alpha=0.05$ ,  $p<0.0186$ ), clases media y grande ( $\alpha=0.05$ ,  $p<0.0456$ ), y una diferencia altamente significativa ( $\alpha=0.05$ ,  $p<0.0054$ ) entre las clases pequeña y media. Dentro del pino piñonero se ha observado diferencias altamente significativas entre las clases pequeña y grande ( $\alpha=0.05$ ,  $p<0.001$ ), diferencias significativas entre las clases media y grande ( $\alpha=0.05$ ,  $p<0.0627$ ).

Utilizando el programa de ordenador SigmaPlot for Windows V. 6.00 (1986), la ecuación que mejor ajustó las gráficas (Fig. 30) de la Ec con la precipitación (P), fue la del tipo logarítmico, y para el caso de la Tr con la P, e Int con P fue la del tipo hiperbólico como se puede ver en la tabla 18.

**Tabla 18.** Cuadro de ecuaciones que mejor se ajustan a las relaciones de precipitación (P) con trascolación (Tr), escorrentía cortical (Ec) e intercepción (Int).

Variable	Nombre de la ecuación	Forma general	Forma paramétrica	R <sup>2</sup>
Tr	Hipérbola modificada III	$Tr = a - \frac{b}{(1 + c * P)^d}$	$Tr = (6.544e + 1) - \frac{1.289e + 3}{(1 + (4.471e - 1) * P)^{\frac{1}{(1.129e-1)}}$	0.9181
Ec	Hipérbola simple rectangular 3	$Ec = \frac{a * P}{b + P} + c * P$	$Ec = \frac{(2.578e + 2) * P}{(6.724e + 1) + P} + (-1.784e + 0) * P$	0.8062
Int	Hipérbola decreciente 3	$Int = y_n + \frac{(a * b)}{b + P}$	$Int = (8.490e + 0) + \frac{(1.850e + 2) * (4.849e - 1)}{(4.849e - 1) + P}$	0.9673

### 3.4.4. Almacenamiento de agua en el perfil del suelo

#### Granulometría de los suelos

Los resultados obtenidos de las características granulométricas se muestran en la tabla 19.

**Tabla 19.** Porcentaje en peso promedio y su desviación estándar de la granulometría realizada en 7 subparcelas de un transecto imaginario cuasi perpendicular a la línea de la costa en el Pinar de Guardamar del Segura.

Sitios	>2 mm (%)	2-0.25 mm (%)	0.25-0.05 mm (%)	<0.05 mm (%)
1	1.3±1.9	21.0±11.7	77.2±12.2	0.4±0.3
2	1.9±2.6	17.2±4.0	80.6±4.5	0.3±0.1
3	1.1±1.2	15.7±3.7	82.8±4.7	0.4±0.4
4	3.3±4.0	15.8±8.6	80.4±11.4	0.5±0.3
5	0.7±0.9	17.2±7.5	81.7±8.0	0.3±0.4
6	1.3±1.7	18.1±5.6	80.3±5.1	0.3±0.1
7	2.7±3.3	14.3±8.0	82.3±8.2	0.6±0.3
Prom	1.8	17.1	80.8	0.4

La tabla 19 evidencia que más del 79% de las arenas son partículas entre 0.25 y 0.05; según Saxton *et al.* (1986), y Schaap y Leij (2000) los suelos que contienen una proporción menor del 10% de arcilla, como en nuestro caso, son considerados suelos de textura arenosa.

**Variación en profundidad:** La variación en profundidad desde la parte más superficial para las partículas de arena muy gruesa ha sido de mayor a menor (de 4 a 0.64%); para las partículas de arena gruesa a fina lo mismo (de 19 a 15%); para las partículas de arena muy fina ha sido de menor a mayor (76% en la zona más superficial y 84% en el horizonte más profundo), y finalmente para las partículas menores a 0.05 mm (limo+arcilla) de mayor a menor (de 0.58% a 0.41%). Estas variaciones en profundidad, no han sido diferentes estadísticamente (Fig. 34).

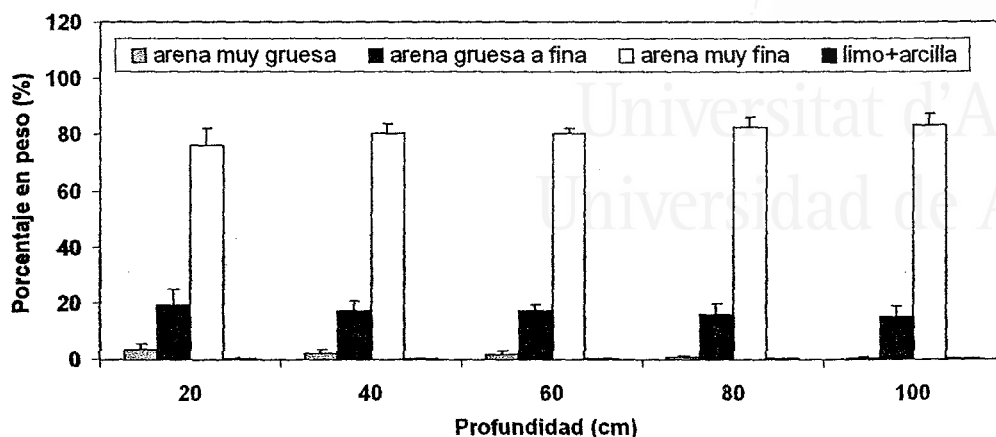
**Variación espacial:** En las siete subparcelas se observa que la mayor cantidad de partículas es arena muy fina (81%), seguido de arena gruesa a fina (17%), luego arena gruesa (1,59%) y limo+arcilla (0.41%).

Las variaciones desde la zona más cercana a la costa con respecto a la zona más alejada para las partículas de arena muy gruesa ha sido de menor a mayor (de 1.3 a 1.7%); para las partículas de arena gruesa de mayor a menor (de 21 a 14%); para las partículas de arena muy fina ha sido de menor a mayor (77% en la zona más cercana a la costa y 82% en la zona más alejada de la costa), y finalmente para las partículas menores a 0.05 mm (limo+arcilla) de menor a mayor (de 0.4% a 0.6%) (tabla 19).

**Variación estacional:** Los resultados de la granulometría han mostrado diferencias sobre todo en la composición de los tamaños. También se ha observado una diferenciación entre estaciones. La subparcela S1 es el que más diferencias ha mostrado en su contenido de arena

*Balace de aguas en el pinar*

muy gruesas durante los cuatro periodos de muestreo, de 3.3% de invierno 2003 a 0.2% de otoño del 2001, en comparación al sitio más alejado de la costa con 0.7 y 0.3% en los mismos periodos respectivamente.



**Figura 34.** Variación en profundidad del porcentaje en peso de la granulometría realizada en 7 subparcelas de un transecto imaginario en el Pinar de Guardamar del Segura.

Por estas características asumimos que el suelo es suelto, de granulometría fina, permeabilidad media a baja, por lo cual no son muy aptos para asentamientos o introducción de especies foráneas o que no estén adaptadas a estas condiciones.

**Densidad aparente**

Se calculó la densidad aparente ( $\rho_b$ ) del sustrato de la pinada de Guardamar, con el fin de convertir los datos de humedad gravimétrica a humedad volumétrica. La densidad aparente media encontrada ha sido identificada similar a los valores de un suelo arenoso ( $1.61 \pm 0.13 \text{ g/cm}^3$ ) en los primeros 100 cm de profundidad para las siete subparcelas de muestreo.

*Variaciones en profundidad:* Las variaciones de la  $\rho_b$  en profundidad se ha relacionado con la cantidad de arena muy fina. Diferencias que se notado con mayor claridad en la superficie del suelo que en las capas inferiores, las cuales han mostrado valores cercanos. Las densidades de la primera capa han variado desde 1.39 hasta  $1.75 \text{ g/cm}^3$ . Las densidades a los 100 cm de profundidad han variado desde 1.53 hasta  $1.73 \text{ g/cm}^3$ . Esta diferencia sin embargo, no distingue texturas, ya que ambos valores pertenecen a densidades aparentes de suelos arenosos (Fig. 35).

*Variaciones en espacio:* Los valores observados están relacionados la cantidad de partículas menores a 0.05 mm y con la posición del sustrato observado. Así, en dunas no fijadas (S1 o S2), la  $\rho_b$  tiene valores más altos en comparación a los encontrados en dunas fijadas (S6 o S7), o más alejadas de la costa (Fig. 35), refiriéndonos al primer estrato (20 cm de

profundidad). Sin embargo, esta variación también está relacionada a la ubicación de la subparcela; el S4 a los 20 cm de profundidad tiene una  $\rho_b$  inferior a la S5. La primera está situada en una depresión dunar y la segunda en un pico dunar.

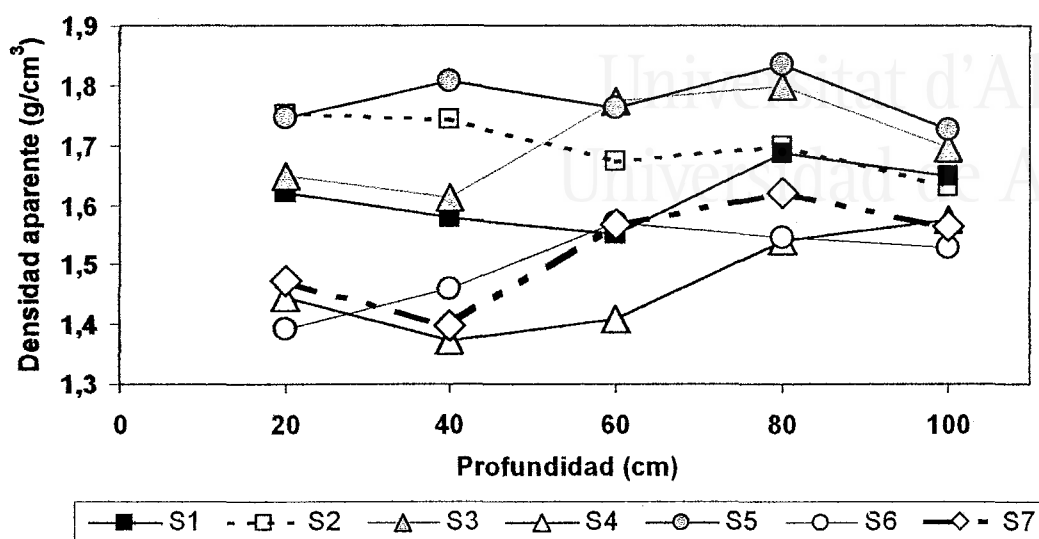


Figura 35. Variación de la densidad aparente ( $\rho_b$ ) en un transecto imaginario de la pinada de Guardamar del Segura. El S1 representa el sitio de muestreo más cercano a la costa y el S7 representa el sitio de muestreo más alejado de la costa.

### Humedad en el perfil del suelo

Con el dato de humedad cada 20 cm de profundidad de suelo, se ha estimado la cantidad de agua existente en el perfil a 1 m de distancia del tronco de la planta en las siete subparcelas del transecto imaginario.

Para estimar el agua disponible en el perfil del suelo, se ha asumido que el contenido de agua en peso de una muestra de suelo dunar es disponible hasta un 7% (Capacidad de Campo - CC), esta humedad está disponible hasta un 3% (Punto de Marchitez Permanente - PMP), coincidiendo con Haman e Izuno (1993) y Rogers y Sothers (1996) que indican que los suelos arenosos tienen la CC a los 7% y el PMP a los 3%.

Con estos valores y las densidades aparentes de cada sustrato se ha estimado el contenido volumétrico a CC, para compararlo con la humedad encontrada en el suelo. Los resultados de la estimación del VWC medio a CC en profundidad se muestran en la tabla 20 y de todo el estrato, la sumatoria, en la tabla 21. El contenido de agua a CC varía con la profundidad, existiendo mayor capacidad de retención de humedad en horizontes más profundos, y en consecuencia mayor disponibilidad de agua.

La humedad en peso encontrada en los suelos del pinar ha sido convertido en contenido volumétrico, y con este valor se ha estimado si la cantidad de agua encontrada ha estado

*Balace de aguas en el pinar*

disponible a la planta o por el contrario se ha perdido por percolación o ha pasado el PMP. Como se observará más adelante en la tabla 22.

De la misma forma, se ha calculado la lámina de agua a través de:

$$L_{H_2O} = \frac{(VWC) * 10 * z_i}{100} \quad (19)$$

Donde:

$L_{H_2O}$  = Lamina de agua (mm)

VWC = Contenido volumétrico de agua (%)

10 = Factor de conversión a mm

$z_i$  = Capas o perfiles identificados a un numero  $i$  de perfiles

Donde  $VWC = \rho_b * (GWC)$

**Tabla 20.** Contenido Volumétrico de Agua (VWC) medio a Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP) media y disponibilidad de agua media en distintas profundidades del estrato dunar (n=7).

Profundidad (cm)	Dap (g/cm <sup>3</sup> )	VWC a CC (%)	VWC a PMP (%)	Agua disponible (%)
20	1.58	11.63	5.18	6.45
40	1.57	11.52	5.13	6.39
60	1.62	11.88	5.29	6.58
80	1.68	12.32	5.49	6.83
100	1.62	11.94	5.32	6.62

Los resultados de la estimación del VWC a CC de las subparcelas de muestreo se muestran en la tabla 21. La CC y el PMP de las subparcelas cercanas a la costa es mayor en comparación a las más alejadas, resultando los primeros con mayores rangos de disponibilidad de agua que los segundos (tabla 21).

La tabla 22 nos muestra el contenido de humedad en diferentes estratos y diferentes subparcelas a lo largo del transecto imaginario. Se observa que existe un déficit de agua casi en todos los periodos de medición, a excepción de la primavera del 2002 que fue después de una alta precipitación (50 mm) y parte de la primavera del 2003 (después de dos días de una precipitación de 59 mm).



**Tabla 21.** Contenido Volumétrico de Agua medio (VWC) a Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP) y disponibilidad de agua hasta un metro de profundidad en distintas subparcelas de muestreo del estrato dunar (n=5).

Subparcela	Dap (g/cm <sup>3</sup> )	VWC a CC (%)	VWC a PMP (%)	Agua disponible (%)
S1	1.70	59.43	26.48	32.95
S2	1.71	62.45	27.83	34.63
S3	1.47	62.69	27.93	34.76
S4	1.78	53.97	24.05	29.92
S5	1.50	65.27	29.08	36.19
S6	1.53	55.11	24.55	30.55
S7	1.70	56.04	24.97	31.07

Así mismo, se puede apreciar que algunos periodos como invierno, verano y otoño del 2002, así como el verano del 2003, han sobrepasado los límites del PMP.

**Tabla 22.** Contenido volumétrico de agua (VWC) en días seleccionados de los períodos de medición. (a) Promedio de VWC de siete subparcelas en 5 profundidades cada uno de 20 cm, (b) sumatoria del VWC de 100 cm de profundidad en siete subparcelas del transecto, (c) promedio del VWC de 5 profundidades hasta 100 cm de profundidad en siete subparcelas del transecto.

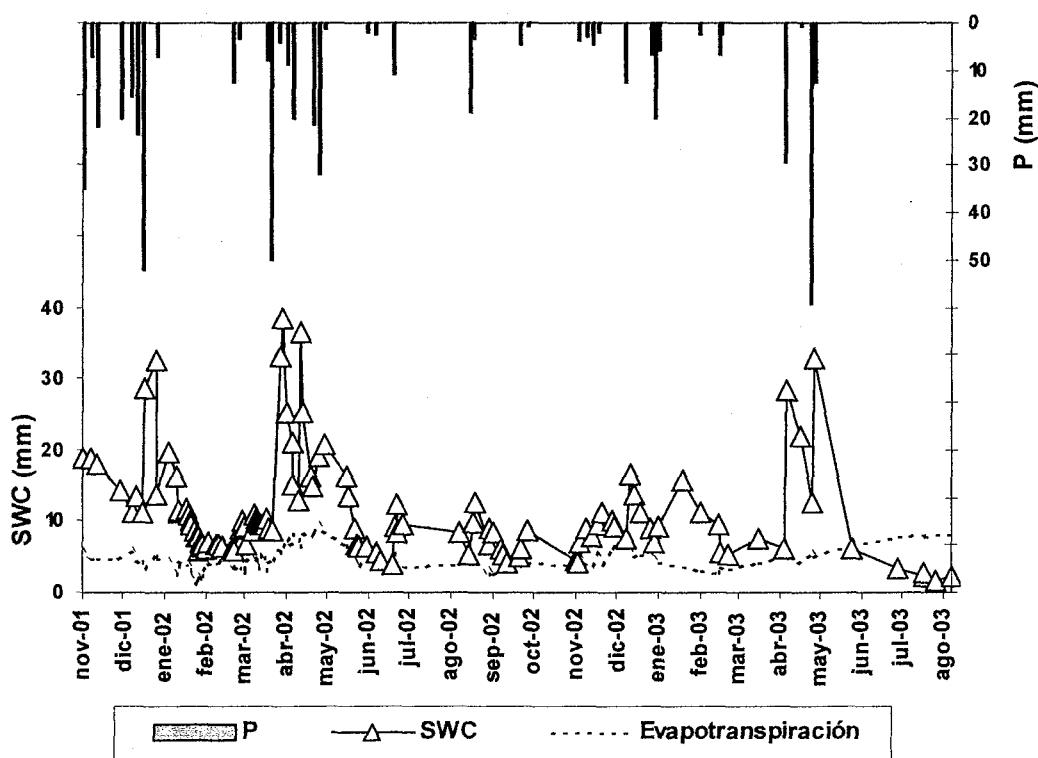
	15/12/2001 (otoño)	14/02/2002 (invierno)	20/04/2002 (primavera)	21/07/2002 (verano)	12/11/2002 (otoño)	16/01/2003 (invierno)	07/05/2003 (primavera)	07/08/2003 (verano)
(a)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
20	6.90	3.44	21.43	4.85	2.46	9.27	9.78	1.36
40	5.66	4.18	18.39	3.42	1.80	8.48	11.05	1.84
60	5.35	4.23	14.42	3.16	1.38	6.02	10.16	2.32
80	5.62	4.47	12.55	3.64	1.57	2.78	9.38	2.16
100	7.37	5.03	9.04	4.26	1.61	2.70	6.17	2.29
	<b>6.18</b>	<b>4.27</b>	<b>15.17</b>	<b>3.86</b>	<b>1.76</b>	<b>5.85</b>	<b>9.31</b>	<b>2.00</b>
(b)								
S1	34.57	20.08	74.55	25.24	6.33	31.85	40.38	7.83
S2	40.40	26.18	82.65	24.10	12.57	27.55	47.08	8.66
S3	36.82	25.41	64.22	15.57	6.97	32.50	60.38	12.90
S4	34.96	24.84	81.52	20.46	13.48	22.10	47.88	17.20
S5	39.89	23.17	85.98	15.84	6.90	34.96	52.23	7.98
S6	29.68	28.11	57.43	14.64	6.42	22.35	32.03	6.13
S7		1.62	84.45	19.35	9.06	33.46	45.78	9.20
	<b>30.90</b>	<b>21.35</b>	<b>75.83</b>	<b>19.31</b>	<b>8.82</b>	<b>29.25</b>	<b>46.54</b>	<b>9.99</b>
(c)								
S1	6.91	4.02	14.91	5.05	1.27	6.37	8.08	1.57
S2	8.08	5.24	16.53	4.82	2.51	5.51	9.42	1.73
S3	7.36	5.08	12.84	3.11	1.39	6.50	12.08	2.58
S4	6.99	4.97	16.30	4.09	2.70	4.42	9.58	3.44
S5	7.98	4.63	17.20	3.17	1.38	6.99	10.45	1.60
S6	5.94	5.62	11.49	2.93	1.28	4.47	6.41	1.23
S7		0.32	16.89	3.87	1.81	6.69	9.16	1.84
	<b>43.26</b>	<b>29.88</b>	<b>106.16</b>	<b>27.04</b>	<b>12.35</b>	<b>40.95</b>	<b>65.15</b>	<b>13.98</b>

*Balance de aguas en el pinar*

El balance del período señala al sitio 7 como el único lugar donde el contenido de agua al finalizar el período de estudio aún es significativo, aunque eso signifique que sus estratos en verano se muestre que no haya llegado a su CC (1.36, 1.84, 2.32, 2.16, 2.29% en VWC en los estratos 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm, respectivamente).

**Variación temporal del agua de suelo.**

La variación temporal de agua de suelo se muestra en la Fig. 36. Esta variación dependió en la mayoría de los casos de la cantidad de precipitación ocurrida. Ya que los valores más bajos de contenido de humedad ( $1.7 \pm 0.9$  mm) se ha registrado luego de un periodo de ausencia de lluvia de cerca de 50 días (junio a julio del 2003).



**Figura 36.** Precipitación (P), promedio de contenido de agua en el perfil del suelo (SWS) a 20 cm de profundidad y evapotranspiración en la pinada de Guardamar del Segura.

**Tabla 23.** Precipitación total, precipitación efectiva y valor medio de siete subparcelas del agua almacenada en el suelo hasta 100 cm de profundidad en diferentes estaciones.

Periodo	P (mm)	P <sub>e</sub> (mm)	S <sub>i</sub> (mm)	S <sub>r</sub> (mm)	ΔS (mm)
2001 otoño	64.0	53.3	72.10	196.00	123.89
2002 invierno	118.0	99.5	196.00	42.69	-153.31
2002 primavera	166.8	140.0	42.69	151.66	108.97
2002 verano	38.0	31.1	151.66	38.63	-113.03
2002 otoño	24.5	17.1	38.63	17.64	-20.99
2003 invierno	57.3	41.5	17.64	58.50	40.87
2003 primavera	103.8	86.2	58.50	93.08	34.57
2003 verano	0.00	0.00	93.08	19.97	-73.11

La mayor cantidad de agua almacenada en todo el periodo de medición se ha dado luego de una precipitación mayor de 50 mm, perfil de suelo de 20 cm que contenía 43 mm (Fig. 36). Sin embargo este almacenamiento ha decrecido rápidamente hasta valores de 17 mm y de 15 mm el cual ha decrecido luego de un periodo largo de ausencia de lluvia hasta a 4 mm.

La mayor cantidad de agua almacenada en todo el perfil del suelo (100 cm) se ha encontrado en la primavera del 2002, seguida del invierno y primavera del 2003 (tabla 23).

El contenido promedio de agua en las dunas de Guardamar del Segura, estacionalmente tuvo una diferenciación altamente significativa ( $p < 0.000$   $\alpha = 0.01$ ) hasta 1 m de profundidad (tabla 22).

Sin embargo, existen periodos que se asemejaron en su VWC. Utilizando el método de comparación de medias LSD (diferencia mínima significativa) al 5% de significancia tenemos que entre estaciones tuvo una variación altamente significativa. Así, el promedio de contenido de humedad en el perfil del sustrato en el periodo de la primavera del 2002 es diferente del encontrado en el verano del mismo año. Periodo primaveral que denominamos periodo de mayor humedad (75.83 mm); este periodo también incluye la primavera del 2003 (46.54 mm). El periodo que denominamos de media humedad, en el que tampoco se encontró diferencias, fue en los periodos del verano del 2002 (19.31 mm) y el invierno del 2003 (29.25 mm). El verano del 2002 (19.31 mm) y el verano del 2003 (9.99 mm) tampoco se diferenciaron, y este periodo por contener menor humedad a los anteriores periodos se la denominó de menor humedad (tabla 22).

El periodo en el que más agua se encontró en el perfil del suelo fue en el de mayor humedad que tiene una diferencia altamente significativa ( $p < 0.0001$ ) con el resto de los contenidos de agua de las otras estaciones. El periodo de humedad media también tiene una diferencia altamente significativa ( $p < 0.0001$ ) en comparación al de menor humedad.

### *Balance de aguas en el pinar*

---

La variación temporal en profundidad ha sido muy variable en los periodos de precipitación alta y ha mostrado poca variabilidad en el periodo de verano (tabla 22). El promedio más alto en los primeros 20 cm de profundidad ha sido en los días inmediatamente después de las mayores precipitaciones 52 y 50 mm que originaron 19 y 21% en contenido volumétrico respectivamente. Ambos valores son diferentes y altamente significativos en comparación al resto de los datos de esta profundidad.

El valor más alto encontrado a los 20 cm de profundidad fue de 21.43% en la primavera del 2002; el más bajo fue hallado en el verano del 2003 con 1.03%.

En la profundidad de 40 cm, el valor más alto encontrado fue de 19.38 % en el otoño del 2001 y el más bajo en 1.43% en el verano del 2003.

A partir de la profundidad de 60 cm se observó que los valores máximos dependieron de las precipitaciones y los valores mínimos no bajaron de 1.38% encontrado en invierno del 2002.

En las profundidades de 80 y 100 cm, aunque las diferencias en contenido de humedad son significativas, es mayormente marcado en los días de mayor precipitación y después de estos días, indicando una recarga a los horizontes profundos a través de los más superficiales, como sucede en los DOYs 105 y 116 (15 de abril y 26 de abril respectivamente) que contienen 10.71% y 9.98% en los 80 cm y de 7.27% y 5.97% en los 100 cm.

La poca variabilidad de la humedad en los estratos superficiales del suelo en verano no mostró diferencias significativas. Este comportamiento se observó específicamente desde los DOYs 157 al 230 (6 de junio al 18 de agosto del 2003).

Las variaciones encontradas dentro de cada muestra se observaron en profundidades. En el DOY 157 (6 de junio), los dos primeros estratos (2.06% y 2.98%) estuvieron más húmedos que el resto (4.01%; 4.55% y 4.67%), teniendo una diferencia altamente significativa el estrato a 20 cm de profundidad con respecto a los de 80 y 100 cm de profundidad. En el caso del DOY 230 (18 de agosto del 2003), cuando las precipitaciones se hicieron cero, los cuatro primeros estratos (20, 40, 60 y 80 cm) tuvieron una diferencia altamente significativa en comparación con la profundidad de 100 cm (1.48; 1.43; 1.92 y 2.12 contra 2.81%).

#### ***Variación espacial del agua de suelo.***

La variación espacial en la pinada se ha estudiado en un transecto imaginario cuasi perpendicular a la costa y los resultados de 3 subparcelas representativas se pueden observar en la Fig. 37.

La variación espacial es muy clara en todas las estaciones del año, pero en especial en estaciones lluviosas luego de un período seco. En el DOY 363 del 2001, se ha verificado hasta los 100 cm de profundidad un máximo de contenido de humedad volumétrica de 117% localizado en la subparcela 5 que tiene una diferencia altamente significativa (LSD  $\alpha=0.05$ ;

$p < 0.002$ ) en comparación a la subparcela 1 con una humedad volumétrica de 90% (Anexo 4 tabla 19 y 20).

La variación espacial más clara se comprueba en los días después de las precipitaciones. En el DOY 105 en el periodo invernal del 2002 (periodo de numerosos y continuos eventos lluviosos), se presentó una diferencia altamente significativa ( $LSD = 0.05$ ;  $p < 0.0045$ ) entre las subparcelas 1 y 2 en comparación con a la subparcelas 7 (Anexo 4 tabla 21). La mayor humedad presente en el perfil del sustrato fue en esta última subparcelas con 60% de humedad volumétrica. El sitio de menor humedad se localizó en la subparcelas 1 con 41% y la subparcelas 2 con 35% en contenido volumétrico de agua (VWC) por metro de profundidad.

En el DOY 116 periodo de primavera del 2002, luego de un periodo lluvioso se presentó igualmente diferencias estadísticas entre las subparcelas 1, 4 y 7. El primero con 32% en VWC el valor más bajo en comparación a los otros de valores más altos con 44% y 41%, respectivamente en VWC (Anexo 4 tabla 22).

En verano del 2002, en el DOY 166 del 2002 (15 de junio), no se encontraron diferencias significativas entre las subparcelas 1 y 7, sin embargo si se encontró diferencias significativas entre las subparcelas 2 y 3, el primero con 21% en VWC y el segundo con 11% en VWC (Anexo 4 tabla 23).

En el verano del 2003, en un periodo sin lluvias, se encontró un poco variabilidad de los valores de humedad en todos los sitios. No existieron diferencias significativas entre las subparcelas de muestreo. En el DOY 86 del 2002, ninguno de los sitios fueron diferentes ( $LSD \alpha = 0.05$ ;  $p > 0.7729$ ), en el DOY 108 del 2002, todos los sitios fueron similares ( $LSD \alpha = 0.05$ ;  $p > 0.6889$ ).

Luego de este periodo se vio una diferencia significativa entre los sitios, pero debido a un marcado aumento de humedad en los horizontes más profundos. En verano se encontraron diferencias significativas de este comportamiento. En el DOY 192 del 2003, se observó diferencias altamente significativas ( $LSD \alpha = 0.05$ ;  $p < 0.0005$ ) entre la subparcela 4 en comparación a las subparcelas 1, 2 y 6. La subparcela 4 con 17% en VWC y las subparcelas 1 con 8%, la 2 con 9%, y la 6 con 6% en VWC en todo el perfil del suelo. la subparcela 4 muestra un aumento significativo en su VWC a los 100 cm de profundidad, 3.32% en VWC, en comparación a los 2.54% en VWC a los 20 cm de profundidad.

En promedio, en verano, las siete subparcelas de muestreo mostraron un incremento de su humedad a los 100 cm de profundidad (2.29%) en comparación a los estratos más superficiales (1.4%). Esta diferencia fue altamente significativa ( $LSD \alpha = 0.05$ ;  $p < 0.0476$ ) (Anexo 4 tabla 24).

Balace de aguas en el pinar

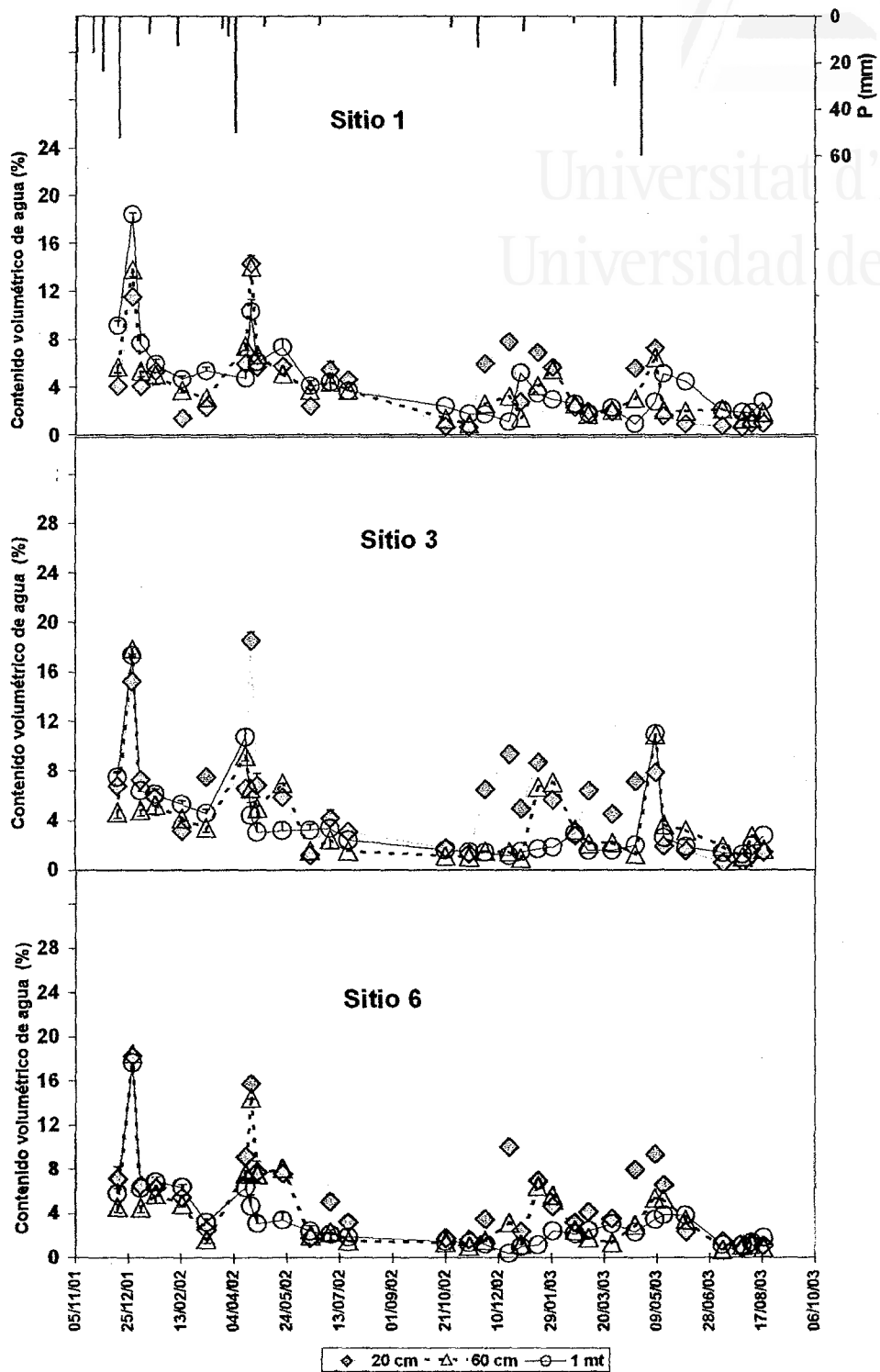


Figura 37. Precipitación (P) y promedio de contenido volumétrico de agua en el perfil del suelo (VWC) a 20, 60 y 100 cm de profundidad y en 3 sitios de la pinada de Guardamar del Segura; el sitio 1 es el más cercano a la costa, el sitio 6 está a 650 m de la costa. Las barras verticales representan las desviaciones standard de los muestreos.

En el DOY 210 del 2003 (29 de julio), verano pleno, se encontraron diferencias altamente significativas (LSD  $\alpha=0.05$ ;  $p<0.0003$ ) entre la subparcela 4 en comparación a las subparcelas 1, 2 y 3. La subparcela 4 con 19% en VWC y las subparcelas 1 y 2 con 8%, la 3 con 5% en VWC en todo el perfil estudiado. De la misma forma se ha visto un incremento en de humedad de los estratos más inferiores en comparación a los más superficiales, lo que asumimos podría deberse a un proceso de capilaridad. Por ejemplo, en el DOY citado, los horizontes a 80 cm y 100 cm de profundidad presenta las humedades promedio (de las siete subparcelas) más altas (2.64% y 2.62%) en comparación a las más superficiales que han resultado en las de menor humedad (a 20 cm de profundidad se encuentra 1.03% y a los 40 cm 1.51%) (Anexo 4 tabla 25 y 26).

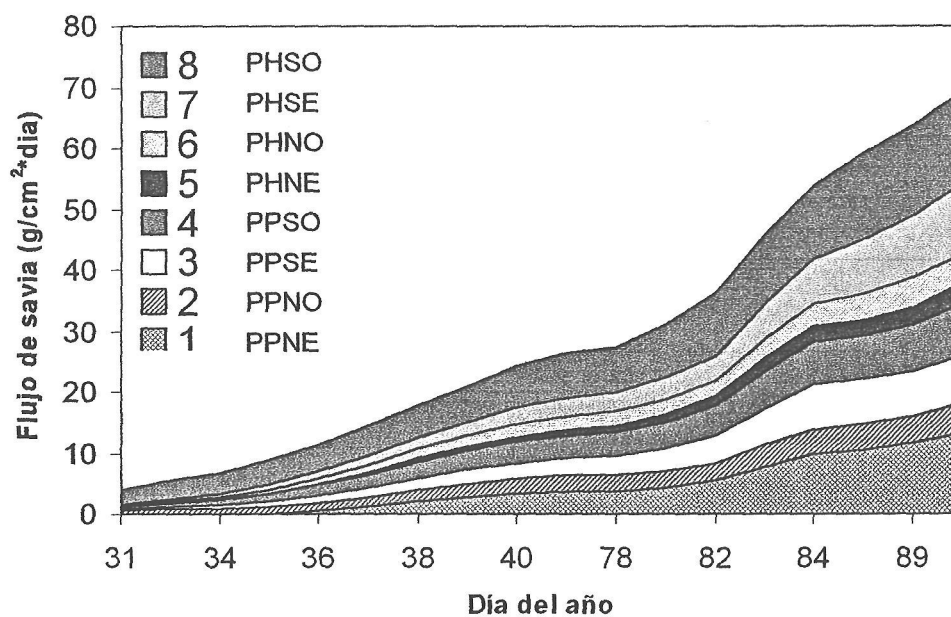
Un aspecto interesante en este período es la significativa contribución de humedad desde los horizontes inferiores. En el DOY 219 del 2003 (7 de agosto), se ha encontrado un diferencia altamente significativa (LSD  $\alpha=0.05$ ;  $p<0.0004$ ) de la subparcela 4 en comparación a las subparcelas 1 y 2; esta diferencia de promedio de VWC en el total del perfil, se ha considerado es debido a que se ha incrementado el valor de éstos en los horizontes más inferiores. Proporcionalmente podemos indicar que la subparcela 4, con un valor promedio de 17% en VWC en todo su perfil, se deduce que el 60% de su VWC corresponde a los últimos 3 horizontes, es decir, a los 60, 80 y 100 cm de profundidad. Los estratos más secos corresponderían a los más superficiales (40% del total del VWC). A pesar de los valores bajos encontrados en la subparcela 1 (en este mismo período), 8% en VWC promedio de todo el perfil, se deduce que el 77% de su VWC esta localizado en los 60, 80 y 100 cm de profundidad y el resto, 23% de toda esta humedad esta localizado en su nivel más superior. Lo que indicaría una recarga del sustrato por la parte inferior del sustrato, aunque en valores pequeños (1,98 mm en comparación a los 5.30 mm o de los 11.63 mm de los recargados en su momento por efecto de la precipitación).

## Balace de aguas en el pinar

### 3.4.5. Transpiración

Como se señaló en la sección de *Materiales y Métodos*, la transpiración se determinó a través del método de flujo de savia con sensores de transpiración Dinamax (Sistema SHB, van Bavel, 1984). Las campañas de fisiología se realizaron en dos especies de pinos: *P. halepensis* Miller y *P. pinea* L.

*Período de localización de sensores:* En la primera fase de las mediciones con los sensores de Dinamax, se hizo un test de localización de sensores, para luego utilizar un sensor en un individuo por especie. Se instaló en dos individuos 4 sensores a cada uno, en cuatro orientaciones distintas (E, O, N, S) y en la parte media-superior de la copa del árbol, bajo el criterio de que es en estas zonas donde mayor radiación solar recibe el árbol (ver sección de materiales y métodos) (Fig. 38).



**Figura 38.** Flujo acumulado de savia como resultados del test de instalación de 8 sensores colocados sobre *Pinus halepensis* Miller en las posiciones NE, NO, SE, SO los 4 primeros y sobre *Pinus pinea* L. en las mismas posiciones del 5 al 8, respectivamente.

Los resultados de este test nos denotaron que el mejor lugar para la instalación fue en la posición SO, siguiendo la trayectoria del sol de E al O, ya que se consiguieron las más altas tasas de transpiración. Este resultado coincidió para ambas especies. Se debe hacer notar que el ángulo cenit de la trayectoria del sol varía según la estación, es así, que se vio la necesidad instalar el sensor, en el lado de la copa del árbol donde existe mayor probabilidad de incidencia del sol.



Luego de esta fase se hizo la medición del flujo de savia del día del año (DOY) 28 al 41 (28 de enero al 11 de febrero) que corresponde a la estación invernal (por lo que se trabaja con 13 días), y del DOY 117 al 125 (27 de abril al 05 de mayo), que corresponde a la estación primaveral (por lo que se trabaja con 8 días). Datos adicionales en verano se obtuvieron con el IRGA 6400 (23 de junio). En la segunda fase, en el año 2003, se utilizaron dos sensores uno en cada individuo de cada especie, situándolos en el sitio donde el valor de transpiración se acercó más al promedio. Esta medición se la realizó desde el DOY 14 al 231 (14 del Enero al 19 de agosto) del mencionado año (por lo que se trabaja con 217 días).

### Variación diaria

Los valores de variación diaria de la Fig. 39 tomo los datos de 153 días. Esta figura muestra el comportamiento de la transpiración en dos especies y en tres estaciones.

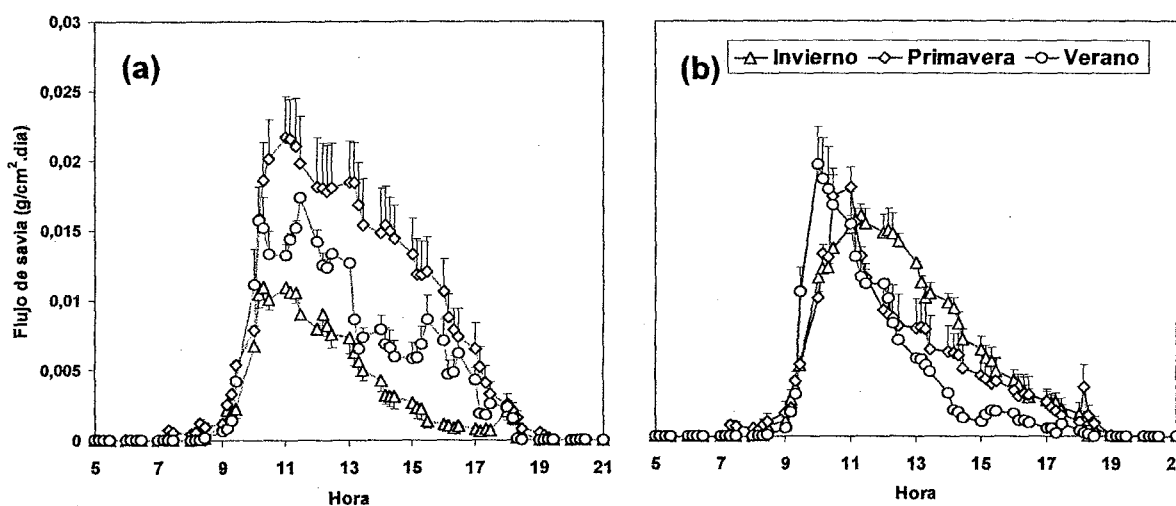


Figura 39. Variación diaria media del flujo de savia de (a) *Pinus pinea* L. y (b) *P. halepensis* Miller durante el periodo de investigación DOY 78 al 231 del 2003.

La dinámica de la transpiración de la acícula presenta diferentes comportamientos según las condiciones medioambientales. En invierno y primavera alcanza un pico durante la mañana, posteriormente disminuye durante la tarde; en verano el pico máximo se alcanza antes del mediodía, posteriormente este baja y sube otra vez pasado el mediodía hasta alcanzar un segundo pico menor a la anterior para luego bajar hasta llegar a su mínima expresión (Fig. 39).

El valor de transpiración medio de todo el periodo de medición (DOY 31 al 125 del 2002 y DOY 14 al 231 del 2003) para ambas especies fue de  $0.29 \pm 0.10 \text{ L.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ . El promedio de flujo de savia por estación ha sido de  $0.17 \pm 0.09$  para invierno, de  $0.27 \pm 0.15$  para primavera y de  $0.21 \pm 0.06 \text{ L.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  para verano (tabla 24).

*Balace de aguas en el pinar***Tabla 24.** Resumen de los índices de transpiración para *P. halepensis* Miller y *P. Pinea* L. en tres estaciones.

Año	INVIERNO		PRIMAVERA		VERANO	
	Transpiración (L.m <sup>-2</sup> .día-1)		Transpiración (L.m <sup>-2</sup> .día-1)		Transpiración (L.m <sup>-2</sup> .día-1)	
	<i>P.halepensis</i>	<i>P. pinea</i>	<i>P.halepensis</i>	<i>P. pinea</i>	<i>P.halepensis</i>	<i>P. pinea</i>
2002	0.26±0.06	0.19±0.03	0.27±0.11	0.43±0.20	0.29±0.19	0.27±0.03
2003	0.15±0.01	0.08±0.04	0.13±0.06	0.24±0.21	0.12±0.09	0.16±0.09
<b>Promedio</b>	<b>0.21±0.04</b>	<b>0.14±0.03</b>	<b>0.20±0.18</b>	<b>0.33±0.15</b>	<b>0.21±0.14</b>	<b>0.21±0.11</b>

La dinámica diaria de transpiración muestra que sus picos máximos oscilan entre los 0.048 y 0.021 g/cm<sup>2</sup>.día para *P. pinea* y de 0.039 y 0.020 g/cm<sup>2</sup>.día para *P. halepensis*, ambas registradas en primavera. Los rangos de transpiración también varían según la estación, así el intervalo máximo de oscilación que se ha encontrado en el pino piñonero dentro de una estación ha sido en verano y primavera con valores de desviaciones estándares similares a los mismos valores (hasta un 80% de variación). En el pino carrasco esta variación se ha reflejado en invierno.

**Variación estacional**

La Fig. 40 muestra la respuesta de transpiración de *P. halepensis* y *P. pinea* en días representativos de junio, julio y agosto. La Fig. 41 muestra la transpiración media de estos dos pinos en tres estaciones (invierno, primavera y verano del 2003).

Las dos especies muestran similar magnitud de transpiración pero tienen comportamientos diferentes al llegar estado de estrés hídrico. Por ejemplo, el pino carrasco se ha caracterizado por tener dos comportamientos. En junio y julio, la máxima transpiración se realiza entre las 10:00 y 11:00 a.m. En agosto, presenta dos picos, el primero sobre las 11:00 y el segundo pasado el medio día (Fig. 40a).

Por el otro lado, el pino piñonero se ha caracterizado por tener un solo pico en las horas de la mañana (10:00), tanto en junio, julio como en agosto. A partir del cual su tasa de transpiración ha ido disminuyendo, en especial pasado el medio día (Fig. 40b).

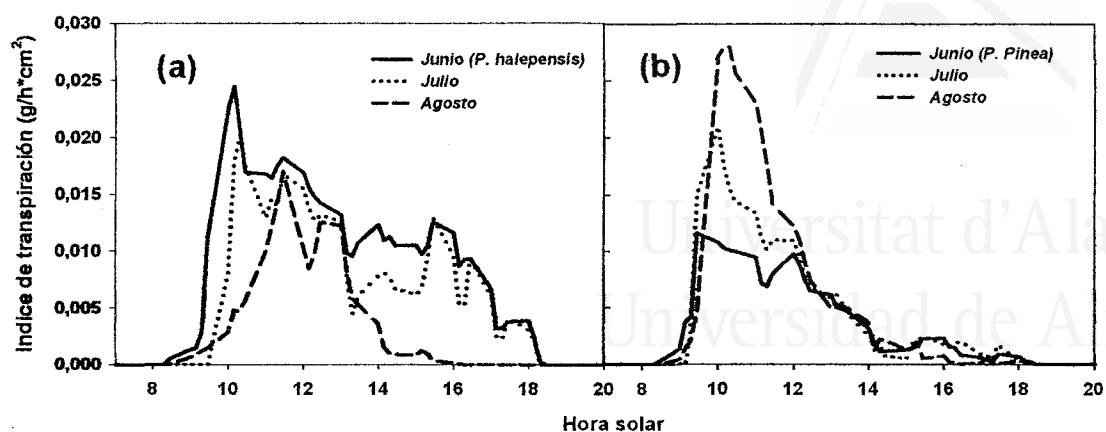


Figura 40. Respuesta diaria del flujo de savia en (a) *Pinus halepensis* Miller, y (b) *P. pinea* L en los meses de junio, julio y agosto. Línea continua: junio, línea punteada: julio, y línea discontinua: agosto.

La respuesta de los árboles a la transpiración en el período representativo de cada estación, muestra una gran variabilidad: a) en el día, b) en días continuos y c) en un período estacional (Fig. 40, 41 y 42). La variabilidad diaria es intrínseca, dentro de un período puede ser debido a la posición del sensor (respecto de una orientación), y entre estaciones debido a la posición solar y el número de horas de incidencia solar. La variabilidad dentro del período estacional se refleja en los altos valores de desviación estándar y la diferencia altamente significativa entre los datos de transpiración de diferentes días ( $p < 0.0079$  para el pino carrasco y  $p < 0.0297$  para el pino piñonero a un  $\alpha = 0.01$  para ambas). Entre estaciones, las variaciones numéricas fueron evidentes y estadísticamente altamente significativas ( $p < 0.0006$  para el pino piñonero y  $p < 0.0001$  para el pino carrasco a un  $\alpha = 0.01$  para ambas).

La estación con más flujo de transpiración ha sido en la primavera del 2002 con una transpiración promedio de  $0.43 \pm 0.20$  L/m<sup>2</sup>.día registrado en *P. pinea*. Luego de este periodo, en verano, la transpiración ha sido menor en *P. pinea* L. con  $0.27 \pm 0.03$  en comparación de *P. halepensis* Miller con  $0.29 \pm 0.19$  L/m<sup>2</sup>.día. En el 2003, también *P. pinea* L. ha transpirado más que *P. halepensis* Miller, exceptuando invierno del 2003, en el cual este último ha transpirado más ( $0.15 \pm 0.01$  L/m<sup>2</sup>.día) que la primera ( $0.08 \pm 0.04$  L/m<sup>2</sup>.día).

Así mismo, se denota que ambas especies tienen diferentes comportamientos en las diferentes estaciones estudiadas (Fig. 41). El pino carrasco no ha tenido muchas diferencias en primavera verano e invierno, en comparación al pino piñonero la que se caracterizó de tener un pico más alto en primavera en comparación al invierno o el verano.

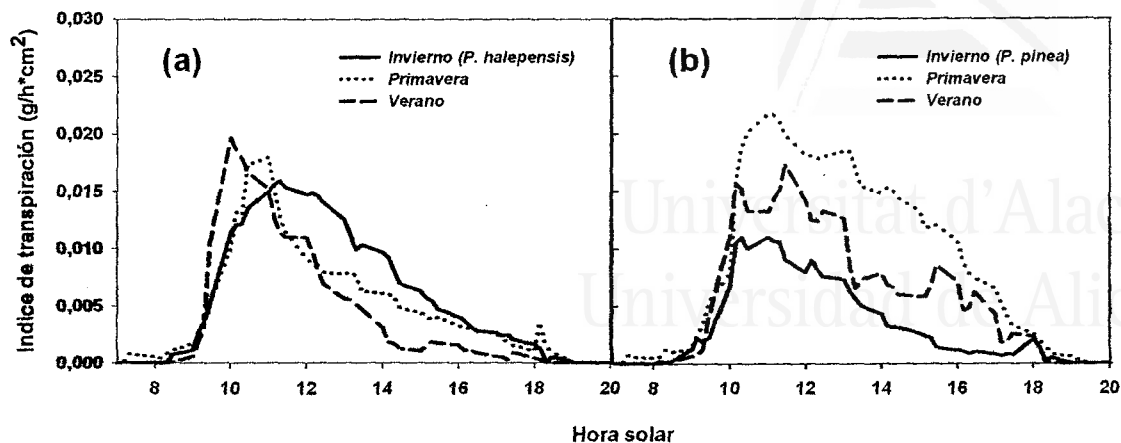
*Balance de aguas en el pinar*

Figura 41. Flujo de savia en (a) *Pinus halepensis* Miller, y (b) *P. pinea* L. en tres diferentes estaciones del año 2003 (n=23).

Comparando los dos periodos de estudio (años 2002 y 2003) se observa que existen diferencias altamente significativas ( $p < 0.0001$ ,  $\alpha = 0.01$ ), sin embargo dentro de un mismo año no existen diferencias (Anexo 5, Tabla 1 y 2).

Entre meses diferentes dentro de cada año existen diferencias altamente significativas. Para el pino piñonero en el año 2002 se observó diferencias altamente significativas entre los meses invernales (enero y febrero) y los meses de primavera (marzo y mayo) ( $p < 0.0001$ ,  $\alpha = 0.01$ ). Los meses de verano son diferentes significativamente con el resto; mayo y junio son los meses que tienen una diferencia altamente significativa con todos los meses; sin embargo marzo es similar a julio, y agosto es igual a enero (Anexo 5 Tabla 3 y 4). En el año 2003, mayo sigue siendo el mes en el que más transpiración se realiza y diferente con alta significancia con el resto de meses. Junio y julio son similares pero significativamente diferentes a agosto; enero y febrero son similares (Anexo 5 Tabla 5 y 6). En el pino carrasco, en el año 2002 se observó una diferencia altamente significativa entre el resto de meses con una alta variabilidad entre ellos. Los meses de agosto, junio, enero y marzo son similares estadísticamente pero diferentes a julio, mayo y febrero. En el siguiente año, se observa que julio, marzo y junio son diferentes y altamente significativos en comparación a agosto, mayo, enero y febrero ( $p < 0.0001$ ,  $\alpha = 0.01$ ) (Anexo 5 Tabla 7, 8, 9 y 10).

Los valores más bajos de las estaciones se dan en invierno y al finalizar el verano. En invierno existe una transpiración total de  $0.11 \pm 0.03 \text{ L.m}^2.\text{día}^{-1}$  en el pino piñonero y de  $0.15 \pm 0.04 \text{ L.m}^2.\text{día}^{-1}$  en el pino carrasco. En verano se ha observado  $0.20 \pm 0.04 \text{ L.m}^2.\text{día}^{-1}$  en el pino piñonero y  $0.10 \pm 0.01 \text{ L.m}^2.\text{día}^{-1}$  en el pino carrasco. Los valores más altos de las estaciones se dan en primavera; con una transpiración total de  $0.57 \pm 0.02 \text{ L.m}^2.\text{día}^{-1}$  en el pino piñonero y de  $0.34 \pm 0.01 \text{ L.m}^2.\text{día}^{-1}$  en el pino carrasco.

Entre ambos periodos existen etapas de transición con un crecimiento continuo de la transpiración en primavera y una disminución pronunciada en julio a agosto.

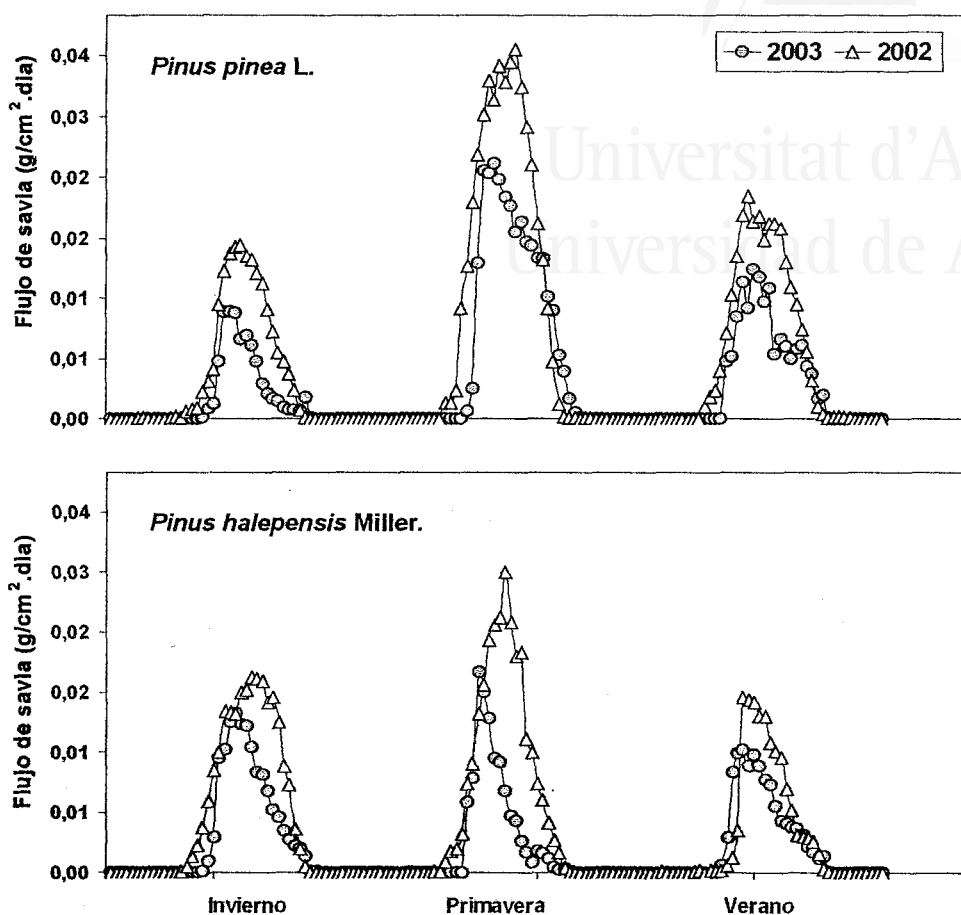
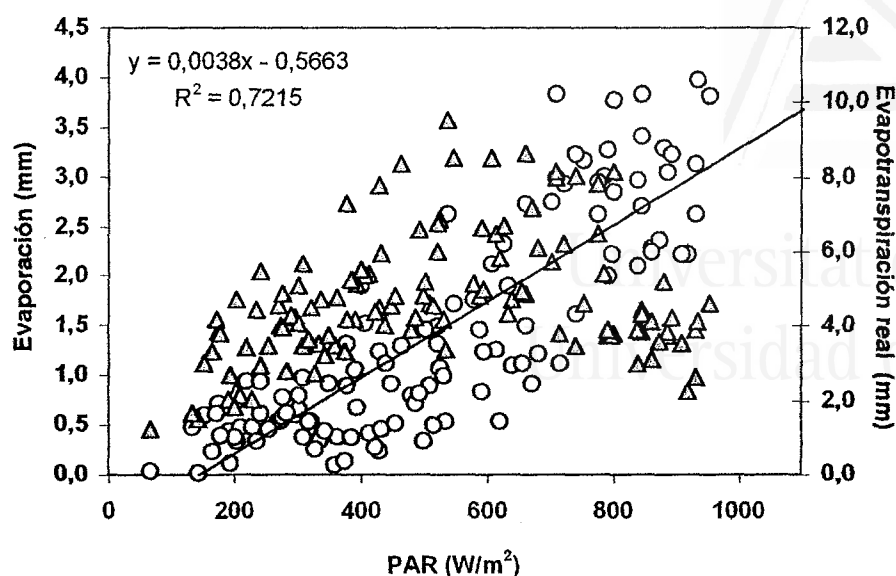


Figura 42. Promedio de la variación estacional de flujo de savia en árboles de pino en el enmallado de Guardamar del Segura durante el periodo de investigación.

### **Relación de la transpiración con las variables climatológicas**

La Fig. 43 representa los datos obtenidos de evaporación ( $E_v$ ), evapotranspiración real (ETR) y radiación fotosintéticamente activa (PAR) de los DOY 14 al 219 del 2003 en la parcela de experimentación de Guardamar del Segura. El valor de ETR se ha calculado a partir de los datos de evaporación del suelo ( $E_v$ ) y la transpiración obtenida con el medidor de flujo de savia (T). ETR es la suma de  $E_v$  y T.

*Balance de aguas en el pinar*

**Figura 43.** Radiación fotosintéticamente activa (PAR), evaporación (Ev) (O) y evapotranspiración real (ETR) (▲) y de los días de medición en el enmallado de Guardamar del Segura durante el periodo de investigación 2002-2003.

Se observa que existe una marcada correlación de la ETR con el PAR que es menor a los 800 a los  $W/m^2$ . El máximo pico alcanzado por el PAR y la ETP se da en verano de los dos periodos (2002 y 2003). En cambio para la ETR, existen dos máximos picos que son en primavera y entre otoño y primavera, esta última menor que la anterior.

Sin embargo la razón ETR y ETP muestra valores incluso mayores a uno, lo que significa que ha existido periodos en donde ha habido suficiente cantidad de agua para realizar la transpiración. Los valores menores extremos de transpiración se han dado en el periodo de mayor incidencia solar en julio y agosto del los dos años (2002 y 2003). Sin embargo los valores acumulados más bajos se han registrado en el último periodo.

No se ha notado una relación directa de la ETP con la ETR ( $R^2=0.1326$ ;  $p>0.0056$ ). Se asume que esta diferencia se ha debido a la presencia de agua en el perfil del suelo, o a la disponibilidad de la planta para alcanzar el agua freática, ya que existió una alta correlación entre la evaporación y el PAR ( $R^2=0.7215$ ;  $p<0.001$ ).

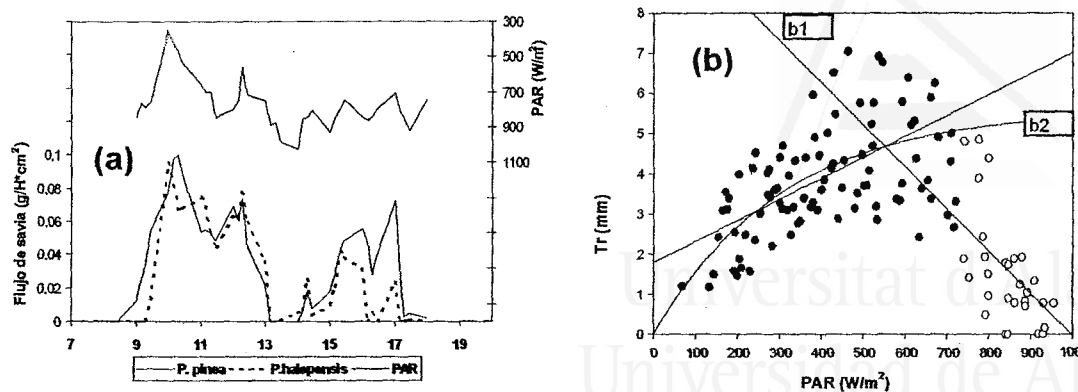


Figura 44. (a) Transpiración puntual de la superficie de un ramillo de acícula y radiación fotosintéticamente activa (PAR) en un día de verano de alta radiación. (b) Respuesta de la transpiración a la incidencia solar con radiaciones (b1) menores a 700 W/m<sup>2</sup> y (b2) mayores a 800 W/m<sup>2</sup> aproximadamente.

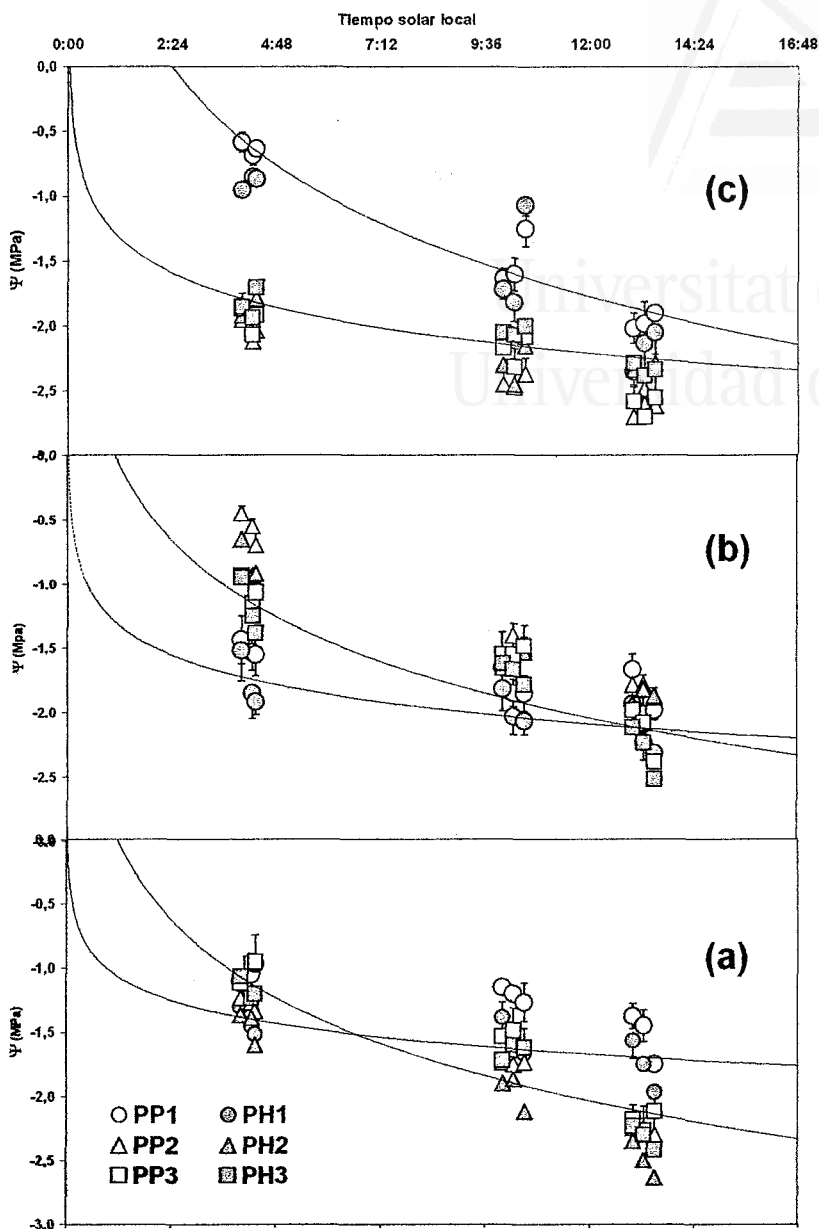
En verano las relaciones de las condiciones medioambientales (por ejemplo del PAR) han influido en el flujo de savia (Fig. 44a y 44b). En radiaciones de alta intensidad los índices de transpiración también han caído (Fig. 44a). Esto se ha observado en ambas especies. Los que nos hizo asumir que existe un punto de inflexión entre las condiciones de aumento de luz (a su vez de intensidad de radiación) y el flujo de savia por la planta, constituyendo una estrategia de tolerancia a la sequía o la falta de agua por parte de ambas especies, bajando sus índices de transpiración hasta cerrar sus estomas (Fig. 44b).

#### Potencial hídrico ( $\Psi$ )

Se ha medido el potencial hídrico de la planta ( $\Psi$ ), representado en la Fig. 45, siguiendo el método desarrollado por Scholander *et al.* (1965). La evolución del  $\Psi$  tuvo diferencias altamente significativas entre las diferentes respuestas hídricas de la planta. Se ha tomado datos del potencial de la acícula en tres periodos estacionales: invierno, primavera y verano, cada una en tres ocasiones: al amanecer (04:30), a las 10:00, y finalmente al medio día solar (13:00). Realizando el test de diferencias de medias significativas al 5%, encontramos que existe diferencias significativas entre el periodo de primavera e invierno para ambas especies en estudio (*P. pinea* L., y *P. halepensis* Miller).

Se ha encontrado diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ;  $p>0.0318$ ) entre primavera e invierno tanto en el pino piñonero y el pino carrasco; pero también se ha encontrado diferencias altamente significativas ( $\alpha=0.05$ ;  $p<0.001$ ) entre invierno y primavera, e invierno y verano (Fig. 45).

En todos los periodos se ha encontrado una diferencia significativa de los potenciales al amanecer con los obtenidos al medio día.

*Balance de aguas en el pinar*

**Figura 45.** Potencial de agua de las acículas en *P. halepensis* Miller (PH) y *P. pinea* L. (PP) tomados los días de medición en el enmallado de Guardamar del Segura durante el periodo de investigación 2001-2003. **(a)** 1= 07-feb-02, 2=01-may-02, 3=26-jun-02; **(b)** 1= 21-dic-02, 2=24-dic-02, 3=06-feb-03; **(c)** 1= 30-may-03, 2=18-ago-03, 3=19-ago-03.

Los valores más altos (menos negativos) de  $\Psi$  se han encontrado en primavera, y los más bajos (más negativos) en verano, aunque los periodos de invierno y otoño han sido periodos de transición los cuales se han diferenciado según las condiciones del medio.

Así mismo se ha visto que el  $\Psi$  al amanecer es siempre mayor en comparación al del medio día. Los potenciales reflejan si la planta ha accedido al agua, por tanto inclusive en potenciales bajos, las dos especies realizan actividad fisiológica. Esto se puede observar bajo dos patrones muy claros.



Durante el día (Fig. 46a), los potenciales al amanecer muestran valores altos y los flujos de savia, prácticamente nulos. A medida que pasa el día, a las 12:00, los flujos de savia han subido, los  $\Psi$  han bajado más (son más negativos, o que se imprime más presión para que la planta acceda el agua). Este patrón se diferencia en los diferentes tamaños de árboles. Si sólo se ven los símbolos (redondos contra triángulos) de la Fig. 46a, se notará que el pino carrasco está con mayor estrés de agua que el pino piñonero, tanto en los árboles pequeños como en los grandes. Si observamos los colores (grises), observamos los diámetros, se observa una tendencia dispar entre las dos especies, donde el pino carrasco es el que más estrés de agua ha sufrido durante el día.

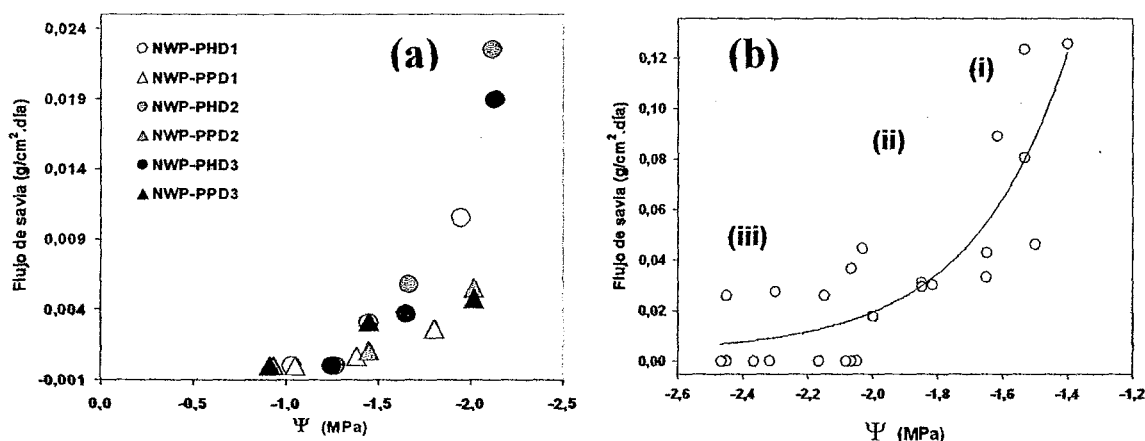


Figura 46. (a) Patrón diario del flujo de savia y el potencial de agua en la acícula (NWP) tomado el 07-feb-03. Las medidas corresponden a *P. halepensis* Miller (PH) y *P. pinea* L. (PP) en tres tamaños de árboles (D1 de clase diamétrica mayor, D2 de clase diamétrica media y D3 de clase diamétrica mayor). (b) Patrón estacional de la relación flujo de savia y NWP tomados en (i) 01-may, (ii) 06-feb y (iii) 18-ago-2003.

Durante la estación (Fig. 46b); en el cual se puede observar que la respuesta al estrés hídrico es asintótica. Ya que se observa que el flujo de savia se reducirá a medida que el  $\Psi$  vaya decreciendo (un valor más negativo). El flujo de savia aumentará a medida que el  $\Psi$  se reduzca.

Los valores de  $\Psi$  encontrados en la parcela vallada son menos negativos que los encontrados por otros investigadores, que midiendo este parámetro en plántulas repobladas de *P. halepensis* Miller en este mismo pinar, situados más cerca de la costa, han encontrado valores de hasta  $-5\text{MPa}$  al medio día en verano (comunicación personal). La razón radicaría en la posición de la parcela vallada y la disponibilidad hídrica de sus suelos, ya que se encuentra en una depresión dunar con suelos de densidad aparente menor a la de las arenas ( $1.30\text{ g/cm}^3$ ).

*Balance de aguas en el pinar***3.4.6. Balance general**

Utilizando la relación (5) mencionado en el *Capítulo de Introducción*, se ha realizado el balance hidrológico del pinar de Guardamar, separando los datos en dos años hidrológicos, que va desde octubre del 2001 septiembre del 2002, y de octubre del 2002 hasta septiembre del 2003.

**Tabla 25.** Resumen mensual de los valores de cada una de las variables implicadas en el balance hidrológico del pinar de Guardamar del Segura. Precipitación total (P), precipitación efectiva ( $P_e$ ), rocío (R), almacenamiento de agua en el perfil del suelo (S), transpiración (T) y evaporación (Ev).

MES	P (mm)	$P_e$ (mm)	R (mm)	$S_i$ (mm)	$S_f$ (mm)	$\Delta S$ (mm)	Ev (mm)	T (mm)
nov-01	64.0	54.0	1.0	18.9	14.3	-4.6	3.9	11.7
dic-01	111.0	87.9	0.0	14.3	13.8	-0.5	4.3	23.8
ene-02	7.0	5.1	3.6	13.8	9.5	-22.9	4.6	32.0
feb-02	0.0	0.0	4.0	9.5	6.3	-3.2	6.5	32.6
mar-02	29.0	23.0	3.1	6.3	8.6	2.3	7.8	61.2
abr-02	83.0	68.7	3.3	8.6	15.0	6.4	11.2	58.0
may-02	54.8	45.9	0.9	15.0	8.9	-6.1	12.9	26.0
jun-02	4.5	3.5	1.0	8.9	3.9	-5.0	17.7	10.5
jul-02	11.0	8.4	1.5	3.9	8.3	4.4	16.0	5.0
ago-02	22.5	17.8	0.9	8.3	6.6	-1.7	15.1	1.8
sep-02	0.0	0.0	2.6	6.6	5.1	-1.5	14.7	3.4
<b>Año 2001-2002</b>	<b>386.8</b>	<b>314.3</b>	<b>21.9</b>			<b>-13.8</b>	<b>114.8</b>	<b>266.1</b>
oct-02	7.5	5.3	0.0	5.1	4.6	-0.5	6.6	5.2
nov-02	17.0	10.6	0.0	4.6	11.4	6.7	9.3	16.5
dic-02	12.5	9.8	2.4	11.4	8.9	-2.5	6.8	33.3
ene-03	32.9	26.1	0.0	8.9	11.1	2.2	2.5	15.4
feb-03	11.9	6.8	1.3	11.1	5.2	-5.9	2.2	7.3
mar-03	0.0	0.0	0.0	5.2	6.1	0.9	1.4	6.3
abr-03	31.5	26.9	0.8	6.1	12.6	6.5	4.3	10.2
may-03	72.3	58.7	0.0	12.6	6.1	-6.5	3.2	7.3
jun-03	0.0	0.0	0.0	6.1	3.5	-2.6	2.3	4.4
jul-03	0.0	0.0	4.0	3.5	1.7	-1.8	9.2	14.6
ago-03	0.0	0.0	3.5	1.7	2.5	0.7	7.6	8.7
<b>Año 2002-2003</b>	<b>185.5</b>	<b>144.2</b>	<b>12.0</b>			<b>-2.6</b>	<b>55.3</b>	<b>129.2</b>
<b>Medio anual</b>	<b>286.1</b>	<b>229.3</b>	<b>17.0</b>			<b>-8.2</b>	<b>85.0</b>	<b>197.7</b>

La tabla 25 muestra el balance general de los dos periodos estudiados. La información inexistente se ha estimado en base a los tomados en el trabajo de campo. Esta tabla nos muestra las sumatorias de las variables que intervienen en el balance.

La precipitación efectiva ha representado un 81.2% respecto de la precipitación total en el primer año hidrológico, 77.7% en el segundo y 84.1% de media de los dos periodos. Para el rocío, el año 2001-2002 ha supuesto el 5.6% de las entradas, el año 2002-2003 el 6.5% y el valor medio el 5.9%. La transpiración ha supuesto 69.8%, 70.0% y 69.9% del total de pérdidas el primero, el segundo año hidrológico y el medio respectivamente (tabla 26).

**Tabla 26.** Resumen anual de los valores de cada una de las variables implicadas en el balance hidrológico del pinar de Guardamar del Segura. Precipitación total (P), precipitación efectiva ( $P_e$ ), rocío (R), almacenamiento de agua en el perfil del suelo (S), transpiración (T), evaporación (Ev).

Año hidrológico	P (mm)	$P_e$ (mm)	R (mm)	$\Delta S$ (mm)	Ev (mm)	T (mm)
Año 2001-2002	386.8	314.3	21.9	-13.8	114.8	266.1
Año 2002-2003	185.5	144.2	12.0	-2.6	55.3	129.2
Medio anual	286.1	229.3	17.0	-8.2	85.0	197.7

Comparando los periodos estudiados se ha visto que el primer año ha tenido mayores aportaciones de precipitación, y el segundo prácticamente ha bajado casi a la mitad de éste (32% sobre el total de aportes), mostrándonos una clara diferencia entre los dos años hidrológicos.

### **3.5. Discusión**

#### *3.5.1. Precipitación*

El régimen de precipitaciones de Guardamar del Segura ha sido diferente en los dos periodos hidrológicos. Asumimos que la variación observada se ha debido principalmente al carácter inherente de oscilación de precipitaciones entre años que se registra anualmente en la zona (Pérez-Cueva, 1994), aunque la evolución de las precipitaciones totales anuales no tiene porque ocurrir de la forma que la de los valores diarios, mensuales o estacionales (De Luis *et al.*, 2003).

El volumen total de precipitación de Guardamar del Segura sin embargo ha estado dentro de los rangos obtenidos en los años anteriores, y coincidido con las observaciones del Servicio Meteorológico Nacional (Martín, 1984), que tiene un promedio de pluviosidad anual de  $291.25 \pm 14.2$ , en comparación a los  $248.7 \pm 7.3$  del 2002, el cual corresponde a un 85% del total de la precipitación del lugar.

Martín (1984) señala que sólo los climas semiáridos y sub-húmedos pueden ser considerados como verdaderamente mediterráneos, ya que los climas áridos y húmedos representan condiciones transicionales que serían definidos como climas sub-mediterráneos, por lo cual consideramos que los periodos de investigación fueron particulares. De la misma forma, Clavero (1994) indica que esta zona pertenece a un clima del sector litoral meridional, que es el sector más árido de la Comunidad Valenciana, altas temperaturas y escasas precipitaciones van a formar parte de la parte árida del sur peninsular. El mismo autor indica que la explicación de la marcada diferencia pluviométrica se ha de encontrar en la posición en la que se halla este ecosistema, a sotavento, tanto para los vientos que vienen del W, como de los flujos mediterráneos del NE. En consecuencia a través del análisis de lluvias y los resultados climatológicos, la zona de estudio pertenece a un clima semiárido.

#### *3.5.2. Rocío y capilaridad*

##### **Rocío**

La ocurrencia del rocío en condiciones naturales es una función de las condiciones meteorológicas y las propiedades del medio en el cual se produce. La formación de rocío requiere de un gradiente de presión de vapor, desde la atmósfera hacia la superficie donde existirá condensación. Esta directamente relacionado con la humedad relativa, la temperatura, los regímenes de viento, y las características de la superficie de condensación (Li, 2002). Debido a que las condiciones meteorológicas están en parte condicionadas por la superficie de condensación, el efecto de la conductividad termal de sustrato y la reacción del aire, temperatura y humedad, éstas son muy importantes al momento de formarse el rocío. Se ha

encontrado que la temperatura de la superficie puede tener un gran efecto en la cantidad de rocío formado (Kidron, *et al.*, 2000).

En medio ambientes áridos, la disponibilidad de agua gobierna las estrategias de supervivencia de las plantas (Jacobs, *et al.*, 1999). Por tanto la presencia del rocío (en los episodios de bajas precipitaciones) puede servir como una importante fuente de humedad para plantas (Evenari *et al.*, 1982). Así mismo, el rocío puede tener una esencial participación en los procesos de estabilización en dunas (Danin *et al.*, 1989) a través de la formación de capas de algas (Hu, *et al.*, 2002), líquenes y delgados mantos de "crusts", que Subramaniam y Kesava (1983), han comentado para las dunas en el desierto de Rajasthan en la India.

Realizando la comparación del rocío con la temperatura al nivel del suelo se ha visto que existe una correlación altamente significativa ( $R^2=0.79$ ;  $p<0.001$ ). Este comportamiento nos indica que temperaturas bajas, también baja la presión de vapor en el aire, generando la condensación. Hecho confirmado por la presencia de rocío mayoritariamente en las horas antes de la aparición de los rayos solares, entre las 4:00 y 5:00 de la mañana, horas en que la humedad relativa ha estado entre 85-100% ( $88.05\pm 26.09$ ).

Li (2002) ha reportado que la temperatura del suelo arenoso tiende a ser más baja durante las mañanas pero más altas en las tardes. Esto nos indica que las bajas temperaturas facilitan la condensación del vapor, y debido a que en la arena el punto de rocío se producen temprano, existe mayor probabilidad de la formación de altas concentraciones de rocío. El mismo autor concluyó que el índice de ocurrencia de rocío tiende a decrecer si se incrementan los tamaños de las partículas de las arenas (en un ambiente árido de 127 mm de precipitación anual).

En ambientes de mayor aridez que el del Pinar de Guardamar, se han medido valores de rocío menores a 0.05 mm/mes (Li, 2002) (en suelos con arenas menores a 0.1 mm de diámetro); Bandre y Batta (1998) con valores de 400 mm de precipitación, nos han sugerido que a una mayor probabilidad de ocurrencia de lluvias existe una mayor fuente de humedad en el suelo para una ocurrencia fuerte del rocío.

### **Capilaridad**

Los valores encontrados han sido significativos en relación al total de agua entrante al sistema. De hecho, se ha visto en el primer año hidrológico ésta entrada sobrepasa los 20%, en comparación a los 68% de la precipitación y del 5% del rocío. Hecho que nos parece muy importante al momento de realizar el balance general de entradas y salidas de agua.

De la misma manera, se ha visto una correlación lineal entre la transpiración y la cantidad de agua estimada que entra a través del proceso de capilaridad ( $R^2=0.3117$ ;  $p<0.1372$ ). De hecho se ha visto que bajo esta dependencia, la capilaridad aumentará en 0.54 veces por cada mm de transpiración.

### *Balace de aguas en el pinar*

---

Se estimado en el pinar que el ascenso capilar es más evidente a partir de profundidades mayores a 50 cm y mayores a 1 m desde el nivel freático hacia el perfil del suelo. Uno de los procesos vinculados con la capilaridad sería el agua que sube a través de las raíces profundas, proceso llamado ascenso hidráulico en raíces. Según Schulze, *et al.* (1998) este proceso parece ser el responsable de la presencia de raíces profundas en ecosistemas con limitación de agua, y la importancia de esta característica en este medio ambiente es obvia. Sin embargo, los mismo autores sostienen que las raíces necesitan encontrar el agua en el perfil del suelo, lo cual llevaría a un proceso inverso de el ascenso hidráulico.

#### **Percolación**

Los valores de percolación fueron nulos en períodos de precipitaciones menores a 40 mm. Sin embargo, en periodos continuos de precipitación, la percolación se observa incluso en precipitaciones menores a 35 mm.

Debido a que en suelos arenosos, la capacidad de movimiento lateral del agua es limitada, la pérdida de agua por percolación se ha debido a dos formas identificadas en el comportamiento del almacenamiento de agua en el perfil del suelo. La primera, cuando no existen cambios de la humedad debajo de la zona radical, y segunda, cuando se manifiesta un cambio de la humedad (aumento de humedad) debajo de dicha zona. La suma de ambas formas de pérdidas constituye las pérdidas totales por percolación profunda (Ortíz, *et al.*, 1999). Según estos mismos autores, en suelos arenosos, de conductividad hidráulica relativamente alto, las pérdidas en la primera mencionada forma, superan a las que ocurren de acuerdo a la segunda forma.

De la misma forma, se ha visto que las condiciones de humedad inicial y la intensidad de lluvias son las variables que mayor influencia tiene sobre las pérdidas por la primera citada razón, ya que cuando aumenta la intensidad de precipitación, la región por debajo de la zona radicular incrementa bruscamente su contenido de humedad. En condiciones de precipitaciones muy bajas y humedades iniciales relativamente altas en suelos arenosos, las pérdidas pueden alcanzar teóricamente hasta 70% de las precipitaciones en suelos arenosos (Ortíz, *et al.*, 1999).

#### **3.5.3. Dinámica de agua en la vegetación**

La dinámica de aguas en la vegetación está muy correlacionado con las características climatológicas de la zona de estudio, esto es la intensidad de precipitación velocidad del viento, así como la humedad del aire. De esta forma se aprecia que los regímenes de precipitación juegan un papel influyente en la dinámica de aguas de la vegetación, y en consecuencia, en la disponibilidad efectiva del agua lluvia, que la planta necesita para realizar procesos como la

transpiración y la fotosíntesis, que definen la producción y quedan reflejados en los anillos del árbol (Raventós, *et al.*, 2001).

**a) Errores intrínsecos de muestreo y su efecto en el estudio de la dinámica de aguas:** En primera instancia se ha observado el alto valor de las desviaciones estándares en los resultados de trascolación ( $Tr = 9.2 \pm 10.5$  en promedio general,  $8.8 \pm 10.1$  para *P. pinea* L. y  $9.5 \pm 10.8$  mm para *P. halepensis* Miller) y concluimos que los valores de esta variable tienen una dificultad intrínseca en su medición. Estas pueden deberse a varios factores como la estructura de la copa del árbol, fuentes de error vinculadas a los factores externos como la velocidad del viento como los encontrados por Belmonte y Romero (1999) y que lo denominan "efecto de borde". Debido a esto se ha procurado mejorar el diseño o ubicación de los pluviómetros debajo de la copa de los árboles que puede reducir el error en el muestreo tal como lo recomienda Chen *et al.* (1995) siguiendo la metodología de Lloyd *et al.* (1988), aunque inclusive con estas correcciones se corre el riesgo de continuar en errores como los que encontró Kimmins (1973), el cual observó que para reducir el error de muestreo a un rango de 20% a 5% se necesitaban demasiados pluviómetros (medidores de lluvia en todo el rango de influencia de la copa del árbol). Adicionalmente a esta precaución, algunos autores sugieren también realizar medidas de área de precipitación, esto es, colocando láminas de plástico, baldes de plástico (u otros recipientes de área conocida) en combinación con los pluviómetros para obtener una integración de las medidas (Kimmins, 1973). Estos métodos corrigen el promedio espacialmente, pero la adhesión de agua de lluvia a las superficies de estos instrumentos, combinados con posibles obstáculos de la colección de agua durante el evento de lluvia puede ser una gran e impredecible fuente de error (Teklehaimanot *et al.*, 1991). Incluso, el método de medición de áreas de precipitación solo puede cubrir un área limitada en comparación al área de la proyección de la copa del árbol que debería cubrirse, de tal forma que los errores de la medición permanecen. El error de muestreo dentro de nuestro sistema ha oscilado entre los 12 y 18%, valores dentro de los rangos que los anteriores autores han encontrado. Este error lo hemos atribuido principalmente la velocidad del viento y la estructura de la copa del árbol.

### **Trascolación**

La trascolación depende en principio de la intensidad de precipitación, que a su vez se sujeta en otros factores como la velocidad del viento y la humedad del aire (Dowell *et al.* 1996). Sin embargo este proceso está muy relacionado con la densidad de follaje que la copa del árbol ostenta. Con precipitaciones de menor volumen y poco intensas, las gotas de agua se retienen más tiempo, y por tanto el proceso de escurrimiento tarda en ocurrir.

En nuestro estudio, se ha visto que en árboles pequeños (de diámetro altura pecho menores a 13 cm) y de poco follaje (LAI menores a 2), este flujo, empieza a producirse con volúmenes

*Balance de aguas en el pinar*

---

mayores a 2 mm, sin embargo en promedio (incluyendo las tres clases diamétricas estudiadas) este flujo se inicia con 3.5 mm para ambas especies.

Por estaciones del año y en las dos especies estudiadas se ha observado que la mayor trascolación en el pino piñonero de diámetro pequeño ha sido en primavera e invierno en comparación a los de diámetro grande, que, bajo el mismo régimen de lluvias los valores de trascolación han estado alrededor del 67% respecto del total precipitado. En el pino carrasco, este comportamiento se ha diferenciado de la anterior, ya que con precipitaciones bajas (mayores a 2 mm) y en árboles de diámetro menor ya existe trascolación significativa, aunque éstos últimos se estabilizan prácticamente después de haber trascolado el 60% de la precipitación ocurrente, y los de diámetro mayor, se estabilizan a los 78%.

Asumimos que la mayor trascolación encontrada en el pino carrasco respecto del pino piñonero ha sido debido tanto a las características estructurales de la copa del árbol como a la morfología de sus ramas. La estructura de copa más abierta de la primera especie ha sido un factor preponderante para el paso de las gotas de agua, ya que en la segunda especie, la copa normalmente tiene forma cónica y por lo tanto mayor capacidad de almacenamiento de agua. Por otro lado, resultados anteriores a este estudio nos mostró que el LAI del pino piñonero es mayor (1.69) a la del pino carrasco (1.52) lo que coadyuvaría en esta diferencia (García, 2003). Así mismo, esto viene corroborado por los resultados de interceptación; en el pino piñonero ha sido mayor que en el pino carrasco, prácticamente en 5%.

El proceso de trascolación ha sido variable con precipitaciones de bajo volumen. Así, en 2 mm, después de tiempos de sequedad, es decir, en otoño, el pino piñonero (35% de trascolación) ha trascolado menos que el pino carrasco (52% de trascolación); sin embargo en periodos de lluvia como la primavera, se ha observado mayor trascolación. Así el pino piñonero ha trascolado hasta 77% en comparación al pino carrasco, en la cual encontramos hasta un 65% de agua trascolada. Este fenómeno se ha debido principalmente a dos factores: la cantidad de precipitación y la sequedad de los troncos y ramas de ambas especies. Ya que para obtener esa gran cantidad de agua trascolada, se ha necesitado como 29 mm de lluvia y los bajos valores han sido anticipados por lluvias de hasta 4 mm. Estos datos coinciden con las de Zamoch *et al.* (2002) trabajando con árboles jóvenes (área basal de 2.92 m<sup>2</sup>/Ha) de *Pinus taeda* el cual concluye que una trascolación aceptable y constante se produce en precipitaciones mayores a 25 mm. Secundando esta idea, están los valores de interceptación (Int) encontrados. Para el primer caso, los valores de interceptación han sido similares en *P. halepensis* Miller (30%) con respecto a *P. pinea* L. (33%); esto en primavera. En otoño en cambio, se ha visto que la interceptación ha sido más alto con respecto a la anterior estación. Por ejemplo, en el pino piñonero se ha encontrado hasta un 63% y en el pino carrasco hasta un 46%. Esto nos dice claramente que la estacionalidad de las lluvias (relacionado con la intensidad de éstas) es importante para una precipitación efectiva.



Por el otro lado, las precipitaciones mayores a 50 mm han tenido dos respuestas claras. En el pino piñonero no ha superado los 69% en comparación a 77% del pino carrasco. Con estos mismos volúmenes de precipitación, en la primera especie, los que más trascolación tuvieron fueron los árboles de diámetro menor, hasta con un 78% en relación a los de diámetro mayor que trascolaron hasta 68%. En árboles de pino carrasco, los de diámetro mayor han tenido mayores trascolaciones (de un 82% en comparación a un 78%) en comparación a los de diámetro menor.

Los volúmenes de trascolación encontrados para *Pinus pinea* L., y *Pinus halepensis* Miller, han estado alrededor de valores encontrados por otros autores como Calvo de Anta y Gómez (2002), Iroume y Huber (2002), Huber e Iroume (2001). Estos valores han variado desde los 63 al 82%, en precipitaciones que han variado desde 500 a los 1300 mm.

### **Escorrentía cortical**

La escorrentía cortical es un proceso hidrológico que a menudo tiene muy poca contribución al ciclo hidrológico (Eamus, 2001). La dificultad para su estudio radica básicamente en la determinación del área específica de escorrentía cortical.

La escorrentía cortical esta influenciada por la estructura de la copa del árbol, normalmente por la disposición de las ramas; una copa de árbol grande y ramas positivamente inclinadas (ramas en posición diagonal hacia arriba) recolectara y distribuirá mejor el agua hacia las ramas más gruesas y el tronco, en comparación a los árboles que tengan ramas en posición horizontal y negativamente inclinadas (diagonales y apuntando hacia abajo). Esta condición ha facilitado el mejor escurrimiento cortical en el pino piñonero, aunque los valores más altos se han encontrado en el pino carrasco (Fig. 29). Adicionalmente, la textura de la corteza puede actuar como una "esponja", absorbiendo y después liberando o evaporando grandes cantidades de agua. Este proceso puede retrasar el tiempo que se necesita para que el agua escurra y llegue al suelo. Por otro lado, el escurrimiento puede acelerarse en ramas ya mojadas sobre todo en texturas menos rugosas; texturas más rugosas pueden contribuir al proceso de trascolación, debido a que el agua de escorrentía puede encontrar un camino para caer directamente al suelo. El factor viento puede también afectar este proceso ya que afectaría el tiempo de escurrimiento durante un evento de precipitación. Con la influencia de este factor medioambiental, las gotas pueden cambiar de curso, y no llegar directamente al suelo, sino entrar en la circulación del agua de escurrimiento, en ramas más inferiores, influyendo por tanto, en los volúmenes finales de la escorrentía cortical (Xiao *et al.*, 2000). Este proceso se observa mayormente en plantaciones de poca densidad (Gash *et al.*, 1995), como en el Pinar de Guardamar del Segura, donde se pueden encontrar espacios especialmente en las crestas dunares, y donde el crecimiento de los árboles no ha tenido mucho éxito.

Balance de aguas en el pinar

**a) Índices de canalización:** Para observar con mayor claridad la influencia de la escorrentía cortical, utilizamos el índice de canalización, que en general difiere entre eventos de precipitación, por tanto, iguales eventos de precipitación no produce el mismo efecto en la escorrentía cortical (Levia, 2004). Esta diferencia puede estar dada por efectos secundarios que ocurren entre eventos como la velocidad del viento, intensidad de la precipitación, en última instancia es la causante del escurrimiento fustal; una precipitación prolongada, aún en intensidades pequeñas puede incrementar el tiempo de contacto del agua con la superficie de la corteza del árbol, resultando en la saturación de ésta y en consecuencia produciéndose la escorrentía cortical (Levia y Herwitz, 2000); esto afecta al final significativamente en la producción del pinar diferenciando la humedad del suelo debajo de la copa de los árboles con el suelo que no tiene cobertura vegetal. Así mismo, se ha visto que influye en la recarga misma del agua freática, la composición química de la solución suelo, el ciclo de nutrientes (Levia y Herwitz, 2000; Bellot y Escarré, 1989; Eaton, 1973).

Por otro lado la arquitectura del árbol ha influido en la escorrentía cortical así como en el FR. Como se señalo arriba, árboles con ramas plagiotrópicos (crecimiento más o menos horizontal, propio de las ramas laterales bajo dominancia apical) tienen las ramas más esparcidas en comparación a los ortotrópicos (crecimiento vertical de las ramas que no están sujetas a ninguna influencia externa) que tienen sus ramas más perpendiculares. Los índices de canalización decrecen con el tamaño y posición de la copa del árbol (Fig. 30). Los árboles más pequeños canalizan proporcionalmente más agua hacia el suelo en comparación a los árboles más grandes. Se asume que ha ocurrido esto ya que los árboles más pequeños han llenado sus poros más rápidamente que los árboles más grandes, en especial en lluvias de bastante intensidad. Contrastando este aspecto, en precipitaciones de baja intensidad, los árboles más grandes han tenido mayor oportunidad de evaporar el agua que llegó a su copa, por eso canalizaron muy poco o nada (Chuyong, *et al.*, 2004).

Los valores encontrados de escorrentía cortical sugieren que la estructura del árbol juega un papel muy importante en el volumen final. Otros autores como Crockford y Richardson (1990) a encontrado que los troncos en comparación a las ramas y ramillos son más eficientes recolectores de agua de lluvia; los valores de índices de canalización encontrados nos confirman esta respuesta. Según la tabla 16, vemos que los mayores valores de índices de canalización siempre están en aquellos árboles de menor tamaño, en ambas especies, mostrándonos que la cantidad de ramas o la misma disposición estructural de éstas en la copa del árbol no ha sido influyente, ya que en el caso de la comparación de árboles de diámetro menor con los de mayor diámetro, se espera que estas últimas contengan mayor cantidad de ramas, por tanto, mejor tasa de canalización. En el caso de las primeras, se espera que el mejor canalizador del agua sea el tronco, ya que las ramas al tener menor superficie específica, no tendrán oportunidad de realizar este proceso eficientemente especialmente en

precipitaciones mayores a 3.5 mm, después del cual formarán parte del proceso de trascolación, dejando caer las gotas de agua, antes de llegar al tronco y luego al suelo.

Al margen de los volúmenes de Ec, éstas difieren bastante unos de otros en relación a los eventos de lluvias. Se ha visto que este proceso está relacionado a la pérdida de agua por evaporación. Para pequeños eventos de lluvia, mucha agua que no entra en el proceso de la escorrentía cortical es evaporada hacia la atmósfera, lo cual se ha observado más evidente en copas de árboles de mayor tamaño, por su alta capacidad de almacenamiento de agua en su estructura, consecuentemente, el proceso de la escorrentía cortical y el escurrimiento (que forma parte del proceso de trascolación) dentro de la copa del árbol fueron limitados. Estos eventos de precipitación de menor proporción, conducen a índices muy bajos de Ec. Sin embargo, en precipitaciones de altas proporciones, las copas de árboles pueden detener muy poca agua en su estructura, consecuentemente, al margen de elevar el índice de Ec, rebaja la pérdida de agua por efecto de la evaporación (Xiao, *et al.*, 2000). Los patrones del índice de interceptación/lluvia en relación a la precipitación total fueron similares a los encontrados por Llorens *et al.* (1997), que trabajó con *Pinus sylvestris*, el cual muestra que a mayores proporciones de precipitación este índice es menor.

#### **Precipitación efectiva**

La estructura del árbol influyó en la cantidad de precipitación que finalmente llegó al suelo. Hemos encontrado que en *P. pinea* L. de diámetro menor existe hasta un 88% de precipitación efectiva en otoño e invierno; en *P. halepensis* Miller la precipitación efectiva ocurrida en primavera fue de 90%. En árboles de diámetro mayor existe hasta un 83% (pino piñonero) de precipitación efectiva ocurrida en primavera, y un 89% (pino carrasco) de precipitación efectiva ocurrida en verano. Lo que nos indica que la estructura de la copa del árbol juega un papel importante para las precipitaciones efectivas, y varía según la cantidad de precipitación y la radiación existentes (estación del año). Así, para el pino carrasco, en épocas de poca lluvia y alta radiación, existirá, aunque poca, presencia de la precipitación efectiva debajo de sus copas; sin embargo, en el pino piñonero, en las mismas condiciones, habrá mayor probabilidad de evaporación del agua de sus copas, debido a su mayor superficie foliar.

#### **Interceptación**

El efecto de la interceptación es especialmente importante en los árboles, ya que la copa de los árboles se conecta muy fuertemente con la atmósfera, e intercepta y almacena agua de la precipitación (Van Dijk y Bruijnzeel, 2001). Las diferentes medias de interceptación de *P. halepensis* (13.2%) y *P. pinea* (22.12%) muestran también que debajo de la copa de éstos árboles encontraremos diferente precipitación efectiva. El mismo hecho fue encontrado por Cantú y González (2001) para diferentes especies: *Pinus pseudostrobus* (19.2%), *Quercus sp* (13.6%) y una mezcla de ambos (23%). Sin embargo las cantidades de interceptación en

*Balance de aguas en el pinar*

---

general bajan con el incremento de la precipitación como puede observarse en la Fig. 29 y Fig. 1 al 4 del anexo 3, o en los valores de forma porcentual en la Fig. 33. Esto ocurre porque a medida que la precipitación aumenta se incrementa la trascolación así como la escorrentía cortical. El carácter de la curva de la interceptación, muestra en primer término, una pendiente fuerte y negativa, hasta una precipitación de 10 mm y, en segundo término, una pendiente más o menos horizontal.

La cantidad de pérdidas por interceptación media diaria dependen básicamente de la estructura de la copa del árbol, la precipitación anual y los factores meteorológicos (Rutter *et al.*, 1971). En los pinos de Guardamar el efecto de la radiación se ve claramente en tasas de evaporación que superan los 15 mm (verano). En precipitaciones menores a 1.5 mm, en las mismas condiciones de radiación, se produce una alta tasa de interceptación (83.9%).

Los índices de interceptación fueron enormemente afectados por la cobertura vegetal de Guardamar. Aunque los resultados en general fueron bastante altos (interceptación:  $24 \pm 14.10\%$ ), coincide con la de otros autores. Raiche (1983) reportó pérdidas por interceptación en pinos que van desde los 30% a 40% respecto del total de la precipitación; Kenneth (1995) reportó 30% de pérdidas también en pinos. Para pino carrasco, Belmonte *et al.* (1996) encontró en una zona con una precipitación anual de 226.5 mm y una temperatura de 14.5°C, una pérdida por interceptación del 26.7%, valor parecido al encontrado en nuestra investigación de  $23 \pm 18.9\%$  en árboles de diámetros menores (entre 6 y 12.5 cm de diámetro altura pecho) y un  $27 \pm 18.1\%$  en árboles de diámetro mayor (entre 21 y 37 cm de diámetro a la altura del pecho). De la misma forma en comparación a estos últimos diámetros, Cantú y Gonzales (2002) encontraron que para pinos con un diámetro a la altura del pecho de 32.4 cm y situados en un terreno con pendiente del 15%, la pérdida por interceptación fue de 19.2% sobre el total precipitado.

La estructura del árbol también es importante en la cantidad de interceptación. Bajo una misma cantidad de precipitación, en el pino piñonero, por ejemplo, en árboles de diámetro menor (entre 6.5 y 12.5 cm de diámetro a la altura del pecho) existe menor cantidad de agua interceptada en comparación a los de diámetro mayor (entre 21 y 37 cm de diámetro a la altura del pecho). En *Pinus halepensis* Miller, por la estructura irregular de su copa ocurre un diferente comportamiento; en invierno y primavera existe mayor cantidad de agua interceptada en árboles con diámetro mayor en comparación a los de diámetro menor; en verano y otoño, los de diámetro menor son los que interceptan más; esto es, a mayor cantidad de precipitación, mayor será el agua interceptada por los de diámetro mayor o los árboles que tienen copas más voluminosas; en cambio, en épocas de menor precipitación y alta radiación, los árboles de copas pequeñas serán los que tengan mayores cantidades de pérdida por evaporación del agua almacenada en esta estructura. La diferencia de interceptación entre la cobertura vegetal alta y baja es la causa principal de la diferencia de uso de agua en estos ecosistemas,

principalmente porque en los árboles, que interceptan primero el agua, secan más rápidamente el agua y la transpiración empieza más pronto después del evento de lluvia (Klaassen *et al.*, 1996).

### **Importancia del entendimiento de la dinámica de agua en la vegetación**

Un entendimiento de la relación entre las características de la copa del árbol y la interceptación es esencial para comprender mejor los diferentes procesos que pueden ocurrir en determinadas circunstancias como la deforestación (Gash *et al.*, 1980) y los cambios del uso de suelos y la vegetación (Bosch y Hewlett, 1981), ya que las copas de árboles juegan un papel no sólo de protección, sino de facilitación del proceso de producción primaria a las plantas que se desarrollan por debajo de éstas. La diferenciación de la estructura y los procesos hidrológicos en el pino piñonero y el pino carrasco nos ha mostrado una alta correlación entre los componentes de esta variable (trascoloración, escorrentía cortical e interceptación) y las variables de re-estructuración del ecosistema, como la regeneración natural. Estudios recientes nos muestran que el pinar de Guardamar tiene un elevado porcentaje de individuos con un descenso del potencial productivo, lo que se puede atribuir a diferencias en la disponibilidad hídrica y la mayor cercanía del pinar a la costa, lo cual facilita el efecto de la maresía Gras *et al.*, (2000). Observaciones realizadas en las numerosas salidas de campo, nos han mostrado que la regeneración natural del pinar de Guardamar no es evidente, ya que debajo de las copas de árboles se han encontrado un número de variable de plántulas. En árboles del pino carrasco es en donde se ha observado un número mayor de semillas germinadas que en las del pino piñonero. Se ha asumido que éstas diferencias podrían deberse a la cantidad de agua que ulteriormente llega al suelo, y a otros factores medioambientales, importantes para la germinación y posterior supervivencia.

#### **3.5.4. Almacenamiento de agua en el perfil del suelo**

El proceso de retención de la humedad en el perfil del suelo está identificado con las necesidades de humedad de la planta, por lo que periodos de sequía prolongados podrían ser negativos ya que reducirían más rápidamente la humedad del suelo (Martínez-Trinidad, *et al.*, 2002), impidiendo en consecuencia la sobrevivencia y normal desarrollo de las plantas (Ogawa *et al.*, 2003). Estas limitaciones están muy ligadas a las características del suelo.

#### **Granulometría de los suelos**

Uno de las razones por la que se ha encontrado agua permanentemente en el perfil del suelo ha estado relacionado con el contenido granulométrico de este estrato. El alto contenido de arena en nuestro suelo (de 95.1 a 99%) nos confirma el alto porcentaje de porosidad (de 43 a 50%) del mismo y en consecuencia una capacidad de retención de humedad baja (de 5 a 3%), lo que es consistente con el proceso de cohesión, que este tipo de suelos tiene. La cohesión

## *Balance de aguas en el pinar*

---

capilar en suelos no saturados es un mecanismo que se refiere a la fuerza neta entre partículas dentro de su matriz de partículas, debido a los efectos combinados de la presión negativa en el poro y la tensión superficial de la misma. En general los suelos arenosos no saturados que están pasando procesos de sequedad como una evaporación o un drenaje, tienden a retener una cantidad de agua igual en magnitud a la que logra absorber durante el proceso de humedecimiento como la infiltración o ascenso capilar (Likos y Lu, 2002). Lo cual ha sido observado en la totalidad del periodo de investigación a los 100 cm de profundidad.

Los suelos arenosos del pinar de Guardamar del Segura el agua es retenida con una fuerza capilar débil debido a su espacio poroso grande. Los árboles en estas condiciones eventualmente extraen el agua del suelo a un potencial hídrico más negativo. Al mismo tiempo, el rango de disponibilidad de agua de estos suelos es menor, lo que hace que se alcance fácilmente un valor crítico de conductividad hidráulica en la zona de la rizósfera. Como resultado de estas características, las plantas del pinar estarían adaptadas a este rango de potencial hídrico (más negativos que en otros suelos) tal como Hacke *et al.*, (2000) encontraron en suelos arenosos y señalaron la importancia de esta adaptación en supervivencia de las plantas.

Como se ha visto en el balance final, existe una buena cantidad de agua inclusive en periodos de bastante sequedad (verano). La capacidad de estos suelos, de facilitar el proceso capilar puede ser una explicación (Likos y Lu, 2002) pero no el único recurso por el cual las plantas han sobrevivido (i.e. adaptabilidad intrínseca de las especies).

### **Densidad aparente**

La densidad aparente ha sido otra de las causas de la diferente cantidad de agua encontrada en el perfil de suelo en las distintas subparcelas del transecto. Considerando a partir de la costa, las dunas van cambiando su naturaleza; así la playa cuenta con partículas de mayor tamaño y una mayor tasa de infiltración en comparación a las dunas tierras adentro que están más fijadas. Sin embargo en cada perfil, las partículas de menor tamaño se encuentran desde 80 a 100 cm, y ello facilitará la retención la humedad en profundidad.

### **Humedad en el perfil del suelo**

El efecto de la porosidad del suelo sobre el uso del agua ha sido bastante discutido por Bristow *et al.* (1984) y Sperry *et al.* (1998). En promedio, la cantidad de agua encontrada en el sustrato dunar ha estado dentro del rango de disponibilidad de agua para suelos arenosos, de 6 a 11% en contenido volumétrico de agua (Nyvall, 2002; Van der Gulik, 1997; Smajstrla *et al.*, 1997; Rogers, *et al.*, 1996; Haman e Izuno, 1993). Esta cantidad ha sido suficiente para permitir la adaptación de las especies aquí asentadas. En el caso de *P. halepensis* Miller y *P. pinea* L. se advierte su capacidad para reducir el consumo de agua en periodos de baja disponibilidad hídrica, lo cual podría reducir la magnitud de los daños en las plantas y favorecer una

recuperación más rápida una vez que el suelo se recargue de agua (Martínez-Trinidad, *et al.*, 2002).

Los valores de humedad encontrados en el perfil del suelo son importante en la medida que éstos comportan un alto valor respecto del agua retenida o perdida en el sistema, ya que los valores de disponibilidad de agua hacia la planta, siempre han sido menores en la mayoría de los periodos de muestreo. Cabe hacer notar que la cantidad de agua almacenada a partir de los 60 cm no ha variado considerablemente a lo largo del año, lo que contribuye a la supervivencia de las plantas.

#### **Variación temporal del agua de suelo.**

La variación de humedad en el perfil del suelo a lo largo del periodo estudiado se ha diferenciado más en los niveles superficiales que a profundidades mayores a 60 cm y siempre ha habido mayores porcentajes de humedad en periodos lluviosos.

Las variaciones temporales de humedad en el perfil del suelo han estado gobernadas principalmente por su granulometría. Los suelos con mayor cantidad de arena gruesa, presentan menos porcentaje de humedad que aquellos donde dominan las partículas finas, y esto se ha observado mayormente en los niveles más inferiores del perfil del suelo en todos los periodos de medición. En los periodos con eventos de lluvia mayores a 45 mm, se ha encontrado diferencias no solo en la parte superficial sino también a los 100 cm.

En general se han identificado tres periodos en los cuales el suelo se ha recargado efectivamente: uno a finales de diciembre del 2001, a principios de abril del 2002 y a principios de mayo del 2003. Estos datos coinciden con los obtenidos por Franco-Vizcaíno (1994), el cual señala que los periodos de recarga del perfil del suelo ocurren generalmente en periodos de lluvia, estado que necesitan algunas plantas para estimular su establecimiento y supervivencia.

#### **Variación espacial del agua de suelo.**

Los resultados encontrados en la variación espacial de contenido de humedad del suelo, han coincidido con los resultados de autores que han valorado la humedad en diferentes estados de formación de dunas. Franco-Vizcaíno (1994) señala que las diferencias de humedad en el perfil del suelo encontradas entre diferentes sitios es generalmente debida a la variabilidad de la precipitación en tiempo y espacio. Comparando los volúmenes de almacenamiento de agua en el sitio más cercano a la playa, con el más lejano, encontramos que existe un gradiente en relación a su capacidad de retención ya que dunas más fijas han retenido mayor tiempo el agua que las dunas móviles o semifijas. De la misma forma se coincide con Rong *et al.* (2004) que señalan que la estructura de las áreas de dunas móviles permiten una mayor infiltración y una penetración profunda, característica que no permite el movimiento capilar hacia la superficie preservando, en consecuencia, humedad del suelo de la evaporación.

### 3.5.5. Transpiración

Los índices de transpiración obtenidos son consistentes para una zona árida encontrados también por Schiller y Cohen (1995 y 1998), los cuales hallaron que la tasa media de transpiración de *P. halepensis* Miller en ambientes mediterráneos puede llegar hasta  $0.575 \text{ L.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$ .

#### **Patrones diarios y estacionales**

Los patrones de transpiración diaria se han caracterizado por tener respuestas claramente identificables que varían según la especie, ya que el pino carrasco, deja de transpirar en los momentos de máxima insolación y en las tres estaciones estudiadas tiene un comportamiento de transpiración similar (Fig. 41). El pino piñonero, sin embargo, transpira bajo los mismos patrones diarios pero no con la misma intensidad, en las tres estaciones, pues su transpiración es mayor en primavera y, además, es mayor que en *P. halepensis* Miller ( $\alpha=0.01$ ;  $p<0.001$ ). Esta especie presenta transpiraciones menores en verano ( $0.22\pm 0.01 \text{ L.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$ ).

#### **Relación de la transpiración con las variables climatológicas**

De la representación de transpiración en relación a diferentes valores de radiación (menores o mayores de  $700 \text{ W/m}^2$ ) que se presenta en la Fig. 44b, se puede identificar un comportamiento plástico. El fenómeno de plasticidad de consumo de agua ha sido reportado con anterioridad en el género *Pinus* (Wakamiya *et al.*, 1999) en el cual en una población de *Pinus taeda* L., se presentó altas tasas de transpiración cuando el agua fue abundante y la conservó en condiciones de estrés, lo cual sugiere un mecanismo adaptativo para maximizar el crecimiento antes de que se inicie el periodo de sequía. Así mismo, Alía *et al.* (2003) señaló que *P. halepensis* Miller presenta una gran plasticidad fenotípica, en comparación a *P. pinea* L., que presenta una escasa variabilidad, desconociendo el origen de ésta característica.

Zhang *et al.* (1997), trabajando con *Pinus ponderosa*, Dougl., encontró que plantas provenientes de poblaciones con mayor tolerancia al déficit hídrico, fueron generalmente más sensibles a la disponibilidad de agua ya que redujeron en mayor grado su consumo. Consecuentemente estas plantas respondían a la cantidad de agua transpirada de acuerdo a sus condiciones; la transpiración disminuye a medida que aumenta la incidencia solar, puesto que existe mayor sequedad del suelo, aumento de la temperatura y reducción de agua de la superficie del suelo.

Bajo estos resultados se puede asumir que las especies aquí en estudio, principalmente *P. halepensis*, son ahorradoras de agua, tal como lo reportaron Sturm *et al.* (1998) que trabajaron con *Pinus sylvestris*. Estos autores señalaron una reducción de la transpiración en suelos con humedades menores al 16%. De la misma forma Kelliher *et al.* (1993) y Cienciala *et al.* (1998) para pinos y Gucci *et al.* (1991) para arbustos del mediterráneo, han reportado que la



transpiración se reduce fuertemente bajo condiciones limitantes de disponibilidad de agua. Sturm *et al.* (1998) y Schiller y Cohen (1995) han reportado que, *Pinus sylvestris* el primero y *P. halepensis* el segundo, con potenciales hídricos más negativos de  $-1.6$  y  $-1.5$  MPa, respectivamente, ya reducen la transpiración. La reacción de transpiración obtenida, nos muestra la adaptabilidad, de las dos especies objeto de nuestro estudio, a un ecosistema semiárido (Teobaldelli *et al.*, 2004). Más aún, en el año en el que se muestra mayor respuesta es en el 2002, cuando la P no ha llegado a totalizar el promedio de los otros años. Cabría entonces preguntarse si la plasticidad es un mecanismo que permite a las plantas tolerar y compensar los daños como respuesta a la manipulación del hombre, o si este mecanismo ayuda a incrementar la selección natural y como consecuencia la evolución en este tipo de ecosistemas.

No se ha encontrado una correlación significativa entre la evapotranspiración potencial y evapotranspiración real ( $R^2=0.5231$ ;  $p>0.0806$ ), ya que las medias de ambos son diferentes y altamente significativas ( $\alpha=0.01$ ;  $p<0.001$ ). El mayor valor de evapotranspiración real se ha encontrado en el período de mayor transpiración (primavera), que no ha coincidido con el mayor valor de evapotranspiración potencial la cual se ha dado en verano. Las menores transpiraciones se han encontrado cuando la evapotranspiración real es del 40.10% del total de la evapotranspiración potencial.

Se ha encontrado una correlación altamente significativa entre evaporación y la evapotranspiración potencial ( $R^2=0.703$ ;  $p>0.0107$ ), aunque el valor de la evaporación representa sólo un 9.6% de ésta.

### **Disponibilidad hídrica**

La disponibilidad hídrica en pinos ha mostrado que estas especies no han llegado a un estrés muy fuerte en comparación a otros resultados encontrados por otros autores. De hecho se ha coincidido con Franco-Vizcaíno (1994) quien ha señalado que los patrones de potencial hídrico de la hoja son similares a los patrones de almacenamiento de agua en el suelo: máximos durante períodos de recarga y decrecientes durante el periodo de secamiento del suelo.

### **3.5.6. Balance general**

El balance de aguas de un ecosistema esta determinado por la diferencia entre entradas y pérdidas del mismo y el agua que almacena actúa como un "colchón" de recuperación, que permite mantener a la vegetación existente en él. Sin embargo, ésta juega un papel importante en el flujo de entrada, pudiendo incluso disminuir su disponibilidad en el suelo. En consecuencia, es necesario estudiar los recorridos y la interacción del agua con la vegetación.

Se ha observado que los resultados de la transpiración han coincidido con las características intrínsecas de las dos especies en estudio, como la tolerancia a la sequía. Por ejemplo, *P.*

### Balance de aguas en el pinar

---

*halepensis* Miller ha sido caracterizada por su gran resistencia a la sequía, pues llega a vivir con precipitaciones medias anuales de 150 mm. Además, su capacidad para desarrollarse sobre suelos muy pobres en nutrientes y poco profundos le ha valorado para ambientes extremos, aunque es relativamente sensible a las temperaturas bajas del invierno (Blanco *et al.*, 1997; Richardson, 2002). De igual forma, se ha reportado que *P. pinea* L. puede soportar entre 250-300 mm anuales de precipitación; la resistencia de esta especie a las bajas temperaturas está asociada a la humedad ambiental, de forma que cuando la humedad es mayor, la resistencia disminuye (Blanco *et al.*, 1997; Cutini, 2002).

La disponibilidad de agua afecta a los árboles en diferentes maneras y la respuesta de ésta hacia las condiciones medioambientales extremas es compleja. Por ejemplo los ajustes de la conductancia estomática y el almacenamiento de carbono están relacionados con los mecanismos de respuesta de la planta hacia estos procesos (Borghetti, *et al.*, 1998). La reducción de la transpiración a través del cierre estomático es considerada como una respuesta "elástica" de la planta, mientras que la reducción de transpiración provocado por un cambio de patrones (menos carbono en las superficies de transpiración, mucho carbono en los tejidos conductores) puede llevar a una respuesta "plástica" de aclimatación de la planta (Borghetti, *et al.*, 1998).

Se ha visto que existe una respuesta clara y específica de los dos pinos estudiados, ante condiciones hídricas estacionales. En primavera la planta ha estado en buenas condiciones de potencial hídrico al amanecer, y éste ha decaído en condiciones de verano. En estas condiciones ha habido una drástica reducción del proceso de transpiración, a través del cierre estomático. Se ha encontrado un umbral bastante alto en el potencial de agua al amanecer en los casos de cierre estomático (entre  $-0.8$  y  $-2.2$  MPa), coincidiendo con otros estudios (Tognetti *et al.*, 1997; Schiller y Cohen, 1995; Grundwald y Schiller, 1988).

Schiller y Cohen (1995) mostraron que el *P. halepensis* Miller puede usar agua almacenada internamente en periodos cuando el suelo muestra condiciones de sequedad.

En plantas coníferas (pinos), el almacenamiento de carbono y los patrones de crecimiento de la planta puede ser afectado por periodos de sequía. Berninger *et al.* (1995) observó que la arquitectura de los pinos se adaptan a las condiciones del sitio, proveyendo más carbono al xilema tanto más seco sea el medio ambiente; la proporción del peso de acículas con el peso de la parte aérea de la planta fue decreciendo a medida que la humedad del suelo fue disminuyendo.

Hemos visto que incluso en condiciones de alto estrés hídrico (hasta  $-2,5$  MPa) ha habido producción de biomasa (con el aparente incremento del LAI, o la mínima transpiración encontrada). Sin embargo cabe hacer notar que el proceso de fotosíntesis se lleva a cabo a diferencia del proceso de transpiración, hasta que las condiciones de humedad del suelo así lo

permitan, ya que la falta de agua en las plantas ocasiona una reducción del desarrollo de los procesos concernientes al crecimiento (Villar *et al.*, 2000); esto es, que la asimilación y la conductancia estomática pueden ser afectados diferencialmente por la presencia o no de humedad en el suelo (Borghetti, *et al.*, 1998). Fuch y Livingston (1996) encontraron que la conductancia estomática baja muy pronto en comparación a la fotosíntesis en relación a la respuesta de descenso continuo de humedad en el suelo, concluyendo que el incremento de eficiencia de uso de agua puede interpretarse como una adaptación tendente a la sequía.

### 3.6. Conclusiones

- El régimen de precipitaciones de Guardamar del Segura ha variado en los periodos de Otoño-2001 a verano-2002 y de otoño-2002 a verano 2003, y los índices de condiciones climáticas han indicado que esta zona pertenece, al menos en el periodo de estudio, a una zona árida, entrando de esta manera en una climatología extrema, eventualidad de estas regiones debido a sus variaciones en precipitación y temperatura muy fuertes.
- Los regímenes de precipitación juegan un papel importante e influyente en varios procesos dentro del ecosistema, como ser la dinámica de aguas en la vegetación o el crecimiento de los anillos del árbol de pino.
- Debido a las elevadas desviaciones estándares en los resultados de trascolación ( $Tr$ :  $9.2 \pm 10.5$  en promedio general,  $8.8 \pm 10.1$  para *P. pinea* y  $9.5 \pm 10.8$  mm para *P. halepensis*), concluimos que los valores de esta variable tienen una dificultad intrínseca en su medición.
- La trascolación ( $Tr$ ) y la escorrentía cortical ( $Ec$ ) representa un  $65 \pm 10.8\%$  y un  $9 \pm 6.5\%$  del total de la precipitación, respectivamente, lo que significó un  $26 \pm 12.7\%$  de pérdidas de agua por evaporación ( $Int$ ), aproximadamente  $2.6 \pm 2.5$  mm, del total de la precipitación en todo el periodo de estudio
- La trascolación en los pinos de Guardamar sólo se da en precipitaciones mayores a 3.5 mm, aunque en precipitaciones mayores a 2 mm ya se ha dado en árboles de diámetro menor.
- El tamaño del árbol ha afectado en la cantidad de agua trascolada. Así los árboles de menor tamaño en *P. pinea* L. han trascolado más en comparación a los de mayor tamaño de la misma especie.
- La primera lluvia después de un periodo de sequedad como es el verano ha jugado un papel muy importante en la dinámica de agua en la planta. Los árboles han utilizado las primeras gotas de lluvia enteramente para rellenar los espacios porosos de su corteza. Ya que para obtener gran cantidad de agua trascolada, se ha necesitado como 29 mm de lluvia. Los bajos valores de trascolación han sido anticipados por lluvias de hasta 4 mm.
- La escorrentía cortical ( $Ec$ ) dependió de la cantidad de agua de precipitación y de la estructura de la corteza del árbol. Con precipitaciones mayores a 3 mm se pueden apreciar ya la manifestación de una  $Ec$ . En eventos de precipitación menores a 3 mm, la

escorrentía cortical es menor en *P. halepensis* Miller como en *P. pinea* L. y aumenta significativamente a partir de los 15 mm.

- La arquitectura del árbol ha influido en la escorrentía cortical así como en el índice de canalización (FR). Los árboles con ramas plagiotrópicos han tenido más oportunidad de canalizar más agua en comparación a los ortotrópicos que tienen sus ramas más perpendiculares. Los índices de canalización decrecen con el tamaño y posición de la copa del árbol.
- El efecto de la interceptación es especialmente importante en los árboles de pinos, ya que la copa de los árboles se conecta muy fuertemente con la atmósfera, e intercepta y almacena agua de la precipitación.
- La estructura del árbol influyó en la cantidad de precipitación efectiva (Ppe). Existió una clara diferencia entre las medias de interceptación en *P. halepensis* (13.2%) y *P. pinea* (22.12%).
- La densidad aparente encontrado ha sido identificado similar a los valores de un suelo arenoso.
- De acuerdo su granulometría, las características dunares nos indican que:
  - a) La arena de la duna en su mayoría es muy fina, siempre muy uniforme.
  - b) La zona dunar cercana a la playa contiene arena gruesa.
  - c) La zona intermedia, se caracteriza por contener arena fina, pero en general la distribución es regular.
  - d) La zona más lejana a la costa, contiene en general una mayor cantidad de partículas más fina, aunque no se diferencia significativamente de los otros sitios.
- Los valores de humedad volumétrica de agua en el suelo no han superado los 18% para la capacidad de campo, ni 9% para el punto de marchitez permanente
- En dunas cercanas a la playa siempre hubo requerimiento de agua, no así de la más alejada, el sitio 7 el único sitio donde el contenido de agua al finalizar el período de estudio aún es significativo, aunque eso signifique que en sus estratos se muestre que no haya llegado a su CC.
- La mayor cantidad de agua almacenada en el suelo se ha encontrado en la primavera del 2002, seguida del invierno y el otoño del mismo año.

### Balance de aguas en el pinar

- El sitio 1 que es la más cercana a la costa tiene menor humedad (4,14% en Contenido Volumétrico de Agua - CVA) en comparación al 4 (5,72% en CVA) y el 6 (5,45% en CVA), que es uno de los sitios más alejados a la costa.
- El índice de transpiración más alto se da en la primavera con  $0.55 \pm 0.31$  y la más baja en invierno con  $0.14 \pm 0.08 \text{ l.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$ , aunque en verano se ha dado un mínimo.
- El flujo de transpiración baja con el potencial de agua de la acícula, es decir, ésta baja a medida que la humedad del suelo también baja.
- Los patrones de transpiración diaria se han caracterizado por tener tres respuestas claramente identificables que varía según la estación. En primavera con mayor disponibilidad de agua, existe una mayor transpiración; en verano, ese recurso ha dejado de ser disponible, por tanto también ha disminuido la tasa de transpiración.
- Con el aumento de las condiciones de estrés hídrico se ha visto que ambas especies siguen estrategias diferentes. a) *P. halepensis* tiene mayor tasa de transpiración que *P. pinea*; b) luego ambas especies parecen tener las mismas tasas de transpiración, y c) finalmente, en época de pleno verano, el Alepo parece seguir la estrategia de cerrar sus estomas en las horas de mayor incidencia solar para luego abrirlas otra vez en horas de la tarde, pero en una tasa de transpiración menor al de la mañana. No así en *P. pinea*, que tiene su más alta tasa de transpiración en la mañana.
- En condiciones de estrés hídrico y a valores mayores y menores a  $700 \text{ W/m}^2$ , se tiene un punto de inflexión de transpiración. Se ha observado el cierre estomático en los días de mayor incidencia solar (PAR máximo de hasta  $1200 \text{ W/m}^2$ ), lo que ha permitido la identificación de un comportamiento plástico.
- Realizando la comparación del rocío con la temperatura al nivel del suelo se ha visto que existe una correlación altamente significativa. Este comportamiento nos indica que ha temperaturas bajas, también baja la presión de vapor en el medio ambiente (aire) generando la condensación.
- Se ha visto una correlación altamente significativa entre la transpiración y la cantidad de agua estimada entra a través del proceso de capilaridad. Bajo esta dependencia, la capilaridad aumentará en 2.7 veces por cada  $\text{l/m}^2$  de transpiración.
- Se ha observado que existe una clara respuesta de la planta ante las condiciones de sequedad, a medida que cambian las condiciones del medio, como son las estacionalidades. En primavera la planta ha estado en buenas condiciones de potencial de agua al amanecer, y este ha decaído en condiciones de verano.

**Conclusión general**

- Existe efectivamente una relación del consumo de agua por los árboles predominantes, el almacenamiento de agua en el perfil del suelo y la precipitación real en la zona. Se puede asumir que durante el invierno el limitado flujo de savia está explicado por los bajos valores de transpiración, y ocasionalmente por los bajos valores de radiación; en cambio en verano, este flujo está limitado por la falta de agua en el perfil del suelo. En consecuencia, se espera que existan valores muy altos de transpiración en primavera y esporádicamente en otoño pues son las estaciones más favorables por existir precipitaciones y radiación suficientes.

**3.7. Referencias**

- Aboal, J.R., Morales, D., Hernández, M., Jiménez, M.S. (1999)** The treatment and modeling of the variation of stemflow in a laurel forest in Tenerife, Canary Islands. *Journal of Hydrology* (1999) 161-175.
- Alía, R., Agúndez, D., Alba, N., González Martínez, S.C., y Soto, A. (2003).** Variabilidad genética y gestión forestal. *Ecosistemas* Año XII, Nº3 / 2003 Septiembre – Diciembre. 8 pag.
- Ávila, A. y Rodà, A.F. (1985).** Variaciones del quimismo del arroyo durante las crecidas en una cuenca de encinar montano. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 1, 21-31.
- Bandre, P. and Batta, F. (1998)** Soil and water conservation (SWC) in Burkina Faso. Report October-1998. National Programme for Burkina Faso, ODI, 35 pag.
- Bellot, J. (1988)** Análisis de los flujos de deposición global, trascolación, escorrentía cortical y deposición seca en el encinar mediterráneo de L'Avic. (Sierra de Prades, Tarragona). Memoria para optar el grado de Doctor en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante.
- Bellot, J. y Escarré, A. (1989)** Efecto del estado de desarrollo del bosque mediterraneo sobre la distribución del agua de lluvia y nutrientes en el suelo forestal. *Options Méditerranéennes – Série Séminaires – No. 3.* 1989: 221-225.
- Bellot, J., Sánchez, J.R., Bonet, A., Chirino, E., Martínez, J.M., Hernandez, N., and Abdelli, F. (1999).** Effect of different vegetation type cover effects on the soil water balance in a semi-arid areas of south eastern Spain. *Physics and Chemistry of the Earth (B)*. Vol. 24. 353-357.
- Belmonte S., F., Romero, D., A., Lopez, B., F. (1996)** Volumen y variabilidad espacial de la lluvia trascolada bajo bosque y matorral mediterráneo semiárido. *Ecología*, 10, 95-104.
- Belmonte S., F., Romero, D., A., Lopez, B., F. (1999)** Balance hídrico y distribución espacial de la trascolación bajo cobertura de pino: influencia de la dirección del viento y la pendiente de la ladera. *Lurralde Inv. Esp.* 22(1999) pag. 339-350.
- Berninger, M., Mencuccini, M., Nikinmaa, E., grace, J., Hari, P. (1995)** Evaporative demand determines branchiness of Scots pine. *Oecologia* 102: 164-168.
- Blanco, E., Casado, M.A., Costa, M., Escribano, R., Garcia, M., Génova, M., Gómez, A., Gómez, F., Moreno, J.C., Morla, C., Regato, P., Sainz, H. (1997)** Los bosques ibéricos, una interpretación geobotánica. Ed. Planeta. Barcelona. 572 pag.
- Bonell, M. and Gilmour, D.A. (1978)** The development of overland flow in a tropical rainforest catchment. *Journal of Hydrology* 39. 365—382.
- Borghetti, M., Cinnirella, S., Magnani, F., Saracino, A. (1998)** Impact of long-term drought on xylem embolism and growth in *Pinus halepensis* Mill. *Trees* (1998) 12: 187-195.
- Bristow, K.L., Campbell, G.S., Callissendorff, C. (1984)** The effect of texture on the resistance to water movement within the rhizosphere. *Soil Science Society of America Journal* 42:667-659.



- Bosch, A.D., Hewlett, L., (1981)** A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation on water yield and evapotranspiration. *J. Hydrol.* **55**, 3-23.
- Calvo de Anta, R. Y Gómez, R. M.X. (2002)** Distribución espacial del ciclo de agua en suelos forestales con *Pinus radiata* de Galicia (No de España). *Edafología*, Vol. **9**(1), pp 49-60, 2002.
- Campbell Clause, J., (1998)** Using gypsum blocks to measure soil moisture in Vineyards, Agriculture Western Australia, *Farm Note* 3-98.
- Cantu, S., I. y González, R., H. (2001)** Interception loss, throughfall and stemflow chemistry in pine and oak forest in northeastern Mexico. *Tree Physiology*, **21**: 1009-1013 (2001).
- Cantu, S., I. y González, R., H. (2002)** Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de pino-encino en el noreste de México. *Ciencia UANL / Vol. V, No. 1*, pag. 72-78, Enero-Marzo 2002
- Cermak, J. and Prax, A. (2001)** Water balance of Southern Moravian floodplain forest under natural and modified soil water regimes and its ecological consequences. *Ann. For. Sci.* **58** (2001) 15-29.
- Cienciala, E., Kucera, J., Ryan, M.G., and Lindroth, A. (1998)** Water flux in boreal forest during two hydrologically contrasting years, species specific regulation of canopy conductance and transpiration. *Ann. Sci. For.* **55**: 47-61.
- Chen. J.Y., Hopmans, J.,W., Fogg, G.,E. (1995)** Sampling design for soil moisture measurements in large field trials. *Soil Science* **159**: 155-161.
- Chuyong, G.B., Newberry, D.M., Songwe, N.C. (2004)** Rainfall input throughfall and stemflow of nutrients in central African rain forest dominated by ectomycorrhizal trees. *Biogeochemistry* **67**: 73-91, 2001.
- Clavero, P., P.L. (1994)** Tipus de temps. *En*: Pérez, C. (Ed). Atlas Climàtic de la Comunitat Valenciana. Generalitat Valenciana. 1994. 46-49 pp.
- Clements, J., R. (1971)** Evaluating summer rainfall through a multi-storied large tooth aspen community. *Canadian Journal of Forestry Research* **1**: 165-184.
- Crockford, R.,H. and Richardson, D., P. (1990a)** Partitioning of rainfall in a eucalypt forest and pine plantation in southeastern Australia. I. The relationship of interception and canopy storage capacity, the interception of these forests, and the effect on interception of thinning the pine plantation. *Hydrological Processes* **4**: 169-188.
- Crockford, R.,H. and Richardson, D., P. (1990b)** Partitioning of rainfall in a eucalypt forest and pine plantation in southeastern Australia. II. Stemflow and factors affecting stemflow in a dry sclerophyll *Eucalypt* forest and a *Pinus radiata* plantation. *Hydrological Processes* **4**: 145-155.
- Cutini, A. (2002)** *Pinus pinea* L. *En*: Pines of silvicultural importance. CABI publishing (Ed), CAB International. Oxon, UK. 531 pag., 329-342 pp.
- Danin, A., Bar-Or, Y., Dor, I., Yisraeli, T. (1989)** The role of cyanobacteria in stabilization of sand dunes in southern Israel. *Ecol. Mediterr.* **15**: 55-64.

- De Luis, M., Vicente, S.M., Gonzales, H., J.C., Raventos, J. (2003)** Aplicación de las tablas de contingencia (Cross-tab analysis) al análisis espacial de tendencias climáticas en el sector orientable la península Ibérica. *Cuadernos de Investigación Geográfica* No. 29, pp: 23-34. Universidad de la Rioja.
- Doswell III, C.A., Brooks, H.E., Maddox, R.A. (1996)** Flash flood forecasting: an ingredients-based methodology. *Weather and Forecasting*, 11: 560-581.
- Dynamax Inc. (1994)** Flow32: Instalation and operation manual. Ver. 2.1 Software. Houston, USA. 180 pag.
- Dunne, L. (1978)** Field studies of hillslope flow processes. *En:* Kirkby, M.J. (Ed) Hillslope Hydrology. J. Wiley, New York. 227—293.
- Eamus, D. (2001)** How does ecosystem water balance influence net primary productivity?. NEE Workshop proceedings: 18-20 April, 2001. 62-70 pp.
- Eaton, J.S., Likens, G.E., Bormann, F. H. (1973)** Throughfall and stemflow chemistry in a Northern Hardwood forest. *Journal of Ecology*, Vol 61, No. 2 (Jul, 1973), 495-508.
- Escarré, A. (2000)** Los pinares costeros y la vegetación psamofítica: análisis de sus procesos hidrológicos y propuesta de integración en una restauración en Mosaico. Proyecto de Investigación de la Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM). 10 pag.
- Escarré, A., Lledó, M.J., Bernabé, A., Jiménez-Ortiz, T., Ortiz, F., Abad, N., Aldeguer, M., Collado, F., Mart, R., Quintana, A., Vizcaino, A. (2004)** La restauración de ecosistemas dunares. *En:* Vallejo, V.R., Alloza, J.A. (Eds.) Avances en el estudio de la gestión del monte mediterráneo. 407-436 pp.
- Escarré, A., Lledó, M.J., Bellot, J., Martín, J., Esclapés, A., Seva, E. y Sánchez, J.R. (1986).** Balance hídrico, meteorización y erosión en una pequeña cuenca de encinar mediterráneo. Proyecto LUCDEME, Serie Monografías de ICONA, 47, 57-115.
- Evenari, M., Shanan, L., Tadmor, N. (1982)** The Negev: challenge of a desert. Harvard University Press. Cambridge, Mass.
- Falusi, M., Calamasi, R., y Tocci, A. (1984).** Resistenza al freddo in *Pinus halepensis* Mill., *Pinus brutia* Ten. e *Pinus eldarica* Medw. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem. Serie B* 91, 111-133.
- FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations)-ISRIC (International Soil Reference and Information Centre)- ISSS (International Society of Soil Science) (1998)** World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports 84.FAO. Rome, 91 pag.
- Flores L., H.E. y Ruiz C., J.A. (1998)** Estimación de la humedad del suelo para maíz de temporal mediante un balance hídrico. *Terra Volumen* 16, Número 3, 1998:219-229.
- Franco-Vizcaíno, E. (1994)** Water regime in soils and plants along an aridity gradient in central Baja California, Mexico. *Journal of Arid Environments* (1994) 27: 309-323.

- Fuchs, E. E., Livingstone, N.J. (1996)** Hydraulic control of stomatal conductance in Douglas fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco] and alder (*Alnus rubra* Bong) seedlings. *Plant Cell Environ* 19: 1091-1098.
- García, A. (2003)** Memoria del periodo de investigación tutelada y los conocimientos adquiridos en el curso de doctorado. Memoria de investigación para obtener la Suficiencia Investigadora del Doctorado en Gestión de Ecosistemas del Departamento de Ecología, Universidad de Alicante. 80 pag.
- Gash, J.H.C., Lloyd, C.R., Lachaud, G. (1995)** Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology* 170: 79-86.
- Gash, J.H.C., Wright, I.R., Lloyd, C.R., (1980)** Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain. *J. Hydrol.* 48, 89-105.
- González Prats, A., García Menarguez, A., Ruiz Segura, E. (1997)** La Fonteta. Una ciudad fenicia en Occidente. *Revista de Arqueología*, 190 (Febrero 1997), 8-13.
- Granier, A., Biron, P., and Lemoine, D. (2000)** Water balance, transpiration and canopy conductance in two beech stands. *Agricultural and Forest Meteorology* 100 (2000) 291 – 308.
- Gras, M.J., De Luis, M., Sanchez, J.R., Bonet, A., Raventos, J. (2000)** Situación actual de pinares en dunas costeras del litoral de la Comunidad Valenciana. I Congreso de Ecología, AEET. Santiago de Compostela, Sept. 2000.
- Grier, C.C., Running, S.W., 1977.** Leaf area of mature Northwestern coniferous forests: relation to site water balance. *Ecology* 58, 893–899.
- Gucci, R., Massai, R., Casano, S., and Mazzoleni, S. (1999)** Seasonal changes in the water relations of Mediterranean co-occurring woody species. *Plant Biosystems* 133(2): 117-128.
- Grudwald, C., Schiller., G. (1988)** Needle xylem water potential and water saturation deficit in provenances of *Pinus halepensis* Mill. And *Pinus brutia* Ten. *For Meditarren.* 10: 407-414.
- Hacke, U.G., Sperry, J.S., Ewers, B.E., Ellsworth, D.S., Schafer, K.V.R., Oren, R. (2000)** Influence of soil porosity on water use in *Pinus taeda*. *Oecologia* 124: 495-505.
- Haman, D.Z., and Izuno, T. (1993)** Soil plant water relationships. Florida Cooperative Extension Service. Circular 1085. 5 pag.
- Hebert, M.T., and Jack, S.B. (1998).** Leaf area index and site water balance of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) across a precipitation gradient in east Texas. *For. Ecol. Manage.* 105, 273–282.
- Hu, C., Liu, Y., Song, L., and Zhang, D. (2002)** Effect of desert soil algae on the stabilization of fine sands. *Journal of Applied Phycology* 14: 281-292, 2002.
- Huber, A. and Iroume, A. (2001)** Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile. *Journal of Hydrology* 248 (2001) 78-92.
- Iroumé, A., and Huber A., (2002)** Comparison of interception losses in a broadleaved native forest and a *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) plantation in the Andes Mountains of southern Chile. *Hydrological Processes* 16, 2347-2361 (2002).

- Jacobs, A.F.G, Heusinkveld, B.G, Berkowicz, S.M. (2000)** Dew measurements along a longitudinal sand dune transect, Negev desert Israel. *Int. J. Biometeorol* (2000) **43**: 184-190.
- Jacobs, A.F.G, Heusinkveld, B.G, Berkowicz, S.M. (1999)** Dew deposition and drying in a desert system. *Journal of Arid Environments* (1999) **42**: 211-222.
- Jarvis, P.G. and Stewart, J.B. (1979)**. Evaporation of water from plantation forest. *En*: Ford, E.D., Malcolm, D.C. and Atteson, J. (Ed.). *The Ecology of Even-aged Forest Plantations*. Institute of Terrestrial Ecology, Penicuik, U.K. 327—349.
- Kelliher, F.M., Leuning, R. and Schulze, E.D. (1993)** Evaporation and canopy characteristic of coniferous forest and grassland. *Oecologia* **95**: 153-163.
- Kenneth, W., T. (1995)** Interception on rangeland watersheds. *Fact Sheet No. 36* pag. 1-4. California Rangelands Research and Information Center – Agronomy and Range Science – UC Davis.
- Kidron, G.J., Yair, A., Danin, A. (2000)** Dew variability within a small arid drainage basin in the desert Negev Highlands, Israel. *QJR Meteorol. Soc.* **126**, 63-80.
- Kimmins, J.,P. (1973)** Some statistical aspects of sampling throughfall precipitation in nutrient cycling studies in British Columbian coastal forests. *Ecology* **54**: 1008-1019
- Klaassen, W., Lankreijer, H.J.M. and Veen, A.W.L. (1996)** Rainfall interception near a forest edge. *J. Hydrol.*, **185**(1-4): 349-361.
- Levia, D.F. (2004)** Differential winter stemflow generation under contrasting storm conditions in a southern New England broad-leaved deciduous forest. *Hydrological Processes*, **18**, 1105-1105 (2004).
- Levia, D.F. and Herwitz, S.R. (2000)** Physical properties of water in relation to stemflow leachate dynamics: implications for nutrient cycling. *Can. J. For. Res.* **30**: 662-666 (2000).
- Li, X.Y. (2002)** Effects of gravel and sand mulches on dew deposition in the semiarid region of China. *Journal of Hydrology* **260** (2002) 151-160.
- Li-Cor Inc. (1999)** Using the LI-6400: Portable photosynthesis system manual. LI-COR Inc. Nebraska. Volumes I, II, III, IV.
- Likos, W.L. and Lu, N. (2002)** Hysteresis of capillary cohesion in unsaturated soils. 15<sup>th</sup> ASCE Engineering Mechanics Conference. June 2-5, 2002. Columbia University, New York. 8 pag.
- Lledó, M.J., Piñol, J. (1989)** Balance hídrico de dos cuencas de encinar de la sierra de Prades (Tarragona). *Options Méditerranéennes – Série Séminaires – No. 3 – 1989*: 227-231.
- Llorens, P., Poch, R., Latron, J., Gallart, F. (1997)** Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area. I. Monitoring design and results down to the event scale. *Journal of Hydrology* **199**: 331-345
- Lloyd, C.,R., Gash, J.H.,C., Shuttleworth, W.,J. (1988)** The measurement and modelling of rainfall interception by Amazonian rain forest. *Agricultural and Forest Meteorology* **43**: 277-294.

- Lundblad, M., Lagergren, F. and Lindroth, A. (2001)** Evaluation of heat balance and heat dissipation methods for sapflow measurements in pine and spruce. *Ann. For. Sci.* **58** (2001) 625–638.
- Martin, A., S., Gonzales, M., S.C. (2000)** Conservación de recursos genéticos de coníferas en España. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.:* Fuera de Serie no 2-2000.
- Martin, M., J. (1984)** Variaciones estacionales en el contenido de nutrientes y pigmentos en cuatro especies del espinar costero de Alicante. Memoria de tesis de grado para obtener el grado de Doctor en Ciencias, Departamento de Biología, Universidad de Alicante.
- Martinez-Trinidad, T., Vargas-Hernandez, J.J., Muñoz-Orozco, A., López-Upton, J. (2002)** Respuesta al déficit hídrico en *Pinus leiophylla*: consumo de agua y crecimiento en plántulas de diferentes poblaciones. *Agrociencia* **36**: 365-376. 2002.
- Mateos, B., and Schnabel, S. (2001)** Rainfall interception by holm oaks in mediterranean open woodland. *Cuadernos de Investigación Geográfica* No. 27 27-38 pp.
- Mira, F. (1906)** Las dunas de Guardamar. Memorias de la SEHN. Tomo IV. Memoria, 2: 57-77.
- National Institutes of Health (2003)** ImageJ. Software for areas. NIH, USA. Available in <http://rsb.info.nih.gov/ij/>
- Nyvall, J. (2002)** Soil water storage capacity and available soil moisture. *Water Conservation Factsheet*. Order No. 619.000-1. 4 pag.
- Ogaya, R., Peñuelas, J., Martínez-Vilalta, J., Mangiron, M. (2003)** Effect of drought on diameter increment of *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia*, and *Arbustus unedo* in a holm oak forest of NE Spain. *Forest Ecology and Management* **180** (2003) 175-184.
- Ortiz, J.N., Gavrilov, I. N., Palacios, V. O., Acosta, H. R. (1999)** Pérdidas de agua de riego por percolación profunda durante el proceso de infiltración. *Terra* Vol. **17** No. 2, 1999: 115-124.
- Oyarzún, C.E. y Huber, A. (1999)** Balance hídrico en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globules* y *Pinus radiata* en el sur de Chile. *Terra* Volumen **17**, Número 1, 1999: 35-44.
- Pérez-Cueva., A.J. (1994)** Atlas Climàtic de la Comunitat Valenciana. Generalitat Valenciana. Valencia. 1994. 205 pag.
- Piñol, J., Lledó, M.J. y Escarré, A. (1991).** Hydrological balance of two Mediterranean forested catchments (Prades, north-east Spain), *Journal of Hydrological Sciences*, **36**, 95-108.
- Raventós, J., De Luis, M., Gras, M.J., Cufar, K., Gonzales-Hidalgo, J.C., Bonet, A., Sánchez, J.R. (2001)** Growth of *Pinus pinea* and *Pinus halepensis* as affected by dryness, marine spray and land use changes in a Mediterranean semiarid ecosystem. *Dendrochronologia* **19** (2) – 2001: 211-220.
- Raiche, J.W. (1983)** Throughfall and stemflow in mature and year-old wet tropical forest. *Trop. Ecol.* **24**(2): 234-243.
- Richardson, D. (2002)** *Pinus halepensis* Miller. *En*: Pines of silvicultural importance. CABI publishing, CAB International. Oxon, UK. 531 pag, 146-159 pp.
- Rogers, D.H., and Sothers, W.M. (1996)** Soil, water and plant relationships. Irrigation Management Series. Kansas State University. L-904. 4 pag.

- Rong, L. X., Yun, M. F., Lang, X. H. (2004) Long-term effects of revegetation on soil water content of sand dunes in arid region of Northern China. *Journal of Arid Environments* 57 (2004) 1-16.
- Rutter, A.J., Kershaw, K.A., Robins, P.C., Morton, A.J. (1971) A predictive model of rainfall interception in forest. 1. Derivation of the model from observation in a plantation of Corsican pine. *Agr. Meteorol.* 9, 367-374
- Saxton K.E., Rawls W.J., Roemberger J.C., Papendick R.I. (1986) Estimating generalized soil water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1986;50:1031-1036
- Schaap, M.G., and Leij, F.J. (2000) Improved prediction of unsaturated hydraulic conductivity with the Mualem-van Genuchten model *Soil Science Society of America Journal* 64:843-851 (2000)
- Seva, E., Gutiérrez, A., Martín J., Escarré A. (1989) Plantas Psamófilas. *En*: Escarré A., Martín J., Seva E. (Ed.) Estudios Sobre El Medio y la Biocenosis en los Arenales Costeros de la Provincia de Alicante.
- Schiller, G. and Cohen, Y. (1995) Water regime of a pine forest under a Mediterranean climate. *Agric. For. Met.* 74: 181-193.
- Schiller, G. and Cohen, Y. (1998) Water balance of *Pinus halepensis* Mill. Afforestation in an arid region. *Forest Ecology and Management* 105 (1998) 121-128.
- Schulze, E.D., Caldwell, M.M., Canadell, J., Mooney, H.A., Jackson, R.B., Parson, D., Scholes, R., Sala, O.E., Trimbom, P. (1998) Downward flux of water through roots (i.e. inverse hydraulic lift) in dry Kalahari sands. *Oecologia* (1998) 115: 460-462.
- Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D., Hemmingsen, E.A., (1965) Sap pressure in vascular plants. *Science* 148, 339- 346.
- Smajstrla, A.G., Boman, B.J., Haman, D.Z., Izuno, F.T., Pitts, D.J., Zazueta, F.S. (1997) Basic irrigation scheduling in Florida. *Cooperative Extension Service, Bulletin* 249, 8 pag.
- Sperry, J.S., Alder, N.N., Campbell, G.S., Comstock, J. (1998) Limitation of plant water use by rhizosphere and xylem conductance: results from model. *Plant, Cell and Environment* 21: 347-359.
- Statistix for Windows (1996) User's Manual. Analytical Software, Inc., Tallahassee, Florida. 329 pag.
- Sturm, N., Kostner, B., Hartung, W. and Tenhunen, J.D. (1998) Environmental and endogenous control on leaf –and stand- level water conductance in Scots pine plantation. *Ann. Sci. For.* 55: 237-253.
- Subramaniam, A.R., Kesava Rao, A.V.R. (1983) Dew-fall in sand dune areas of India. *Int. J. Biometeorol.* 27: 271-280.
- Tate, K.W. (1995) Interception on rangeland watersheds. Fact sheet *Rangeland Watersheed Program* U.C. Cooperative Extension and USDA Natural Resources Conservation Service. No.36
- Teklehaimanot, Z., Jarvis, P.G., Ledger, D.C. (1991) Rainfall interception and boundary layer conductance in relation to tree spacing. *Journal of Hydrology* 123: 261-278.

- Teobaldelli, M., Mencuccini, M., Piussi, P. (2004)** Water table salinity, rainfall and water use by umbrella pine trees (*Pinus pinea* L.). *Plant Ecology* **171**: 23-33, 2004.
- Tognetti, R., Michelozzi, M., Giovannelli, A. (1997)** Geographical variation in water relations, hydraulic architecture and terpene composition on Aleppo pine seedlings from Italian provenances. *Tree physiology* **17**: 241-250.
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) (2004)** Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part VII Meteorological Measurements. International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Effects on Forests. 40 pag.
- United States Department of Agriculture (USDA) (1998)** Soil Taxonomy. Washington D.C., U.S. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Handbook 436. U.S. Government Printing Office, 754 p.
- Van Bavel, M.G. (1984)** Flow32tm Installation and Operation Manual. Version 2.1 software Dynamax Inc., Texas, USA. 178 pp.
- Van der Gulik, T. (1997)** Irrigation schedule techniques. *Water Conservation Factsheet*. Order no. 577.100-1. 5 pag.
- Van Dijk, A.I.J.M., Bruijnzeel, L.A., (2001)** Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. 1. Model description. *Journal of Hydrology* **247**: 230-238.
- Vertessey, R. A., Hatton, T. J., Reece, P., O'Sullivan, S. K., and Benyon, R. G. (1997)** Estimating stand water use of large mountain ash trees and validation of the sap flow measurement technique. *Tree Phys.* **17**, 747-756.
- Villar, S.P., Peñuelas, R., J.L., Carrasco, M., I. (2000)** Influencia del endurecimiento por estrés hídrico y la fertilización en algunos parámetros funcionales relacionados con la calidad de la planta de *Pinus pinea*. Actas del 1er. Simposio sobre el pino piñonero. Valladolid. 2000. Vol 1: 211-218.
- Vogt, K. (1991)** Carbon budgets of temperate forest ecosystems. *Tree Physiology* **9**:69-86
- Vose, J.M., Wayne, L. T., Swank, Harvey, G.J., Clinton, B.D., and Sobek, C. (2000)** Leaf water relations and sapflow in Eastern Cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) trees planted for phytoremediation of a groundwater pollutant. *International Journal of Phytoremediation*: Vol 2, No. 1, pp. 53-73 (2000).
- Wakamiya, N.I., Heilman, J.L., Newton, R.J., and Messina, M.G. (1999)** Diurnal changes in water conduction in loblolly pine (*Pinus taeda*) and Virginia pine (*P. virginiana*) during soil dehydration. *Tree Physiology* **19**: 575-581.
- Xiao, Q., McPherson, E.G., Ustin, S.L., Grismer, M.E., Simpson, J.R. (2000)** Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. *Hydrological Processes* **14**: 763-784.
- Xu, C., Liu, Y., Song, L., Zhang, D. (2002)** Effect of desert soil algae on the stabilization of fine sands. *Journal of applied Phycology*, **14**: 281-292, 2002.

Balance de aguas en el pinar

---

**Zarnoch, S.J., Abrahamson, D.A., and Dougherty, P.M. (2002)** Sampling throughfall and stemflow in young loblolly pine plantations. United States Department of Agriculture, Forest Service, Research paper SRS-27. Asheville. 10 pag.

**Zhang, J.W., Feng, Z., Clegg, B.M., and Schumann, C.M. (1997)** Carbon isotopic composition, gas exchange, and growth of three populations of ponderosa pine differing in drought tolerance. *Tree Physiology* 17: 461-466.

Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

*"Far away in the sunshine are my highest aspirations. I may not reach them, but I can  
look up and see their beauty, believe in them, and try to follow where they lead"*  
**Louise May Alcott**



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## CAPITULO 4

### BALANCE DE CARBONO EN ÁRBOLES DE *Pinus halepensis* Miller Y *P. pinea* L. EN EL PINAR DE GUARDAMAR DEL SEGURA

#### 4. 1. Resumen

Se ha estimado el balance de carbono de *Pinus halepensis* Miller y *P. pinea* L. en el pinar de Guardamar del Segura. Se han comparado las variaciones de fijación y producción de CO<sub>2</sub> en diferentes estaciones y parcelas. La fotosíntesis media del área de trabajo ha sido de  $1.60 \pm 1.11 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . De esta proporción la máxima tasa observada fue en primavera con  $3.9 \pm 0.37 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  y la más baja en verano con  $0.14 \pm 0.05 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Las tasas medias de fotosíntesis para el pino alepo fue de  $1.63 \pm 1.10 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  y para el pino piñonero fue de  $1.57 \pm 1.14 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

El promedio de respiración del suelo encontrado fue de  $2.04 \pm 1.33 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . El flujo máximo de respiración se dio en primavera con  $5.39 \pm 1.24 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  y la más baja en verano con  $0.66 \pm 0.13 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Las temperaturas del suelo mayores a 20°C y las reducciones de contenido de humedad de éste han reducido la tasa de respiración. De la misma forma, se ha visto que existe una relación lineal entre la cantidad de raíces y el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo.

La biomasa (expresada en materia seca) estimada para distintas posiciones en un transecto imaginario desde la costa hacia el interior en el pinar ha variado desde 1.08 hasta 9.02 Kg/m<sup>2</sup>.

La producción primaria bruta fue de 3.34 MgC/Ha.año mostrando una producción neta del ecosistema de 0.79 MgC/Ha.año.

## 4. 2. Introducción

### 4.2.1. El Carbono como parte de la naturaleza

El almacenamiento global de carbono ha sido estimado en alrededor de 42.460 Gt C. De este total, 39.000 Gt C esta localizado en océanos, 2.000 Gt C en el suelo (incluyendo las raíces y detritus), 760 Gt C en la atmósfera y 500 Gt C en la biomasa aérea (Watson *et al.*, 2000). Los cambios en las reservas están acompañadas por los flujos de CO<sub>2</sub>, muchos de los cuales, son muy dificultosos de estimar (Fig. 47).

El carbono puede moverse entre las diferentes fracciones del planeta (vegetación, atmósfera, océanos), formando el ciclo del carbono. El tiempo de residencia del carbono en la atmósfera es muy corto, en comparación a los tiempos de residencia en la biosfera, hidrosfera y litosfera. El tiempo de residencia de una molécula de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es solamente de unos pocos años, en cambio en océanos y la biosfera se mide en décadas y centurias.

El proceso más reconocido de asimilación de CO<sub>2</sub> en el ecosistema se da a través del proceso de fotosíntesis, la cual ocurre principalmente en los organismos que contienen pigmentos conocidos como clorofilas.

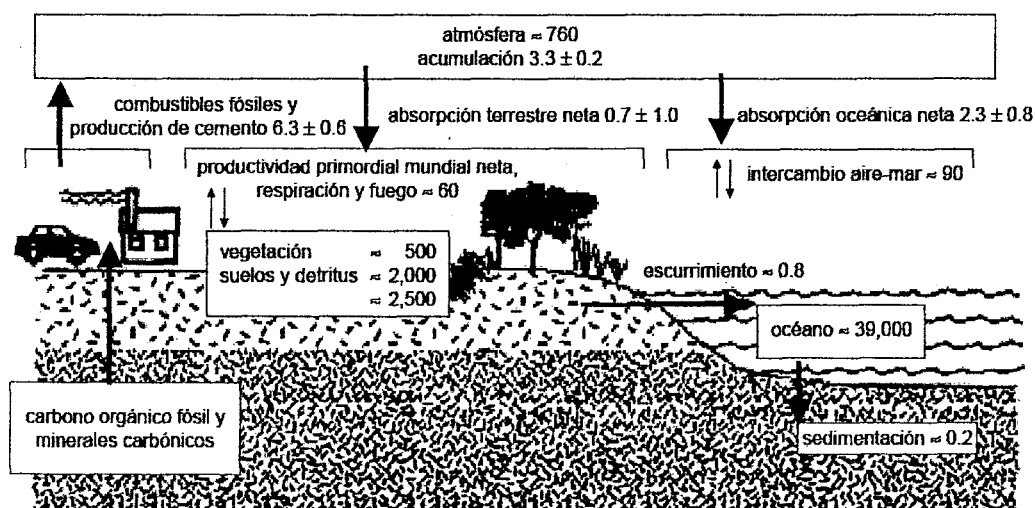


Figura 47. Esquema del ciclo global del carbono (Gt C), mostrando los flujos relevantes de cambios antropogénicos (Según Watson *et al.*, 2000).

### 4.2.2. El proceso de asimilación de CO<sub>2</sub>

El proceso de asimilación de CO<sub>2</sub>, está explicado por los procesos ocurridos en la fotosíntesis. Este proceso se lleva a cabo en las partes fotosintetizadoras de la planta. La energía para realizar este proceso biológico viene del sol. Sobre la superficie de la tierra, la energía solar es absorbida por los pigmentos de clorofila de la planta durante este proceso (fotosíntesis), y esta

### Balance de carbono

energía absorbida es utilizada para obtener otras moléculas. La reacción general de la fotosíntesis sigue de manera general el siguiente proceso:



La asimilación de carbono implica reacciones químicas que ocurren en el cloroplasto dentro del mesófilo de la célula de la hoja, catalizado por numerosas enzimas. El carbono fijado es entonces combinado con el hidrógeno provenientes del agua de suelo para constituir formas más complejas de carbohidratos (menos del 2% de la energía solar es utilizado en los procesos de fotosíntesis; el resto es usado para evaporar el agua o es convertido en calor). La forma más simple de carbohidrato sintetizado es la glucosa, la cual conduce a la formación de otros, como las proteínas, ligninas, celulosa y amino ácidos, o se almacena en forma de almidón. El oxígeno es un subproducto de los procesos de la fotosíntesis. La respiración es esencialmente el proceso inverso de la fotosíntesis e implica la oxidación de componentes orgánicos produciendo  $\text{CO}_2$ , agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y energía. La energía que viene de la respiración es usada para generar adenosina trifosfato (ATP), un transportador de energía dentro de las plantas la cual es utilizada para el crecimiento, mantenimiento o reproducción de las mismas. El resto de la energía es liberada en forma de calor.

#### 4.2.3. Biomasa almacenada

A consecuencia del proceso de fotosíntesis las plantas pueden almacenar carbono el cual será después transformado en biomasa. La información sobre la biomasa, es fundamental para responder muchas preguntas sobre el papel que juegan los bosques en los ciclos biogeoquímicos de carbono y nitrógeno principalmente. Las estimaciones del flujo de carbono provenientes de los cambios de uso del suelo, son derivados de modelos cuyos resultados dependen, en parte, de estimaciones de biomasa en los bosques. Su importancia radica en generar escenarios de carbono almacenado en el suelo y en la vegetación, y que éste sea retenido como materia orgánica, dando como resultado estimaciones del carbono neto absorbido, liberado por la combustión o la descomposición. De ahí es que resulta importante conocer el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea, ya que a partir de los incrementos, se estima la captura de carbono y que se considera un servicio ambiental como alternativa de manejo de los recursos naturales encaminado al desarrollo sustentable.

Para entender mejor los procesos que intervienen en la acumulación de carbono, definiremos los términos más utilizados en la estimación de los componentes del árbol:

**Biomasa:** es la masa de la materia orgánica en un bosque o una parte específica del bosque (biomasa aérea, Kg/Ha). El carbono almacenado representa la diferencia entre el flujo de  $\text{CO}_2$  que entra y el que sale del ecosistema, y esos flujos pueden ser iguales (cuando no existe incremento de biomasa) o exceder el que entra (biomasa retenida por algunos componentes

del bosque). La biomasa puede ser expresada en peso seco o unidades de carbono por unidad de superficie; para bosques, el contenido de carbono en la vegetación está generalmente entre 45-54% (Vogt, 1991).

**Flujo:** es la tasa en el cual el material orgánico o el carbono se mueve hacia dentro o hacia fuera de un componente particular del ecosistema (almacén) por unidad de área y unidad de tiempo (i.e. distribución total del carbono subterráneo, MgC/Ha.año).

**Distribución:** Es la acumulación de carbono en un componente particular del árbol como una fracción de la fotosíntesis, expresado en porcentaje o proporción.

#### 4.2.4. Estimación del balance de carbono en el ecosistema

##### **Producción primaria bruta**

Para la estimación de los flujos de carbono en un ecosistema, nos basaremos en el esquema de la Fig. No 48. La entrada principal de carbono es la producción primaria bruta (PPB o GPP siglas del inglés gross primary production), la que se produce con el proceso de fotosíntesis por las plantas de un ecosistema. La PPB es la velocidad total de la fotosíntesis, incluyendo la energía que se fija y que posteriormente se emplea en la respiración así como la que se gasta en elaborar nuevos tejidos vegetales.

##### **Producción primaria neta**

Según Landsberg y Gower (1997) la producción primaria neta (PPN o NPP siglas del inglés net primary production) es la producción neta de carbono orgánico por las plantas de un ecosistema medido en un periodo determinado. La PPN es la velocidad con que las plantas almacenan en forma de materia, la energía que sobre después de su respiración. La PPN es la diferencia entre el PPB y la respiración de las plantas o respiración autotrófica ( $R_{\text{Autotrófica}}$ ):

$$\text{PPN} = \text{PPB} - (R_{\text{Autotrófica}}) \quad (19)$$

Donde:

PPN = Producción primaria neta (Mg C/Ha.año)  
 PPB = Producción primaria bruta (Mg C/Ha.año)  
 $R_{\text{Autotrófica}}$  = Respiración autotrófica (Mg C/Ha.año)

La PPN constituye el crecimiento total anual de biomasa (de ambas, aérea y subterránea). A esta producción también se le agrega, en su caso, las cantidades vertidas por senescencia, reproducción o muerte individual de hojas u otros componentes de la planta y las cantidades consumidas por los herbívoros.





desarrollados para estimar el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo, incluyendo los perfiles de concentración de CO<sub>2</sub> en los suelos, la Covarianza Eddy, y los métodos que utilizan cámaras de medición del flujo. Este último, ha sido sometido a diferentes comparaciones por varios investigadores (Rochette *et al.*, 1992; Norman *et al.*, 1997; Rochette *et al.*, 1997; Janssens *et al.*, 2000; Longdoz *et al.*, 2000), sin embargo ningún método ha sido aún reconocido como estándar. Todas las comparaciones *in situ* han dado sólo respuestas relativas (Widén y Lindroth, 2003). La respiración del suelo es un componente muy importante en el ciclo del carbono de los ecosistemas terrestres. Mientras que la descomposición microbiana de los restos de materia orgánica es esencial para la transformación de la materia orgánica del suelo, el proceso también representa un mecanismo importante de pérdida de carbono de éste. La respiración global del suelo se estima que es diez veces mayor que el flujo de carbono que libera la combustión de combustibles fósiles (Tufekcioglu y Kucuk, 2004; Raich y Schlesinger, 1992) representando el segundo flujo más grande de CO<sub>2</sub> de los ecosistemas terrestres, sobrepasado solamente por la productividad bruta (Mynemi *et al.*, 1995). Esta importante cantidad ha hecho su medición cada día más necesaria, por ejemplo en relación al cambio climático y los factores bióticos, ambientales, y del manejo que afecta este proceso.

#### **Producción neta del ecosistema**

La producción neta del ecosistema (PNE) (medido en Mg C/Ha.año) es la diferencia entre la PPB y la pérdida de carbono a través de la respiración heterotrófica (R<sub>heterotrófica</sub>), o la diferencia entre la PPB y la respiración total (Gracia *et al.*, 2000):

$$PNE = PPB - (R_{Total}) = PPN - (R_{heterotrófica}) \quad (20)$$

Donde:

PNE	= Producción neta del ecosistema
PPB	= Producción primaria bruta
PPN	= Producción primaria neta
R <sub>Total</sub>	= Respiración total
R <sub>Heterotrófica</sub>	= Respiración heterotrófica (Todos en Mg C/Ha.año)

#### **4.2.5. Reserva de carbono en el pinar de Guardamar del Segura**

El pinar de Guardamar es un sitio de repoblamiento que data de 1906. De ahí en adelante su cobertura vegetal ha ido en aumento, dando lugar a plantas de diferentes condiciones ecofisiológicas. Jiménez-Ortiz (2001) indicó que uno de los procesos ecofisiológicos característicos que participan en la formación de biomasa es la radiación. La radiación en Guardamar del Segura es variable en zonas de sombra como de luz (zonas de pinar y zonas a campo abierto). Por ejemplo, se han medido radiaciones fotosintéticamente activas de 100 µE/m<sup>2</sup>.s, en zonas de sombra y de hasta 1000 µE/m<sup>2</sup>.s en zonas despejadas, lo que ha

Balance de carbono

permitido que especies como el lentisco tengan una altura cuatro veces superior en comparación a los establecidos en sombra. Así mismo se ha visto que procesos como la fotosíntesis y la transpiración de estas plantas están contribuyendo en la acumulación de carbono.

Sin embargo, el incremento de los diámetros de los troncos de los pinos no ha sido apreciable. La capacidad de producción de los árboles ha disminuido drásticamente, no existiendo regeneración natural (Jiménez-Ortiz *et al.*, 2001) produciéndose en algunos años la ausencia de anillos de crecimiento (Raventos, *et al.* 2001). Sin embargo investigaciones de repoblaciones con *Pinus pinea* L. en dunas han demostrado que, en un periodo de marzo de 1996 a junio de 1997, llega hasta un 80% de supervivencia y su mortalidad en verano no ha afectado su población significativamente (Escarré, 1997). En la misma especie y el mismo periodo se ha encontrado que en un sustrato de arena existió hasta un 43% de incremento de los diámetros medios (Escarré, 1997). Así mismo, relacionando las características de esta zona con la regeneración natural, Gras *et al.* (2000) en estudios de germinaciones de semillas de *P. pinea* L. y *P. halepensis* Miller, encontraron significativas diferencias entre ambas especies (84% de emergencia del primero contra 48% del segundo).

**Tabla 27.** Resumen de fotosíntesis y transpiración de las principales especies psamófitas de las dunas de Guardamar del Segura.

Especie	Fotosíntesis media ( $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Transpiración media ( $\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )
<i>Ammophila arenaria</i>	4.89±0.51	1.13±0.10
<i>Cakile marítima</i>	26.75±4.21	9.89±1.15
<i>Calystegia soldanella</i>	10.74±0.68	3.32±0.26
<i>Centaurea seridis</i> L.	8.94±0.75	3.36±0.18
<i>Crucianella marítima</i> L.	5.69±0.48	2.25±0.15
<i>Cyperus capitatus</i> Vandelli.	11.61±1.57	2.16±0.17
<i>Elymus farctus</i> (Viv.) Runemark ex Melderis subsp <i>farctus</i>	13.97±1.14	2.98±0.33
<i>Eryngium maritimum</i> L.	10.71±0.95	4.05±0.26
<i>Euphorbia terracina</i> L.	3.23±0.44	0.84±0.09
<i>Launaea fragilis</i> (Asso) Pau. Subsp <i>fragilis</i>	2.41±0.56	0.67±0.05
<i>Lotus creticus</i> L.	7.16±0.86	3.10±0.24
<i>Medicago marina</i> L.	9.30±0.81	3.11±0.15
<i>Ononis natrix</i> L. Subsp <i>ramosissima</i> (Desf.) Batt. Et Trab.	10.39±0.89	4.50±0.32
<i>Polygonum maritimum</i> L.	6.67±0.78	2.74±0.21
<i>Pseudorhiza pumila</i> (L.) Grande	12.70±1.47	4.17±0.30
<i>Silene ramosissima</i> Desf.	12.91±1.48	4.17±0.30
<i>Sporobolus pungens</i> (Schreber) Kunth	5.31±0.64	0.96±0.06

Fuente: Tomado de Bernabé (2004) "Caracterización de plantas psamófilas, aproximación a sus tipos funcionales, y ensayos de restauración en dunas del litoral alicantino". Universidad de Alicante.

En el contexto señalado, se puede afirmar que el estado de la vegetación del pinar de Guardamar del Segura presenta una regresión considerable de su crecimiento respecto a años

anteriores. De la misma forma, actividades como la turística hoy por hoy responden al buen estado del pinar, que sin embargo, es una de las causas (aparte de las causas intrínsecas de las condiciones de sitio) de perturbación del ecosistema que influye directamente en los componentes del mismo.

Se ha indicado que el balance de carbono está determinado por las entradas, pérdidas y almacenamientos en el ecosistema; que la productividad primaria neta está determinado por los índices de fotosíntesis y la respiración autotrófica, que la ganancia de carbono por la copa del árbol está determinado por el nivel de interceptación de la radiación por esta estructura, y la eficiencia de utilización y cantidad de luz de la energía, pero ¿qué elementos del balance de carbono es influyente en producción primaria neta? ¿cuáles tendrían que ser las tasas de asimilación de carbono tal que se produzca una ganancia de biomasa? ¿de qué manera influye la respiración del suelo en el ecosistema? ¿existe mayor flujo de carbono en el suelo o en la parte aérea de la planta? ¿qué factores determinan la relación carbono subterráneo y aéreo? ¿cómo influyen las entradas de carbono al ecosistema en la producción bruta de los árboles?

#### 4.2.6. Hipótesis y objetivos

##### **Hipótesis**

- La asimilación de CO<sub>2</sub> por la planta no afecta la producción anual de biomasa.
- La respiración del suelo no es afectada por variaciones de temperatura ni de humedad.
- La asimilación de CO<sub>2</sub> por la planta no es afectada por los factores medioambientales como la temperatura y la humedad del suelo.

##### **Objetivos**

El objetivo general de este estudio es incrementar el conocimiento del funcionamiento del ecosistema dunar con respecto al ciclo del carbono y su variabilidad temporal y espacial.

Los objetivos específicos son:

- Estimar la fijación de CO<sub>2</sub> en las acículas de las especies de coníferas predominantes.
- Estimar la respiración total del suelo en primavera y verano, estaciones de mayor y menor incremento de biomasa foliar, respectivamente.
- Estimar la producción de biomasa de los individuos del ecosistema en estudio.

*Balance de carbono***4.3. Materiales y métodos****4.3.1. Localización**

La investigación se ha localizado en dos sitios del pinar de Guardamar del Segura: una parcela vallada y un transecto (cuadrilátero) imaginario casi perpendicular a la costa del mar (Fig. 48).

**Parcela vallada**

La parcela vallada está ubicada en la parte media del pinar de Guardamar del Segura, tal como se muestra en la Fig. 48. Más detalles en la sección de *Materiales y Métodos* del capítulo 3.

**Transecto imaginario**

El transecto imaginario utilizado es un cuadrilátero localizado en el pinar en una posición casi perpendicular a la costa del mar Mediterráneo ( $38^{\circ}6'7.5''N$   $0^{\circ}38'47.69''W$  por el lado de la costa y  $38^{\circ}6'33.61''N$   $0^{\circ}39'7.94''W$  en el otro extremo, el más alejado de la costa).

La zona de investigación está ubicada a 45 Km al SE de la ciudad de Alicante. Las principales características de los puntos de muestreo están descritos en la tabla 28.

**Tabla 28.** Localización de puntos geográficos (proyección Lambert) de toma de medidas de respiración de suelo y asimilación de  $CO_2$ .

Parcela	Transecto		Distancia al mar	Especies	Diámetro del tronco (cm)	Topografía y grado de caída de acículas
	N	W				
S1	38°6'7.5"	0°38'47.69"	250	PH	8.7±0.15	Costa, plano. Media
				PP	13.9±0.16	
S2	38°6'11.28"	0°38'51.84"	350	PH	14.0±0.5	Costa, sobre la duna, en la pendiente 25%. Baja
				PP	11.7±0.15	
S3	38°6'10.73"	0°38'56.62"	500	PH	11.2±0.14	Encima de la duna, plana. Baja
				PP	11.5±0.16	
S4	38°6'14.7"	0°39'0.76"	650	PH	20.2±0.15	Depresión dunar. Alta
				PP	21.2±0.6	
S5	38°6'19.55"	0°39'6.6"	700	PH	14.2±0.12	En la cresta dunar. Bajísima
				PP	11.2±0.14	
S6	38°6'23.96"	0°39'6.41"	750	PH	14.5±0.16	Planicie dunar. Media
				PP	15.4±0.16	
S7	38°6'33.61"	0°39'7.94"	850	PH	22.2±0.48	Planicie dunar. Media
				PP	21.6±0.50	

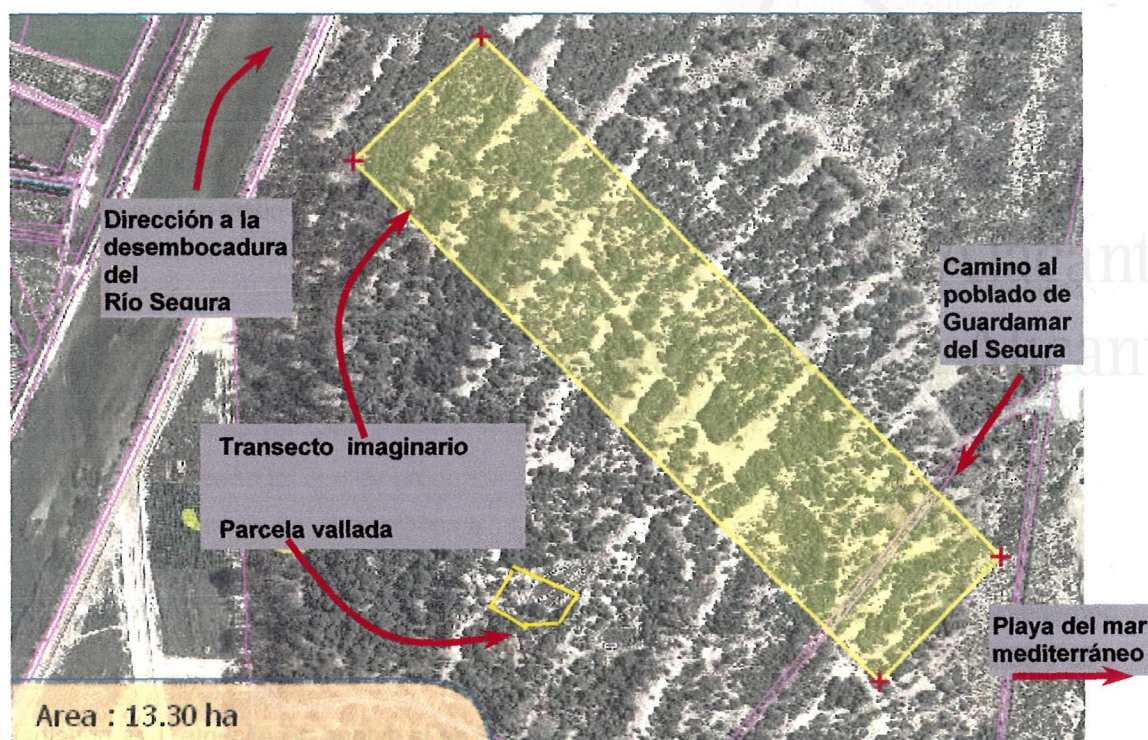


Figura 49. Localización de las parcelas de estudio de carbono.

### **Población arbórea predominante del transecto imaginario**

La población de manchas de especies arbóreas características de este lugar se puede resumir en la tabla 29.

**Tabla 29.** Población de *P. halepensis* Miller y *P. pinea* L. predominante en la pinada de Guardamar del Segura. Basado en el anexo 2 (n=694). Número entre paréntesis representa la desviación estándar.

		Diámetro normal (cm)	Diam. Copa A (m)	Diam. Copa B (m)	Altura total (m)	Altura tronco (m)
Total	Media	13.78 (6.07)	3.02 (1.38)	2.98 (1.44)	3.84 (1.51)	1.78 (0.72)
<i>P. pinea</i> L.	Media	13.78 (6.07)	3.02 (1.38)	2.98 (1.44)	3.84 (1.51)	1.78 (0.72)
<i>P. halepensis</i> Miller	Media	13.77 (6.08)	3.02 (1.38)	2.98 (1.45)	3.83 (1.50)	1.77 (0.71)
Otros	Media	14.14 (2.58)	3.44 (0.85)	3.59 (0.89)	4.89 (1.13)	1.26 (0.58)
Menores a 13 cm	Media	9.13 (4.93)	2.19 (0.86)	2.10 (0.63)	2.96 (1.58)	1.48 (0.68)
de 13 a 20 cm	Media	16.02 (1.82)	3.46 (1.05)	3.41 (0.97)	4.24 (1.14)	1.91 (0.59)
Mayores a 20 cm	Media	24.46 (1.51)	4.82 (1.75)	4.93 (1.13)	5.90 (0.87)	2.49 (1.33)

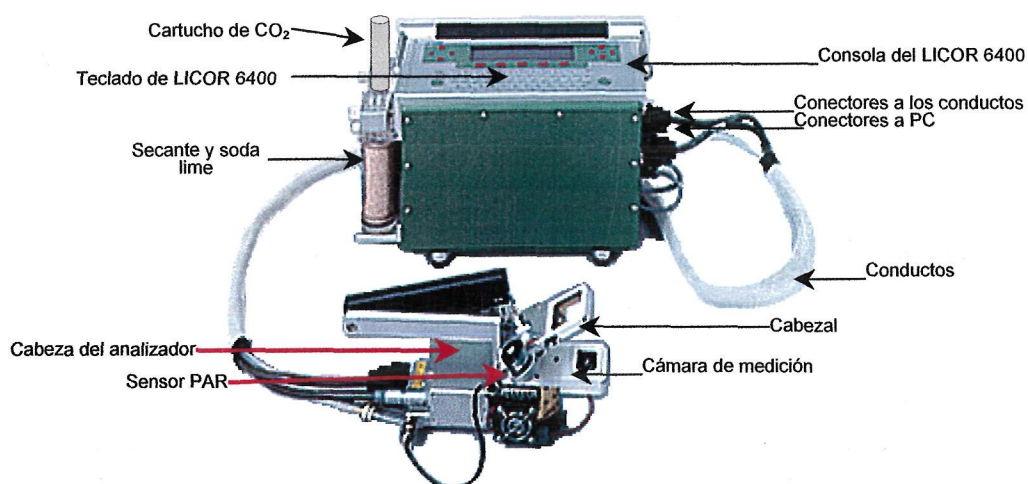


### 4.3.2. Metodología

#### Asimilación de CO<sub>2</sub>

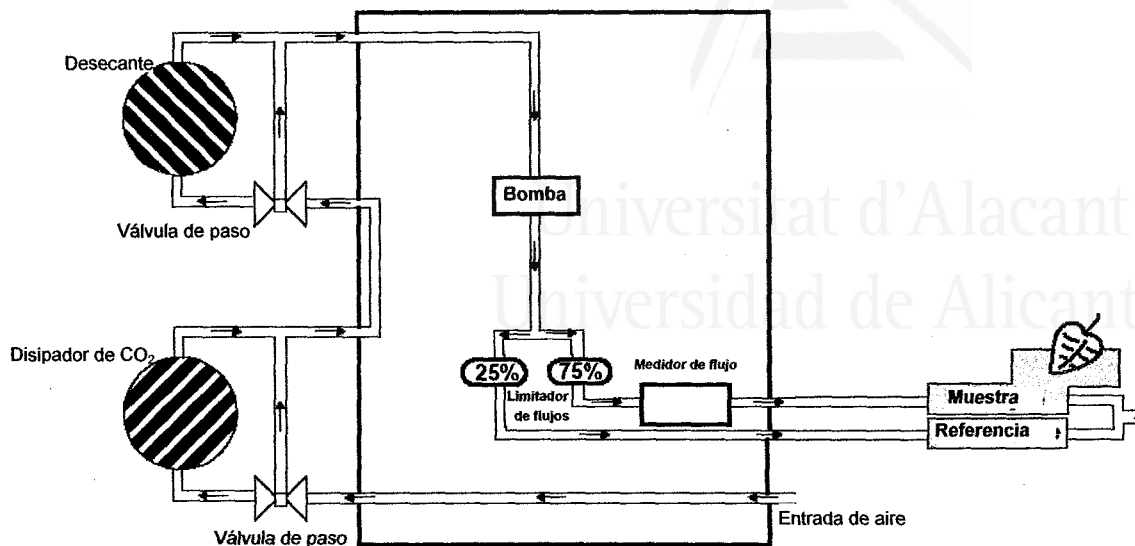
##### a) Medición del intercambio de CO<sub>2</sub> en acículas.

Para estimar la asimilación de CO<sub>2</sub> en las acículas utilizamos un analizador infrarrojo de gases portátil, el LICOR 6400 (Lincoln, Nebraska, USA) (Fig. 50), tomando medidas en las subparcelas desde las 9:30 hasta las 14:30 aproximadamente en todas las campañas. Además, este aparato está equipado de un sensor de radiación fotosintéticamente activa (PAR), por lo que también se midió esta variable. Las mediciones se tomaron *in situ*, en el transecto, en días soleados, en radiaciones similares. En cada sitio de medida se tomó las dos especies predominantes del lugar (*P. halepensis* Miller y *P. pinea* L.), tres individuos diferentes y tres repeticiones por cada uno. Las mediciones se realizaron en el periodo comprendido entre la primavera del 2002 y el verano del 2003.



**Figura 50.** Principales componentes del LICOR 6400 utilizado para las mediciones de fotosíntesis en acículas.

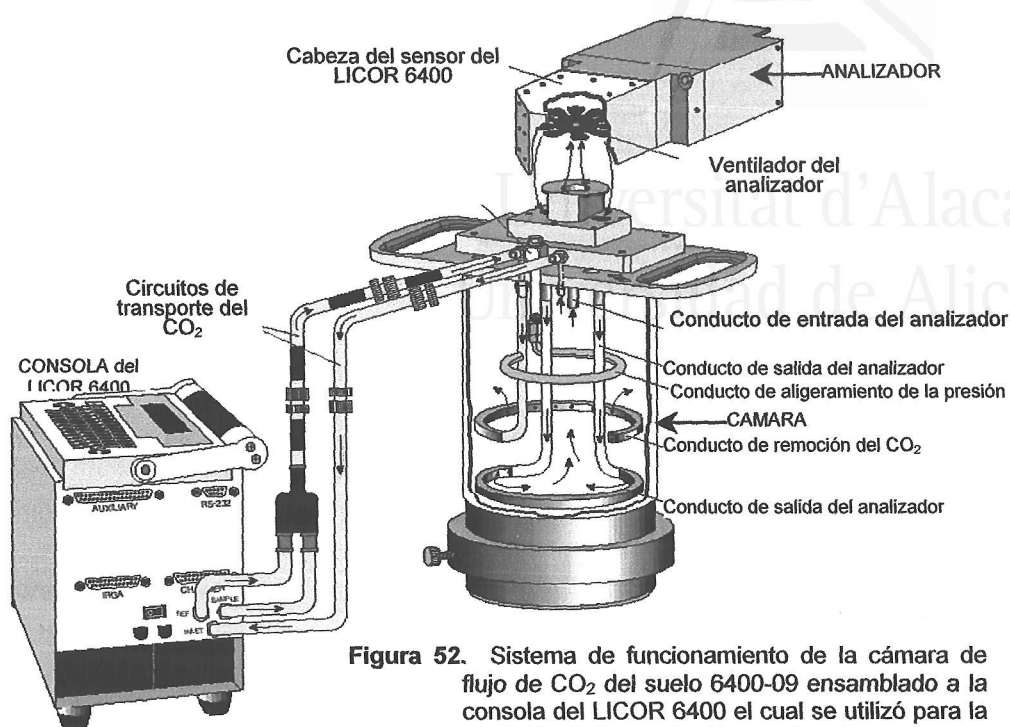
El LICOR-6400 básicamente mide el índice de fotosíntesis a través de la absorción de CO<sub>2</sub> comparado con la salida de CO<sub>2</sub> del aparato. La cámara donde se coloca la acícula se conecta a un medidor de flujos, el cual a través de una bomba hace la comparación con una referencia previamente fijada (Fig. 51).



**Figura 51.** Esquema de circulación de los gases en el LICOR 6400 en las mediciones de fotosíntesis.

*b) Medición de respiración del suelo.*

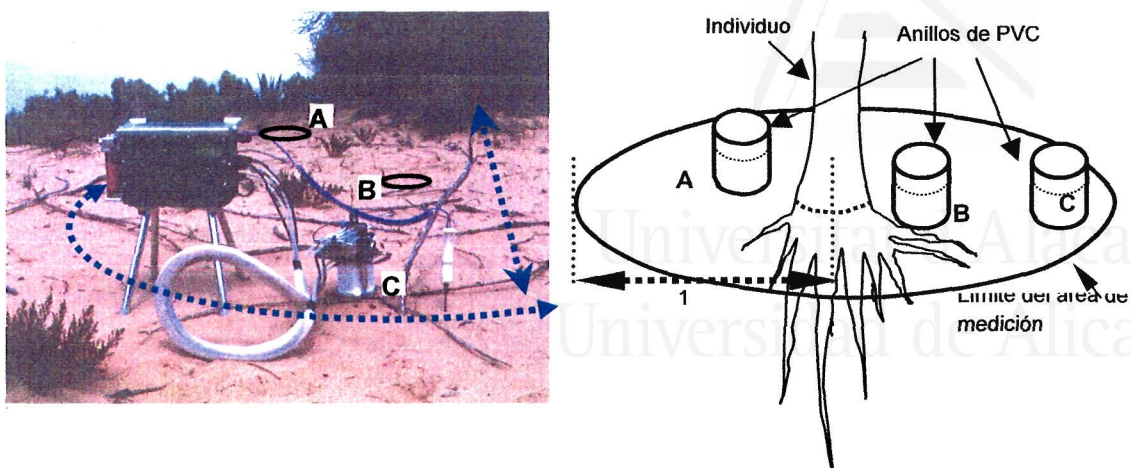
El  $\text{CO}_2$  total desprendido desde el suelo fue medido usando el sistema de intercambio de gas LI-COR 6400-09, (Lincoln, Nebraska, USA) con una cámara de  $71.6 \text{ cm}^2$  de área (volumen de  $991 \text{ cm}^3$ ). Los analizadores de  $\text{CO}_2$  y agua están conectados directamente a la cámara y al mezclador, y el aire de la cámara es producido con un ventilador y el disipador asociado a este (Fig. 51). Durante una medición, el aire de la cámara es absorbido por la parte de arriba a través de un conducto de entrada y luego entra en la trayectoria de la luz del analizador de gases. El aire es devuelto del analizador de gases a través de un conducto de salida hacia el disipador cerca de la superficie del suelo. Para minimizar la influencia de la perturbación mecánica al insertar la cámara en la superficie del suelo (en los índices de difusión) se ha construido anillos de PVC de 10 cm de diámetro y 5 cm de alto. La instalación de estos tubos se la ha realizado un mes antes de la primera medición. Se ha dejado 1 cm del tubo fuera del suelo (Fig. 52).



**Figura 52.** Sistema de funcionamiento de la cámara de flujo de CO<sub>2</sub> del suelo 6400-09 ensamblado a la consola del LICOR 6400 el cual se utilizó para la medición de la respiración en el suelo.

Las mediciones se han realizado una vez por estación durante el ciclo verano 2002 a verano 2003, en 21 sitios localizados a lo largo del transecto imaginario en el Pinar de Guardamar. Se las han realizado siempre entre las 9:00 y las 13:00 horas para no causar disturbios irregulares en las mediciones debido a las condiciones de medio. El sistema utilizado consta también de un sensor de temperatura el cual está acoplado a la cámara, por lo que se tomó también la temperatura del suelo. Adicionalmente se han tomado muestras de suelo para determinar su humedad. El proceso de medición es automático. Se determina la concentración de CO<sub>2</sub> del aire colocando la cámara en posición horizontal. Una vez determinado este valor, se procede a insertar la cámara en el anillo, y el sensor de temperatura a unos 5 cm de profundidad, cerca de la cámara. Hecho esto procedemos a introducir el dato tomado anteriormente (el valor target) y también un valor de medición para flujos grandes o menores que puede variar de 5 a 10 (valor delta). Luego insertamos el valor de profundidad en la cual estamos trabajando, así como el número de ciclos en la que trabajamos (en nuestro caso de 3 a 6 ciclos dependiendo del lugar donde ubicamos la cámara). También le indicamos que grabe todas las mediciones, y finalmente empezamos la medición (Fig. 53).





**Figura 53.** Posición de los anillos de PVC en un sitio del transecto de muestreo. Los anillos fueron colocados siempre dentro del área de muestreo.

### **Estimación de la acumulación de biomasa**

#### *a) Diámetro a la altura del pecho*

Para obtener información de los diámetros de los árboles que se encuentran al interior del transecto imaginario, se ha estimado el área basal en todo este cuadrilátero imaginario de 3 árboles circundantes a la intersección de dos líneas imaginarias dentro del área mencionada, a través de:

$$AB = \frac{D^2}{4} \pi \quad (24)$$

Donde:

AB = Área basal del tronco (m<sup>2</sup>)  
 D = Diámetro de tronco a una altura de 1.3 m desde el nivel del suelo (m)

El diámetro fue medido en cuatro ocasiones: primavera del 2002, verano 2002, primavera 2003 y verano del 2003.

#### *b) Índice relativo de crecimiento*

El índice relativo de crecimiento (RGR) o tasa de crecimiento relativo se estimó para cada intervalo de tiempo  $t_f-t_i$  transcurrido entre dos fechas de medición (Hunt, 1990):

Balance de carbono

$$RGR = \frac{\ln(D_f) - \ln(D_i)}{t_f - t_i} \quad (24a)$$

Donde:

RGR = índice relativo de crecimiento

D = Diámetro de tronco a una altura de 1.3 m desde el nivel del suelo (m)

T = Tiempo en el que se midió (días)

### c) Caída de hojas

Se ha recolectado mensualmente la caída de acículas en un área de 1 m<sup>2</sup> debajo de 8 árboles de *P. halepensis* Miller y 8 de *P. pinea* L, ubicadas en la parcela enmallada. La hojarasca, recolectada mensualmente, ha sido llevada al laboratorio, pesada antes y después del secado en sub-muestras más o menos de 300 gramos.

### d) Muestreo de la biomasa

En la parcela enmallada del pinar de Guardamar, se han seleccionado 6 individuos (3 de *P. halepensis* y 3 de *P. pinea*) a fin de estimar la biomasa de cada individuo, por el método destructivo. Este procedimiento tuvo lugar al inicio del verano del 2002 (12-30 de julio). De la misma forma se ha realizado la obtención de la biomasa total a través del método semi-destructivo de 14 individuos. Este procedimiento tuvo lugar a fines del verano del 2002 (16-30 de agosto).

#### Muestreo destructivo

Se ha seleccionado 6 individuos, de las márgenes del área de arqueología (es decir, fuera del área enmallada), que estaban por derrumbarse. Estos fueron derribados con la ayuda de una cuerda, y en seguida se han cortado todas sus ramas, dejando el tronco principal tendido. Las ramas así cortadas se han separado luego en acículas, ramas pequeñas ( $\leq 2$  cm) y ramas gruesas ( $> 2$  cm).

De los troncos se ha obtenido también piezas más o menos homogéneas para realizar la determinación de la densidad de madera.

Inmediatamente después del corte, se ha determinado el peso fresco de los materiales con un sistema de medición consistente en cuerdas y un dinamómetro de 102 Kg. de capacidad. Luego se ha tomado muestras representativas de cada componente por separado. Estas se las ha llevado a la estufa, y secadas hasta peso constante, a 65<sup>0</sup>C, aproximadamente por 2 días. La biomasa del tronco se ha determinado a través de la densidad y el volumen de la madera.

La biomasa se estimó a través de:

$$PST_x = \frac{PT}{1 + \left( \frac{PF_x - PS_x}{PS_x} \right)} \quad (25)$$

Donde:

PST = Peso seco total (Kg)

PT = Peso fresco total (Kg)

PF = Peso fresco de la muestra (Kg)

PS = Peso seco de la muestra (Kg)

Para el cálculo de la biomasa del tronco se midió el diámetro basal al nivel del suelo y diámetro superior del tronco (al iniciarse la bifurcación) (con una cinta métrica forestal de 2 m) y la altura del árbol (con una cinta métrica de 50 m). Este mismo procedimiento sirvió para estimar la biomasa por el método semidestructivo, pero en individuos en pie. Se asumió que los troncos tenían la forma de un cono truncado, por tanto la ecuación que se utilizó para determinar su volumen fue:

$$V_a = H * \left( (D_b)^2 + d_s * (D_b) + d_s^2 \right) * \frac{\pi}{12} \quad (26)$$

Donde:

$V_a$  = Volumen total del tronco ( $m^3$ )

$H$  = Longitud del tronco (m)

$D_b$  = Diámetro basal (m)

$d_s$  = Diámetro en la parte superior del tronco (m)

Igualmente se ha calculado la densidad del tronco, primeramente midiendo y pesando las muestras de madera que obtuvimos del campo, al momento del corte. Estas muestras fueron homogéneas en forma, es decir, todas fueron cilíndricas. Las muestras fueron, después secadas en estufa ( $65^\circ C$ ), hasta peso constante. Luego la densidad ha sido determinada con la siguiente relación:

$$D_d = \frac{m_d}{V_d} \quad (27)$$

Donde:

$D_d$  = Densidad de la madera seca ( $Kg * m^{-3}$ )

$m_d$  = Peso seco de la muestra (Kg)

$V_d$  = Volumen de la muestra fresca ( $m^3$ )

En seguida, el peso seco del tronco fue calculado como:

Balace de carbono

$$PST_t = D_d * V_a \quad (28)$$

Donde:

$PST_t$  = Peso seco tronco (Kg)

$D_d$  = Densidad de la madera seca ( $Kg * m^{-3}$ )

$V_a$  = Volumen del tronco ( $m^3$ )

La totalidad de la biomasa se obtuvo de:

$$BT = PST_t + PST_a + PST_r \quad (29)$$

Donde:

BT = Biomasa total del árbol (Kg)

$PST_t$  = Peso seco tronco (Kg)

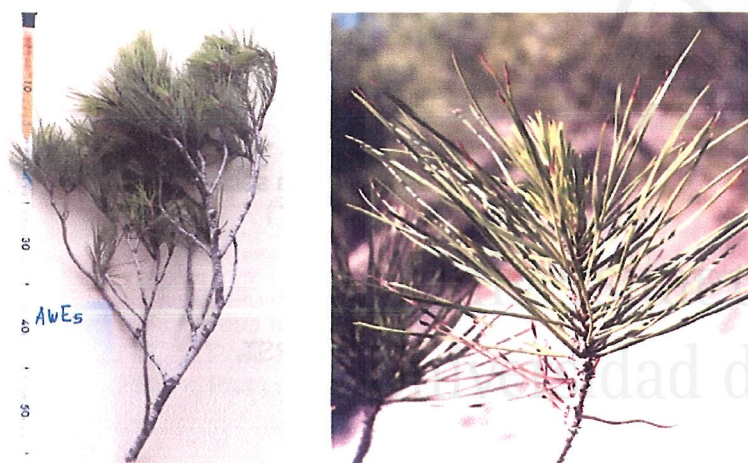
$PST_a$  = Peso seco total de las acículas (Kg)

$PST_r$  = Peso seco total de las ramas (Kg)

Al mismo tiempo se ha medido en todos estos individuos el diámetro altura pecho (DBH), y para árboles muy pequeños a la altura donde la primera rama principal empieza.

*Muestreo semidestructivo*

Semidestructivo, porque se ha trabajado en 14 copas de árboles, estimándose los componentes de éste y el resto a través de relaciones alométricas obtenidas con el muestreo destructivo. Este trabajo nos ha facilitado generar mayor cantidad de información de la parte de la biomasa aérea. Para esto se ha seleccionado individuos de copas más o menos homogéneas, en cuyas copas se ha instalado un prisma imaginario de 0,5x0,5x2,5 m a través de un dispositivo de madera, jalones e hilos. Luego se ha procedido a una corta estratificada de los componentes del árbol, cada 50 cm, separándose luego en ramas pequeñas, ramas grandes y acículas. La corta se realizó cuidadosamente, sin mezclar los componentes, los cuales fueron etiquetados y sellados, para luego ser trasladados al laboratorio donde se procedió al trabajo posterior de pesa y separación.



**Figura 54.** Ramas representativas tomadas para las regresiones determinadas.

En el laboratorio, se ha realizado los siguientes trabajos:

- Las ramas se han separado en: ramas  $>2$  y  $\leq 2$  cm (incluyendo la corteza) con acículas (Fig. 54). Se ha procedido a medir el diámetro de la parte inferior de la rama completa. Se ha pesado la rama completa, para luego proceder a separarlos en ramitas y acículas. Enseguida se ha pesado estas fracciones por separado, para finalmente secarlos por 48 horas a  $65^{\circ}\text{C}$  y nuevamente pesarlos. Tanto peso fresco como el seco, se obtuvieron con una balanza eléctrica de 1 g de precisión.
- Con los pesos secos y los diámetros se ha procedido a realizar regresiones alométricas para cada clase de cada fracción y en su totalidad. Para la estimación final de la biomasa de la copa del árbol se ha relacionado el volumen del prisma con el volumen de la copa del árbol respectivo. Se ha asumido que las copas eran homogéneas, por lo cual se ha utilizado las relaciones de los componentes utilizados con sus pesos de acuerdo al siguiente procedimiento:

$$a_x = b_x \left( \frac{\frac{1}{3} \pi \cdot r_c^2 \cdot h_c}{A_p \cdot L_p \cdot H_p} \right) \quad (30)$$

Donde:

- $a_x$  = Peso estimado del componente del árbol (acícula, rama delgada, rama gruesa) (Kg)
- $b_x$  = Peso conocido del componente del árbol perteneciente al prisma (Kg)
- $r_c$  = Radio de la copa del árbol (m)
- $h_c$  = Altura de la copa del árbol (m)
- $A_p$  = Ancho del prisma (m)
- $L_p$  = Largo del prisma (m)
- $H_p$  = Altura del prisma (m)



Balance de carbono

## d) Producción de raíces

Se realizó un muestreo de suelos a través de una sonda de metal de 120 cm de alto y 5x5 cm de área en la parte por debajo de la copa de los árboles que sirvieron para muestreo destructivo de biomasa (Fig. 55). De la sonda se ha obtenido muestras cada 20 cm hasta 100 cm de profundidad. Inmediatamente se ha transportado al laboratorio para su respectivo análisis.

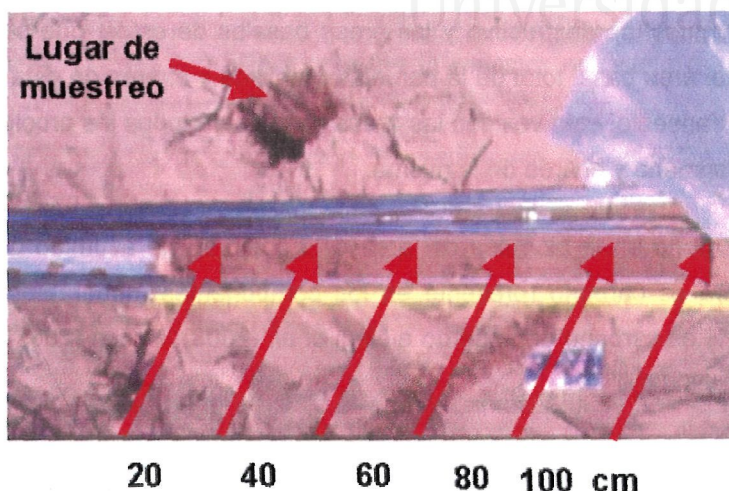


Figura 55. Sonda de muestreo de suelos para el análisis de raíces señalando las profundidades en las que se obtuvo la muestra.

En el laboratorio, se ha realizado los siguientes trabajos:

- a) Se ha separado el suelo de las raíces a través de un tamiz con huecos de 0.25 mm.
- b) En seguida se ha separado las raíces en dos poblaciones:
  - i) Raíces > 2 mm de diámetro
  - ii) Raíces ≤ 2 mm de diámetro
- c) Con la ayuda de una balanza eléctrica de 1 g de precisión, se ha obtenido sus respectivos pesos.

Para la estimación de la cantidad de raíces se ha realizado el siguiente cálculo:

$$Br = Pr + PR \quad (31)$$

Donde:

Br = Biomasa total de raíces (Kg)

Pr = Peso de raíces delgadas (Kg)

PR = Peso de las raíces gruesas (Kg)

Todos los cálculos se han llevado a una unidad única, Kg/m<sup>2</sup> de suelo para las respectivas comparaciones.

### **Estimaciones para el balance de carbono**

#### **a) Carbono en la biomasa**

El almacenamiento de carbono del árbol se ha estimado con los valores de biomasa obtenidos a través del muestreo destructivo y la proyección de la copa del árbol (que es la superficie de suelo que cubre ésta).

El carbono contenido en la parcela enmallada se ha obtenido, a través de la biomasa contenida en los árboles del muestreo destructivo y las áreas basales de estos, que se ha relacionado con la sumatoria del área basal total de la parcela enmallada y el área de esta zona. Lo mismo se ha hecho en el transecto, esta vez con las áreas basales de todos los árboles contenidos en este rectángulo imaginario y el área de la misma.

Para estimar el carbono en la biomasa del área de trabajo se ha asumido que el 50% de la biomasa de madera es carbono (presente en los componentes maderables del pino), y en acículas que el 45% es carbono de acuerdo a Negi *et al.* (2003), Husch (2001), y el Australian Greenhouse Office (2002).

#### **b) Asimilación de carbono en el proceso de fotosíntesis**

Se ha realizado la conversión del valor de la fotosíntesis obtenido con el IRGA 6400 ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ) a  $\text{MgC}/\text{Ha}\cdot\text{año}$ , basándonos en los pesos moleculares de este elemento: 12:44 (peso atómico del C y el peso molecular del  $\text{CO}_2$ ). Para pasar a  $\text{MgC}/\text{Ha}\cdot\text{año}$  se lo ha relacionado con el LAI.

#### **c) Respiración autotrófica y heterotrófica**

La respiración autotrófica de la biomasa aérea ( $R_{\text{mant}}$ ) que es la suma de las respiraciones o el trabajo que realiza la planta para producir acículas y madera, y su respectivo mantenimiento, la cual ha sido estimada a través de los valores negativos de fotosíntesis obtenidos con el IRGA 6400, entre las 7:00 y 8:30 de la mañana, el cual como valor constante lo valoramos como 0.45  $\text{MgC}/\text{Ha}\cdot\text{año}$ .

La producción neta primaria (NPP) se ha obtenido a través de la diferencia entre la producción primaria bruta u obtenida con el IRGA 6400 (GPP) con la respiración autotrófica que es la suma de la respiración de las raíces ( $R_{\text{raiz}}$ ) más la respiración aérea total ( $R_{\text{mant}}$ ).

El proceso de respiración heterotrófica ha sido estimado a través de la proporcionalidad de raíces y las muestras de suelo, a través de:

*Balance de carbono*

$$R_{\text{raiz}} = R_{\text{suelo}} \cdot \left( \frac{\left( \frac{P_{rM}}{P_{tS}} * 100 \right) \cdot V_c}{V_M} \right) \quad (32)$$

Donde:

- $R_{\text{raiz}}$  = Respiración por raíces ( $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
 $R_{\text{suelo}}$  = Respiración obtenida con el IRGA 6400 o respiración total del suelo ( $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
 $P_{rM}$  = Peso de las raíces en la muestra de suelo (gr)  
 $P_{tS}$  = Peso total de la muestra del suelo (suelo + raíces + materia orgánica) (gr)  
 $V_c$  = Volumen del cilindro utilizado para la obtención de mediciones con el IRGA 6400 ( $\text{cm}^3$ )  
 $V_M$  = Volumen de la porción de suelo obtenido con el muestreador de suelos hasta 20 cm ( $\text{cm}^3$ )

*d) Carbono acumulado en el periodo de estudio*

La acumulación de biomasa en el árbol en la parcela enmallada se ha calculado a través de la diferencia de áreas seccionales entre el primer periodo de medición (23-Dic-02) y el último (17-Ago-03). Estos valores de biomasa se han convertido a carbono a través del porcentaje de carbono contenido en la biomasa. En el caso del transecto imaginario, se ha tomado en cuenta los valores estacionales y anuales para luego estimar el carbono por simple conversión de los valores del IRGA 6400.

La existencia de carbono en el transecto imaginario se ha estimado a través de las relaciones alométricas utilizando los diámetros medios de los árboles como medio para estimar la biomasa.

**Análisis estadístico**

Se ha realizado la comparación de medias de los datos de peso de la biomasa, fotosíntesis, carbono de los periodos comprendidos entre el 23-Dic-02 al 17-Ago-03, lo que nos ha dado lugar a la distinción de las diferentes estaciones y los valores anuales.

1. Alometría entre el área seccional del tronco o la rama y la biomasa: Se ha utilizado la regresión lineal para comparar los datos obtenidos entre las variables correlacionadas linealmente (como la relación entre el área seccional de la rama con los pesos de ramas y acículas) y obtener las desviaciones estándares, medias y valores de  $p$ .
2. Comparación de medias: Para comparar grupos de datos de biomasa, fotosíntesis, carbono, se ha utilizado la estadística descriptiva como el uso de la media de la población y la desviación estándar.



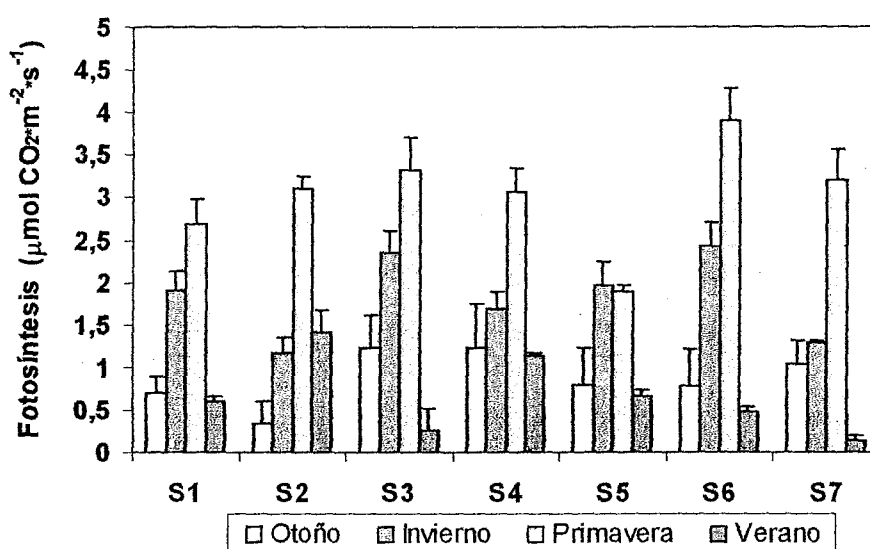
3. Comparación de medias a través de un análisis de varianza: Se ha utilizado el análisis de varianza en un solo sentido (One-way-AOV) para comparaciones (entre y dentro) de medias poblacionales. Para observar las diferencias entre las variables de comparación se ha utilizado el test de Tukey y diferencias mínimas significativas (LSD) al 1 y 5%. Cuando ha sido posible (no fue posible cuando no existía un número de observaciones equilibrado, es decir, por ejemplo, un número de repeticiones constante, o variables con diferente número de observaciones) se ha utilizado el análisis de varianza general para realizar comparaciones entre medias y observar la importancia de las interacciones entre los diferentes factores dentro de un periodo anual. Así mismo, realización del análisis de contrastes con los tres factores, primero entre dos factores tomando en cuenta uno de los factores como fuente principal de contraste, y agrupando dos factores haciendo que el tercero sea un factor de contraste.
4. Se ha utilizado el test de t-student para verificar si dos poblaciones de muestras dentro de cada factor de variabilidad (estaciones) son diferentes.

#### 4.4. Resultados

##### 4.4.1. Asimilación de CO<sub>2</sub> (fotosíntesis): Medición del intercambio de CO<sub>2</sub> en acículas.

La asimilación de CO<sub>2</sub> por unidad de área foliar encontrada en los individuos localizados en el transecto imaginario de Guardamar del Segura fue de  $1.60 \pm 1.11 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (equivalentes a  $0.91 \text{ g/m}^2 \cdot \text{día}$ ) (Todos los valores de fotosíntesis están expresados por unidad de área foliar).

De las cuatro estaciones estudiadas, la mayor tasa promedio estacional de fotosíntesis fue registrada en primavera, con  $3.9 \pm 0.37 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  y la más baja se ha observado en verano con  $0.14 \pm 0.05 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Sin embargo se han observado valores de tasas fotosintéticas de hasta 4.6 en primavera y de hasta 0.08 en verano.



**Figura 56.** Promedio general de fotosíntesis encontrado entre el 23-Dic-02 y 17-Ago-03 en siete subparcelas del transecto imaginario localizado en el pinar de Guardamar. Las barras indican las desviaciones estándares de la población de muestras.

El resumen de valores medios obtenidos en cada subparcela y estación es presentado en la Fig. 56. Este nos muestra una alta tasa fotosintética en los periodos primaverales seguida de los invernales. Las tasa de fotosíntesis más bajos son localizados en otoño y verano, siendo esta última las más baja en comparación a las otras tres.

Realizando un análisis de varianza general de las tasas fotosintéticas (tabla 30) observamos que existe diferencias altamente significativas entre las estaciones pero no se muestra una diferencia entre las especies, vale decir, las especies asimilaron similmamente el CO<sub>2</sub>. Más abajo, en la misma tabla, se puede observar interacciones prácticamente entre todas las variables. Lo que significaría (tomando en cuenta los factores especie y subparcela, al no mostrarse diferencias significativas en estos factores) que sólo las estaciones tienen una alta

importancia para las especies en la asimilación de carbono o la realización de efectiva fotosíntesis.

**Tabla 30.** Análisis de varianza para los valores de fotosíntesis agrupados por especies (*P. halepensis* Miller y *P. pinea* L.), estación (primavera, verano, invierno, otoño) y subparcelas (1, 2, 3, 4, 5, 6, y 7) mostrando las interacciones entre las variables. Período entre 23-Dic-02 y 17-Ago-03.

Origen	DF	SS	MS	F	p
Especie (A)	1	0.06	0.06	0.340	0.5699
Estación (B)	3	48.80	16.27	91.020	0.0001
Subparcela (C)	6	2.23	0.37	2.080	0.1072
A*B	3	1.97	0.66	3.68	0.032
A*C	6	2.77	0.46	2.58	0.055
B*C	18	8.80	0.49	2.73	0.020
A*B*C	18	3.22	0.18		
<b>TOTAL</b>	<b>55</b>	<b>67.85</b>			

Simbología: DF: Grados de libertad; SS: Suma de cuadrado; MS: Cuadrado medio; F: valor Fisher; p: valor de probabilidad

Para ver con mas claridad la importancia de la interacción subparcela y estación realizamos el análisis de varianza en un solo sentido entre estos factores, y vemos que entre subparcelas no existe diferencias en los procesos fotosintéticos ( $\alpha=0.01$ ;  $p<0.6104$ ) y una diferencia altamente significativa entre estaciones ( $\alpha=0.01$ ;  $p<0.0001$ ), a excepción entre las estaciones de verano e invierno (comparación de medias pareado a través de t studentizado,  $\alpha=0.05$ ;  $p<0.088$ ), que no ha mostrado un diferencia importante.

El análisis de varianza muestra que no existe una diferencia entre los valores medios agrupados por especies (análisis de varianza en un solo sentido:  $\alpha=0.05$ ;  $p>0.8279$ ), tampoco se ha encontrado una diferencia significativa entre los valores medios agrupados por subparcelas (análisis de varianza en un solo sentido:  $\alpha=0.05$ ;  $p>0.9450$ ) y una diferencia altamente significativa entre los valores medios agrupados por estaciones ( $p<0.0001$ ).

Como se ha visto, se observa que existe una interacción significativa entre los tres factores. Para verificar cual de estas ha sido la más significativa, se ha realizado un análisis de contrastes. Tomando como efecto principal de contraste la estación agrupados por subparcela, vemos que los subparcelas en donde se ha visto diferencias altamente significativas en las tasas fotosintéticas han sido en los subparcelas 3 ( $p<0.0001$ ), 6 ( $p<0.0001$ ) y 7 ( $p<0.0001$ ). El subparcela 1 ( $p>0.0035$ ), 4 ( $p<0.0225$ ) y 5 ( $p<0.0185$ ) han mostrado diferencias significativas. Mientras que en el subparcela 2 ( $p<0.7325$ ) no ha existido diferencias entre estas tasas. Tomando como efecto principal de contraste al subparcela agrupados por estación, vemos que no existe diferencias de las tasa fotosintéticas entre las estaciones. De igual forma si tomamos como efecto principal de contraste la especie, ni agrupando por estaciones ni subparcelas se ha observado diferencia alguna entre sus tasas (Ver Anexo 4 tabla 32 a la 36). Por lo que

Balance de carbono

podemos indicar que las diferencias estacionales de las tasas fotosintéticas en nuestras especies, se han debido más a los subparcelas que a las especies. Las respuestas a la fotosíntesis de nuestras especies, han representado la misma proporción en todas estaciones.

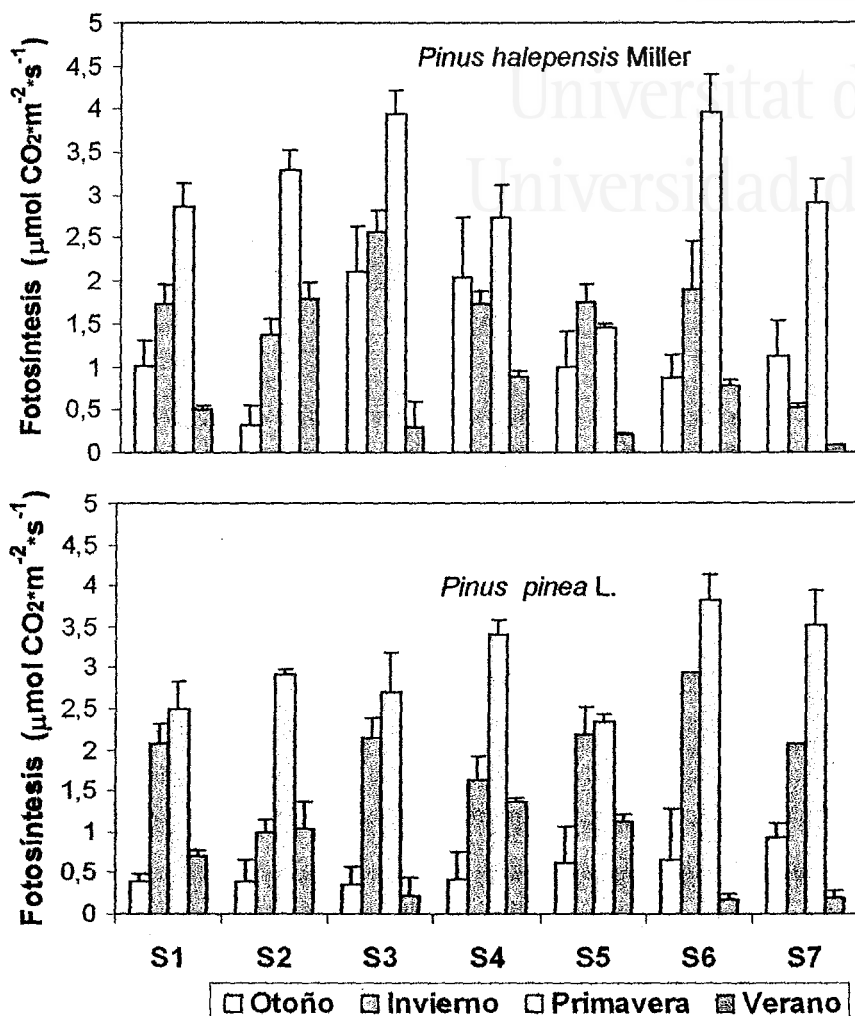


Figura 57. Valores medios de las tasa de fotosíntesis encontrados en siete subparcelas del transecto localizado en el pinar de Guardamar para *P. halepensis* Miller y *P. pinea* L. Las barras indican las desviaciones estándares de la población de muestras. Periodo entre el 23-Dic-02 y 17-Ago-03.

La Fig. 57 muestra las tasas de fotosíntesis obtenidas en grupos estacionales en cada especie. El valor medio para el pino carrasco fue de  $1.63 \pm 1.10$  y  $1.57 \pm 1.14$   $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  para el pino piñonero. Las tasas encontradas entre especies no han sido distintas ( $p > 0.5699$ ).

En el pino carrasco se ha observado diferencias altamente significativas entre estaciones, diferencia que se ve básicamente de la primavera ( $3.02 \pm 0.86$   $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) en comparación con las otras estaciones (invierno  $1.65 \pm 0.62$ , otoño  $1.21 \pm 0.65$  y verano  $0.65 \pm 0.59$ ).

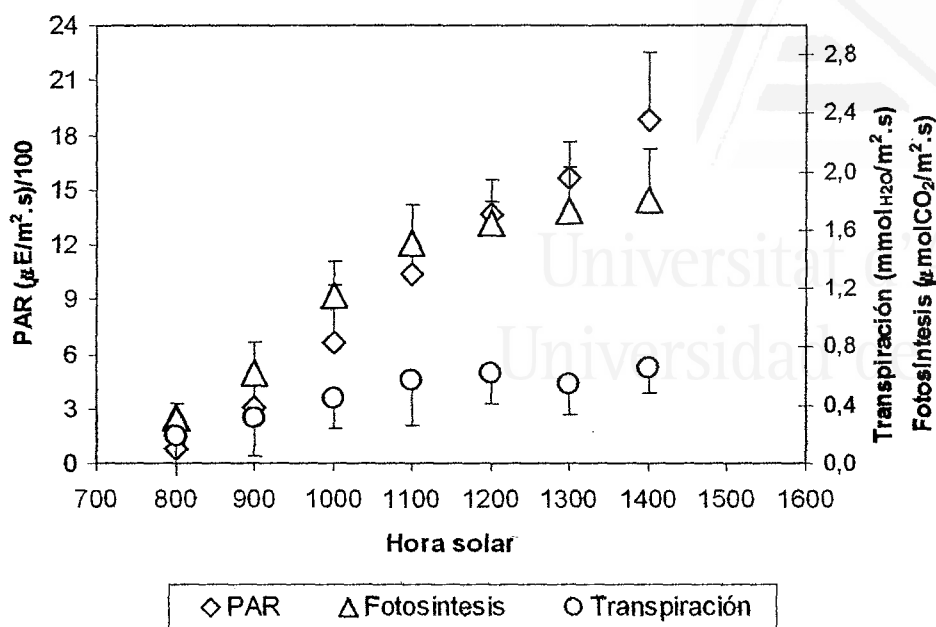
$\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) (LSD nivel de rechazo al  $\alpha=0.01$ ;  $p<0.0001$ ). No se ha encontrado diferencias significativas para los subparcelas (análisis de varianza en un solo sentido,  $p<0.8183$ ).

De la misma forma, el pino piñonero ha mostrado diferencias altamente significativas entre las estaciones (LSD nivel de rechazo al  $\alpha=0.01$ ;  $p<0.0001$ ). La primavera ( $3.03\pm 0.56 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) se ha diferenciado del invierno ( $2.01\pm 0.59 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y estos dos en su conjunto se han diferenciado de verano ( $0.69\pm 0.50 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y de otoño ( $0.53\pm 0.21 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Estas dos últimas no se han diferenciado significativamente. Al igual que en la anterior especie, no se ha encontrado diferencias significativas para los subparcelas (análisis de varianza en un solo sentido,  $p<0.9943$ ).

#### a) Relación de la fotosíntesis con la transpiración y el PAR

Las variaciones de fotosíntesis a lo largo del día se han expresado con diferentes tasas, los que se incrementaron desde las horas de la mañana para luego estabilizarse hasta un punto donde baja, según las expresiones del PAR.

La radiación máxima observada ( $1969\pm 124.24 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  o  $937.62\pm 59.16 \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) se ha presentado en la mayoría de las mediciones al medio día (desde las 13:00 hasta las 14:30). La curva de fotosíntesis ha presentado un periodo de retraso hasta las 08:00 de la mañana, cuando los primeros rayos solares han empezado a aparecer, el cual está enlazado directamente con el periodo de irradiación ó en la que el proceso de fotosíntesis se expresa ( $R^2=0.7494$ ;  $p<0.001$ ) (Fig. 58). En este periodo se ha observado una respuesta fotosintética positiva, subiendo a medida que las horas del día pasaban, hasta llegar a un estado estable o una baja variación. En este periodo se ha registrado la mayor tasa de fotosíntesis, aunque dependiendo de las condiciones medioambientales, ha permanecido por un periodo, luego del cual suponemos ha bajado, en horas de la tarde, debido a la bajada de radiación. El proceso concluirá hasta declinar completamente, pasando las horas de la tarde. De la misma forma, el proceso de transpiración, ha tenido la misma evolución, con una significativa correlación ( $R^2=0.86$ ;  $p<0.001$ ), aunque en periodos que pasaron los  $2000 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , este proceso ha declinado drásticamente.

Balance de carbono

**Figura 58.** Valores medios de las tasa de fotosíntesis, transpiración y radiación fotosintética activa (PAR) encontrados en *P. halepensis* Miller y *P. pinea* L. obtenidos en el transecto imaginario del pinar de Guardamar. Las barras indican las desviaciones estándares de la población de muestras.

La curva de respuesta media de la fotosíntesis a la luz es presentado en la Fig. 59. Se observa que el punto de compensación de la luz esta a los  $28 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $13.3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ), que es el periodo entre las 9:00 y 9:30 en otoño, invierno y primavera y entre las 7:30 y 8:30 del periodo veraniego aproximadamente. En este punto, en bajos niveles de luz, las reacciones de luz-independiente condicionan la realización de fotosíntesis, es decir, existe mayor cantidad de  $\text{CO}_2$  que la fijada por el proceso de fotosíntesis (se aclara que no se indica que no exista fotosíntesis, sólo que hay una limitante para su ocurrencia). El periodo de las reacciones de independencia a la luz, involucra al ciclo de Calvin-Benson. Durante este ciclo, el carbono (proveniente del  $\text{CO}_2$ ) pasa a través de varias formas moleculares para producir más aceptor del  $\text{CO}_2$  (RUBP) y productos finales de la fotosíntesis, como la glucosa y el almidón. El ciclo de Calvin-Benson operará a su máxima velocidad sólo cuando el cloroplasto contenga cantidades adecuadas de esas moléculas. La fase de retraso (en este periodo) sucede después de originarse la radiación hasta que los niveles de las moléculas alcancen niveles de operación. Es decir, que el pino piñonero, alcanza a llenar su requerimiento de metabolitos para realizar la fotosíntesis antes que el pino alepo.

Comparando las respuesta de la fotosíntesis a la radiación se ha visto dos diferentes reacciones en ambas especies. El punto más alto de saturación de luz, y el punto más bajo de compensación de la luz lo ha mostrado el pino piñonero. Además, ya que su curva de respuesta a la luz, inmediatamente después del punto de saturación, presenta una pendiente mayor que la del pino alepo, caracterizando al piñonero como la especie que tiene la más alta

eficiencia fotosintética. Esto cambia en condiciones de verano, ya que el pino alepo, mejora su eficiencia mostrando, incluso eficiencias similares a la del pino piñonero (Fig. 57, círculo). El pino alepo en condiciones primaverales y de invierno, muestra mayores tasas de fotosíntesis ya que se ve que, que en su curva de respuesta de luz, su punto de saturación presenta una ligera subida de la pendiente en comparación a la otra especie, mostrando que puede extender su tasa después de los  $1600 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $762 \text{ W/m}^2$ ) aproximadamente, que es donde las dos especies parecen haber llegado a su punto de estabilización (steady state).

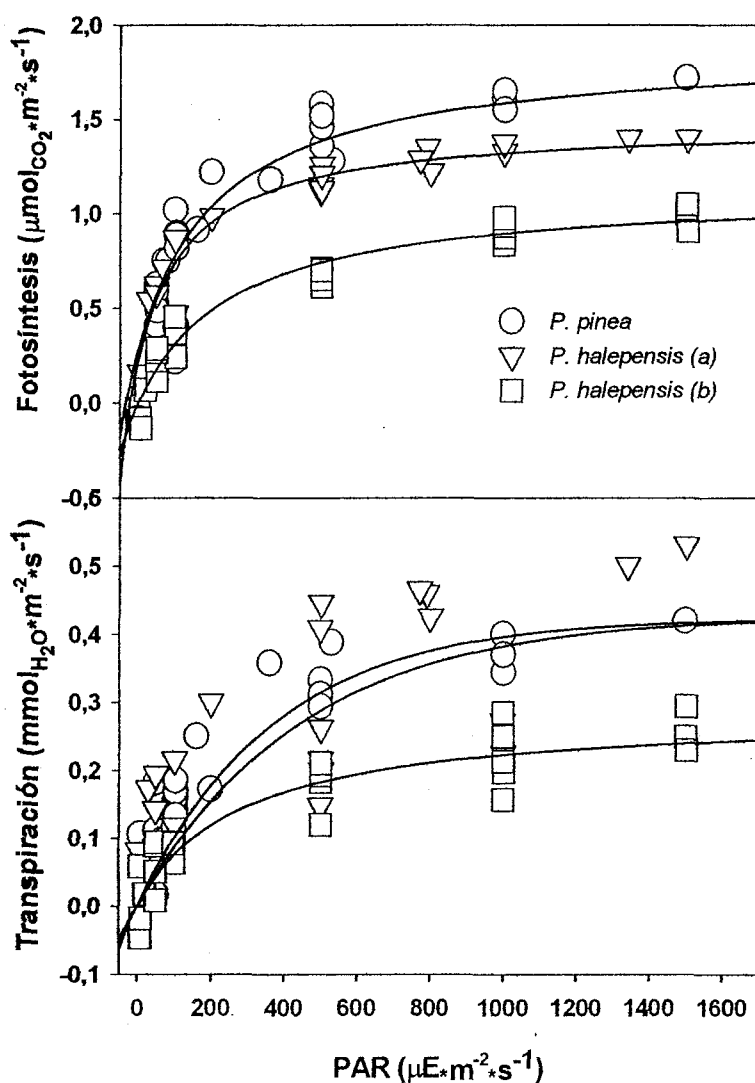


Figura 59. Curva modelo de respuesta de la fotosíntesis y transpiración a la radiación fotosintéticamente activa (PAR) de *P. halepensis* Miller y *P. pinea* L. obtenidos en el transecto imaginario del pinar de Guardamar.

*Balace de carbono*

Desde el punto de vista de las reacciones de independencia a la luz, observamos que la luz es un factor determinante del inicio de la fotosíntesis en *P. halepensis* Miller, ya que, por su pendiente menos pronunciada, tarda más en llenar sus metabolitos.

A partir del punto de saturación de la luz, se observa una dependencia de la fotosíntesis con la temperatura y probablemente con la disponibilidad de agua.

b) *Relación de la conductancia estomática con la temperatura de la hoja.*

La Fig. 60 muestra la relación de la conductancia estomática con la temperatura en la superficie de la hoja, hallada con el IRGA 6400.

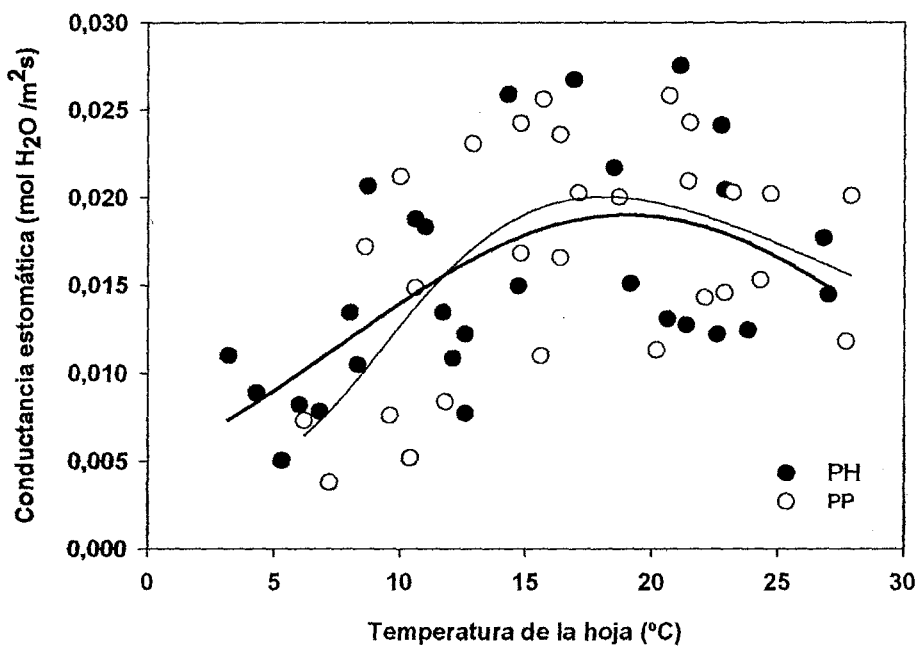


Figura 60. Relación de la conductancia estomática y la temperatura de la hoja encontrada en *P. halepensis* Miller (PH) y *P. pinea* L. (PP).

Esta figura nos muestra que la conductancia aumentará hasta un nivel de temperatura donde la hoja permanecerá con los estomas abiertos, realizando el intercambio gaseoso. Esta apertura llega a su máxima expresión entre los 15°C y 20°C, a partir de la cual parece haber un descenso de conductancia hasta niveles de 0.010 mol H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>s.

#### 4.4.2. Medición de la respiración del suelo.

El promedio del total de respiración del suelo encontrado en los siete subparcelas localizados en el transecto imaginario de Guardamar del Segura fue de  $2.04 \pm 1.33 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (equivalentes a 1.15 g/m<sup>2</sup>.día) (Fig. 61).



La tasa máxima de respiración encontrada fue en primavera del 2003, con  $5.39 \pm 1.24 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  y la más baja se ha observado en verano con  $0.66 \pm 0.13 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , aunque se han observado valores de  $1.40 \pm 6.52 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  en otoño. Sin embargo se han observado tasas fotosintéticas de hasta 6.68 en primavera y valores de  $0.41 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  en verano.

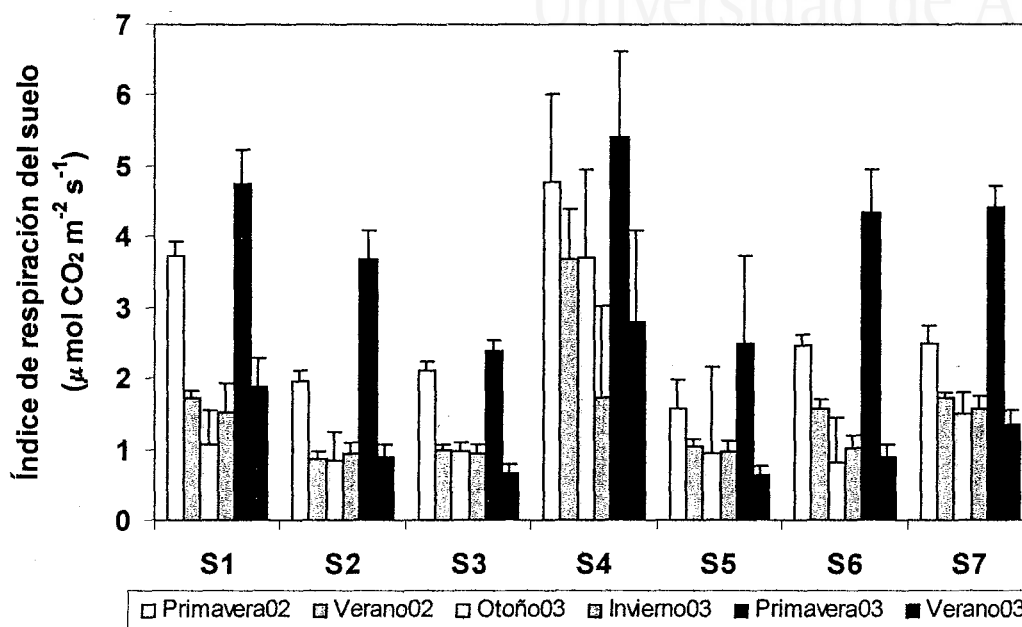


Figura 61. Valores medios de las tasas de respiración del suelo obtenidos en siete subparcelas del transecto localizado en el pinar de Guardamar. Las barras indican las desviaciones estándares de la población de muestras. Periodo del 24-May-02 al 16-Ago-03.

El análisis de varianza de la respiración del suelo (tabla 31) muestra que existe diferencias altamente entre todos los factores e interacciones entre todos éstos, vale decir, la respiración depende tanto de la especie como de la subparcela o de la estación.

Tabla 31. Análisis de varianza para la respiración de suelo en: Especie: *P halepensis* Miller y *P. pinea* L.; Estaciones: primavera02, verano02, otoño03, invierno03, primavera03, verano03; Subparcela: subparcelas de medición 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

Origen	DF	SS	MS	F	p
Estación (A)	5	80.3712	16.0742	2523.25	0.0001
Subparcela (B)	6	50.7827	8.46378	1328.6	0.0001
Especie (C)	1	5.20682	5.20682	817.34	0.0001
A*B	30	12.8323	0.42774	67.15	0.0001
A*C	5	1.19698	0.2394	37.58	0.0002
B*C	6	0.75631	0.12605	19.79	0.0001
A*B*C	30	0.19111	0.00637		
TOTAL	83	151.34			

*Balance de carbono*

Al existir una interacción significativa entre los tres factores, realizamos un análisis de contrastes. Tomando como efecto principal de contraste la estación agrupados por subparcela, vemos que todos los subparcelas presentan diferencias altamente significativas ( $p < 0.0001$ ). Tomando como efecto principal de contraste al subparcela agrupados por estación, vemos que también existe diferencias altamente significativas en sus tasas de respiración entre las estaciones ( $p < 0.0001$ ). De igual forma si tomamos como efecto principal de contraste la especie, agrupando por estaciones o subparcelas se ha observado también diferencias altamente significativas entre sus tasas ( $p < 0.0001$ ). Por lo que podemos indicar que las diferencias estacionales de las tasas de respiración del suelo, se han debido a todos los factores en conjunto.

Si realizamos el análisis de varianza en un solo sentido, observamos que existe diferencias altamente significativas entre las estaciones. Esta diferenciación se ha observado entre las dos primaveras (del año 2002 y del 2003) y de estas con el resto de estaciones, como se puede observar en la tabla 32.

**Tabla 32.** Comparación de medias de flujos en diferentes estaciones del 2002 y 2003 utilizando LSD a un nivel de rechazo de 0.01.

Variables	Media	Grupos
Primavera03	3.9192	I
Primavera02	2.7225	.... I
Verano02	1.6608	..... I
Otoño03	1.4003	..... I
Verano03	1.2964	..... I
Invierno03	1.2414	..... I

Especialmente en todo el período, la subparcela que más flujo han mostrado ha sido la 4 ( $3.6 \pm 1.35 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Las otras subparcelas han mostrado que no son diferentes (subparcela 1:  $2.44 \pm 1.42$ , subparcela 7:  $2.17 \pm 1.15$ , subparcela 6:  $1.85 \pm 1.33$ , subparcela 2:  $1.52 \pm 1.11$ , subparcela 3:  $1.34 \pm 0.71$ , subparcela 5:  $1.27 \pm 0.66 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

**Tabla 33.** Análisis de contrastes de las medias de los flujos de  $\text{CO}_2$  del suelo en subparcelas y estaciones.

Subparcela	Media	Subparcela	Estación	Media	Estación
4	3.6764	$p < 0.0001$	Primavera03	3.9192	$p < 0.0047$
1	2.4421	$p < 0.0016$	Primavera02	2.7225	$p < 0.0007$
7	2.1708	$p < 0.0309$	Verano02	1.6608	$p < 0.7878$
6	1.8502	$p < 0.0035$	Otoño03	1.4003	$p < 0.2148$
2	1.5258	$p < 0.0343$	Verano03	1.2964	$p < 0.0407$
3	1.3425	$p < 0.1390$	Invierno03	1.2414	$p < 0.2962$
5	1.2730	$p < 0.2757$			

Sin embargo al realizar el análisis de contraste del análisis de varianza entre los factores estación y subparcela, vemos los siguientes resultados: La subparcela 1 muestra diferencias altamente significativas en todos los períodos estacionales ( $p < 0.0016$ ), la subparcela 2 diferencias significativas ( $p < 0.0343$ ), la subparcela 3 no muestra diferencias en todas las estaciones ( $p < 0.1390$ ), la subparcela 4 muestra diferencias altamente significativas ( $p < 0.0001$ ), la subparcela 5 no muestra diferencias ( $p < 0.2757$ ), el subparcela 6 muestra diferencias significativas ( $p < 0.0035$ ) y la subparcela 7 lo mismo que la anterior ( $p < 0.0309$ ) (tabla 33). Para aclarar, hacemos que el factor de contraste sea la subparcela, y lo agrupamos en estaciones, así vemos lo siguiente: en el invierno y otoño del 2003 las respiraciones de los suelos en las diferentes subparcelas son similares en todas las estaciones ( $p < 0.2962$  y  $p < 0.2148$  respectivamente) lo mismo que en el verano del 2002 ( $p < 0.7878$ ). Sin embargo en verano del 2003 se observa que existe una diferencia significativa en las respiraciones de los suelos de las diferentes subparcelas ( $p < 0.0407$ ), y más aún, en la primavera del 2002 como del 2003, las respiraciones de los suelos en las distintas subparcelas son diferentes y altamente significativos ( $p < 0.0007$  y  $p < 0.0047$ , respectivamente). Resultados que en principio nos aclara el papel que la primavera y el verano juegan en la respiración del suelo, esto es, básicamente en la diferenciación de cantidad de agua disponible en el perfil del suelo y temperaturas por encima de los 20°C.

Al realizar el análisis de varianza general de la respiración del suelo en los factores especie y estación, observamos que existen diferencias altamente significativas entre estaciones ( $p < 0.001$ ), mas no así entre especies, ya que muestra una diferencia significativa ( $p < 0.0185$ ). La interacción de especie y estación no es significativa ( $p < 0.9288$ ). Realizando el análisis de contrastes tomando como efecto principal de contraste la especie agrupados por estación encontramos que no existen diferencias entre las especies en ninguna estación salvo en primavera del 2003 ( $p < 0.0628$ ) y primavera del 2002 ( $p < 0.1934$ ).

Las respuestas a las precipitaciones y las especies también ha sido importante. Las respuestas anteriormente analizadas nos han hecho pensar que las diferencias de precipitación los dos años han debido afectar la respiración del suelo, ya que en el 2002, se ha tenido precipitaciones menos marcadas estacionalmente que en el 2003. El análisis de varianza general para las estaciones de otoño03, invierno03, primavera03 y verano03 de los tres factores (especie, estación y subparcela), vemos que existe una diferencia altamente significativa dentro de cada una de éstas. De la misma forma, la más alta tasa de respiración que se ha encontrado ha sido en los suelos donde el pino alepo se ha encontrado ( $2.2 \pm 68.56 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) en comparación al pino piñonero ( $1.72 \pm 41.97 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), el cual tuvo una diferencia altamente significativa (comparación de medias de tukey  $\alpha = 0.05$ ;  $p < 0.001$ ) (tabla 34).

*Balace de carbono*

**Tabla 34.** Análisis de varianza de la respiración del suelo agrupados por especie: *P. halepensis* Miller y *P. pinea* L.; estación: otoño03, invierno03, primavera03 y verano03 (Periodo del 18-Oct-02 al 16-Ago-03); subparcelas: 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

Origen	DF	SS	MS	F	p
<b>Especie (A)</b>	1	3.21818	3.21818	401.12	0.0001
<b>Estación (B)</b>	3	71.517	23.839	2971.3	0.0001
<b>Subparcela (C)</b>	6	27.6963	4.61605	575.35	0.0001
<b>A*B</b>	3	1.06511	0.35504	44.25	0.0001
<b>A*C</b>	6	0.41248	0.06875	8.57	0.0002
<b>B*C</b>	18	9.69681	0.53871	67.15	0.0001
<b>A*B*C</b>	18	0.14442	0.00802		
<b>TOTAL</b>	55	113.75			

La estación en la que más flujo se ha encontrado ha sido en primavera del 2003 ( $3.9 \pm 18.80 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) y primavera del 2002 ( $2.7 \pm 16.93 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Se ha observado que entre estos dos existe una diferencia altamente significativa (tukey  $\alpha=0.05$ ;  $p<0.001$ ), así como de estos dos en comparación al resto de estaciones (tukey  $\alpha=0.05$ ;  $p<0.001$ ).

Estos últimos (verano, otoño, invierno) no se diferenciaron. Las subparcelas donde se han respirado más han sido en las subparcelas 4 ( $3.4 \pm 16.03 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) y 1 ( $2.30 \pm 17.39 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) y 7 ( $2.21 \pm 13.88 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Este grupo ha tenido una diferencia altamente significativa en comparación a los subparcelas 6, 2, 5, y 3. Esto se puede explicar por las características y las posiciones de las subparcelas mencionadas en la tabla 28.

Realizando un análisis de varianza de los factores de medición en relación a los parámetros observados, advertimos que existe una significativa diferencia entre estaciones y entre los resultados de las variables (flujo de  $\text{CO}_2$ , temperatura del suelo, contenido gravimétrico de agua en el suelo, valor relativo en peso del contenido de raíces en el suelo). Las variables han seguido una tendencia característica en cada estación. Las subparcelas no han sido factores limitantes para el flujo de  $\text{CO}_2$ , por lo que no ha existido una interacción altamente significativa entre las subparcelas y las estaciones (tabla 34). Asimismo, se ha observado una interacción significativa entre las variables y los subparcelas. Es decir, ha existido una diferencia significativa entre los flujos de  $\text{CO}_2$ , temperatura del suelo, contenido gravimétrico de agua en el suelo, valor relativo en peso del contenido de raíces en el suelo en todas las estaciones como en los subparcelas (Fig. 63).

Para dilucidar la influencia de la estación y las subparcelas en los flujos de  $\text{CO}_2$ , se ha realizado el análisis de varianza de estas (tabla 35). Se observa que existe una diferencia altamente significativa entre las estaciones y las subparcelas. Para observar en cual de las subparcelas la estación ha sido un efecto preponderante hemos realizado un análisis de contraste tomando como efecto principal la subparcela. Este análisis nos ha indicado que la

subparcela 1 (la más cercana al mar) ha tenido diferencias significativas de flujos de CO<sub>2</sub> entre las cuatro estaciones. La menos afectada por estas diferencias estacionales ha sido la subparcela 4, donde se ha observado que sus flujos en estos periodos no se diferencian significativamente. Esto es contrastante, ya que las medias de los flujos de CO<sub>2</sub> en las dos subparcelas mencionadas tienen el valor medio más alto del periodo de medición.

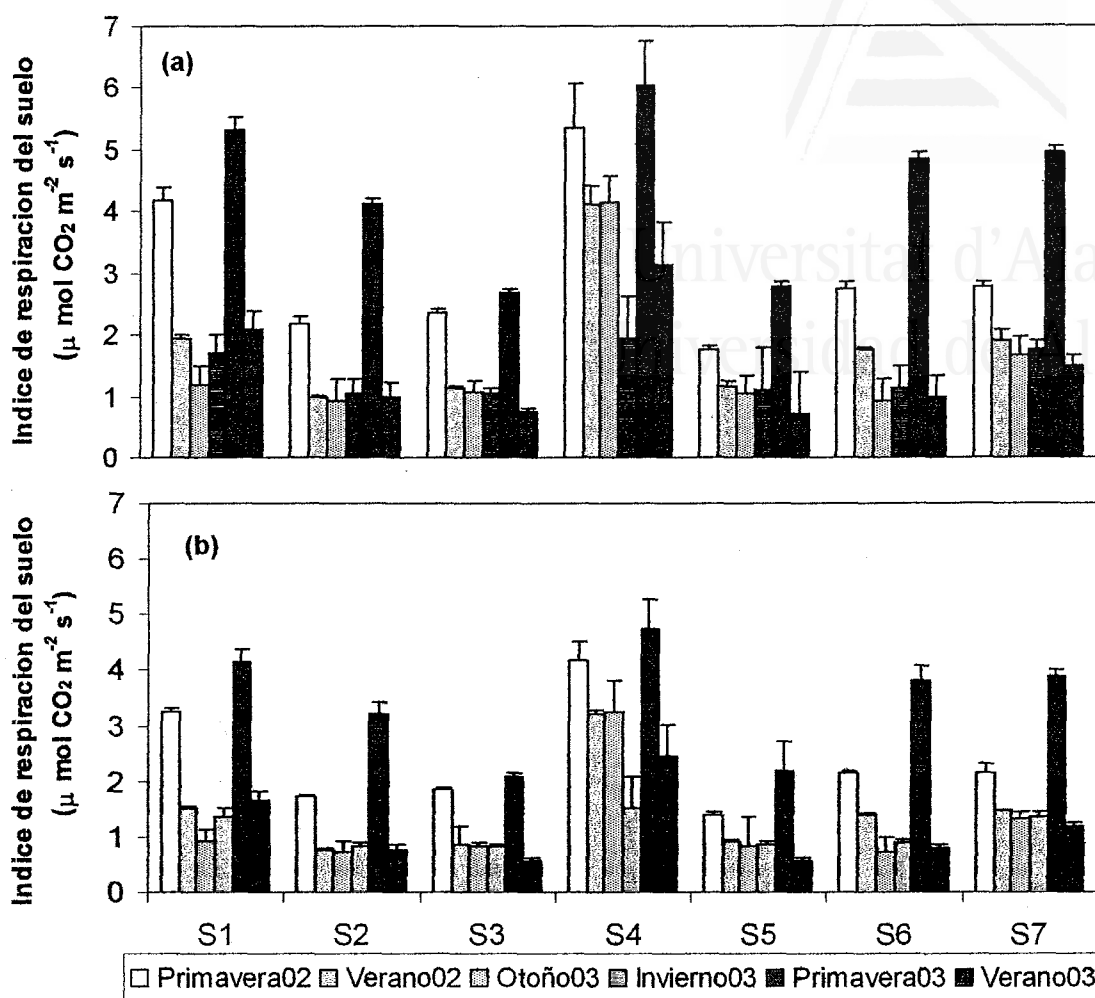
**Tabla 35.** Análisis de varianza para los flujos de CO<sub>2</sub> agrupados por las subparcelas de medición (1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7) y cuatro estaciones.

Origen	DF	SS	MS	F	p
Estación (A)	3	35.7585	11.9195	44.25	0.0001
Subparcela (B)	6	13.8481	2.30802	8.57	0.0002
A*B	18	4.84841	0.26936		
TOTAL	27	54.455			

La Fig. 62 muestra las tasas de respiración del suelo obtenidas en grupos estacionales en cada especie. El valor medio para el pino carrasco fue de  $2.29 \pm 1.49$  y  $1.79 \pm 1.16$   $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  para el pino piñonero. Estas diferencias encontradas entre especies sin embargo no ha sido significativa ( $p > 0.0912$ ).

En el pino carrasco se ha observado diferencias altamente significativas entre estaciones, diferencia que se ve básicamente entre la primavera 2003 ( $4.39 \pm 1.27$   $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) y la primavera del 2002 ( $3.05 \pm 1.26$   $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) y de estas dos estaciones en comparación a las otras estaciones (invierno03:  $1.39 \pm 0.39$ , otoño03:  $1.57 \pm 1.17$  y verano02:  $1.86 \pm 1.08$   $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (LSD nivel de rechazo al  $\alpha = 0.01$ ;  $p < 0.0001$ ). El análisis entre subparcelas ha encontrado que la subparcela 4 se diferencia significativamente del resto de subparcelas (LSD nivel de rechazo al  $\alpha = 0.05$ ;  $p < 0.0135$ ).

De la misma forma, el pino piñonero ha mostrado diferencias altamente significativas entre las estaciones (LSD nivel de rechazo al  $\alpha = 0.01$ ;  $p < 0.0001$ ). La primavera del 2003 ( $3.44 \pm 0.99$   $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) se ha diferenciado de la primavera del 2002 ( $2.01 \pm 0.99$   $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) y ambos se han diferenciado del resto (invierno03:  $1.09 \pm 0.31$ , otoño03:  $1.22 \pm 0.91$  y verano02:  $1.45 \pm 0.84$   $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Al igual que en la anterior especie, el análisis entre subparcelas ha encontrado que la subparcela 4 ( $3.22 \pm 1.15$ ) se diferencia significativamente del resto de subparcelas (LSD nivel de rechazo al  $\alpha = 0.05$ ;  $p < 0.0136$ ).

*Balace de carbono*

**Figura 62.** Valores medios de las tasas de respiración del suelo obtenidos en siete subparcelas del transecto localizado en el pinar de Guardamar para (a) *P. halepensis* Miller y (b) *P. pinæ* L. Periodo del 18-Oct-02 al 16-Ago-03 y del 24-May-02 al 29-Jun-02. Las barras indican las desviaciones estándares de la población de muestras.

a) *Relación de la respiración con la temperatura y la humedad del suelo*

Se ha visto que existe una relación positiva de la respiración del suelo con la temperatura, a excepción a temperaturas mayores a 25°C, la cual ha presentado una correlación negativa. La relación positiva se ha visto en primavera, invierno y otoño, y la negativa en verano (Fig. 63a).

Así mismo, se ha visto que la respiración es dependiente del contenido de agua del suelo. Ya que las tasas de respiración han sido muy bajas en períodos secos como en verano, y han ido aumentando a medida que el contenido de agua también aumentó, como en otoño, primavera. Sin embargo esta respuesta está muy relacionada a la temperatura, ya que se observa que en primavera existe mayor tasa de respiración del suelo que en otoño; en ésta última se registraron temperaturas bajas en relación a la primavera (Fig. 63b).

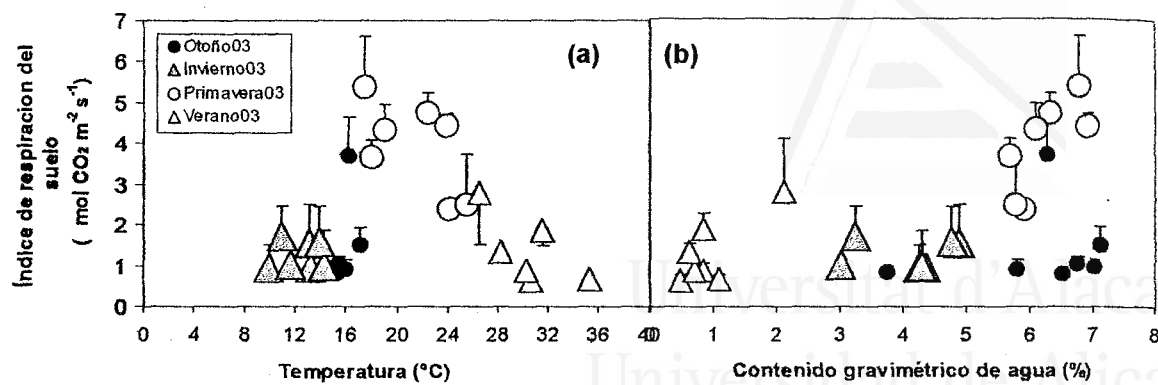


Figura 63. Relación de los valores medios de las tasas de respiración del suelo con la (a) temperatura y el (b) contenido gravimétrico de agua obtenidos en siete subparcelas del transecto localizado en el pinar de Guardamar. Las barras indican las desviaciones estándares de la población de muestras.

De la misma forma se ha visto que existe una relación positiva y altamente significativa de la respiración del suelo con la razón peso de suelo y peso de raíces ( $R^2=0.83$ ; desviación estándar=0.81266;  $p<0.0001$ ) Fig 64a). Esto se explica por la marcada relación de la temperatura y el contenido de agua en el perfil del suelo con la respiración del suelo, ya que a medida la temperatura sube hasta niveles superiores de 20°C, el agua también sube; sin embargo, pasado los 25°C el contenido de humedad en el suelo parece decrecer drásticamente, tanto que muestra una relación inversamente proporcional (Fig. 64b).

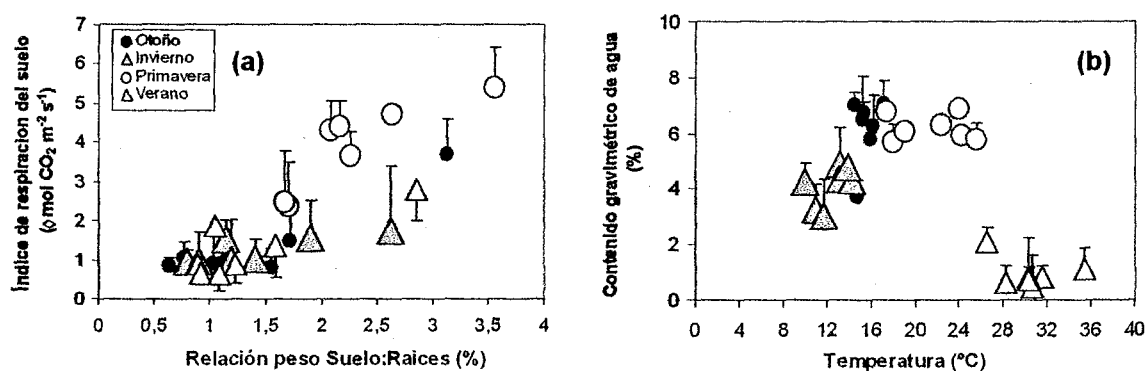


Figura 64. Relación de los valores medios de las tasas de respiración del suelo y (a) la razón peso de suelo y raíces, y (b) la relación contenido gravimétrico de agua con la temperatura obtenidos en siete subparcelas del transecto localizado en el pinar de Guardamar. Las barras indican las desviaciones estándares de la población de muestras.

## Balace de carbono

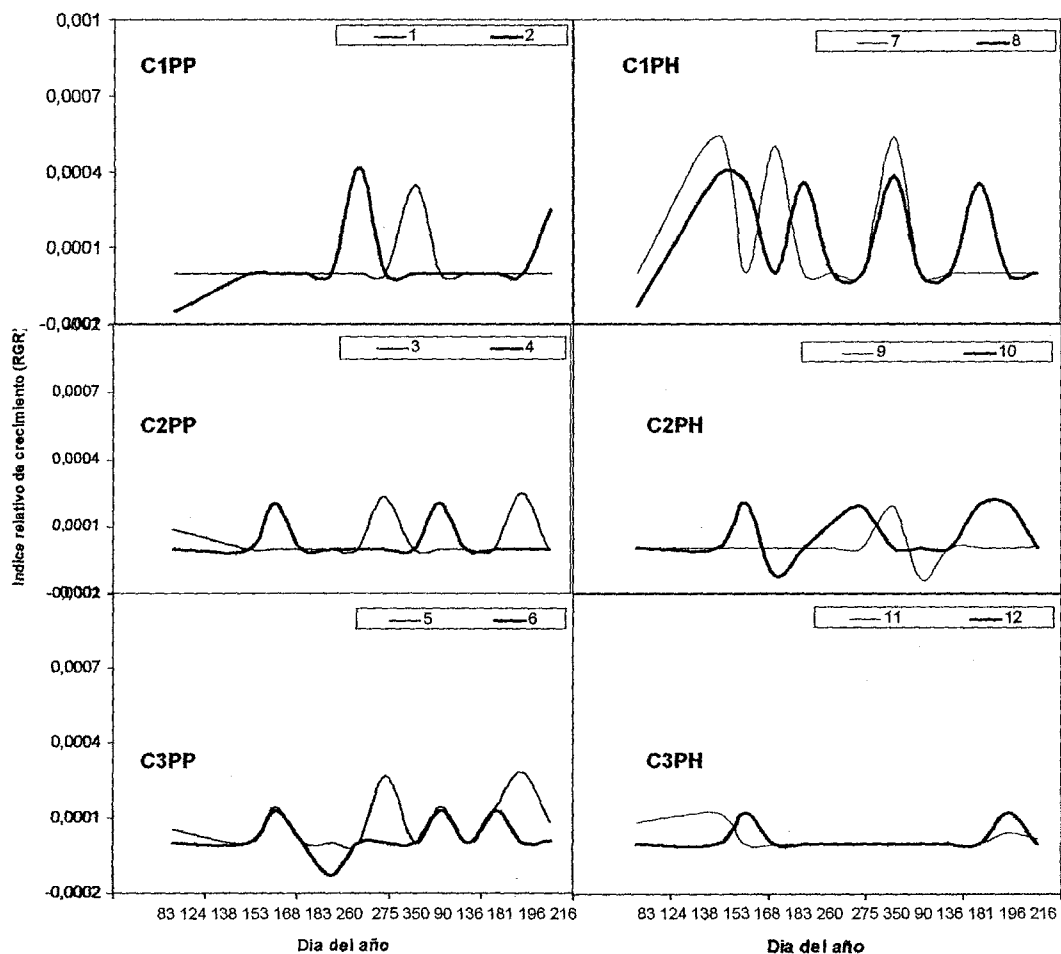
### Respiración de la raíz

Realizando la estimación de la respiración autotrófica (de la raíz) se vió que la raíz contribuye con el 52.12% al total de la respiración del suelo ( $1.06 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  equivalentes a  $2.19 \text{ MgC/Ha}\cdot\text{año}$ ). Se ha visto además que el *pino carrasco* ( $1.16\pm 0.49 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) contribuye con mayor cantidad que el *pino piñonero* ( $0.97\pm 0.42 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

### 4.4.3. Estimación de la biomasa.

#### Estima del crecimiento en diámetro

En el período entre el 24-03-02 y 04-08-03, se han medido en forma sucesiva los diámetros de 36 individuos de ambas especies y tres clases diamétricas, 12 de los cuales luego fueron utilizadas para el muestreo destructivo de producción de biomasa (Fig. 65).



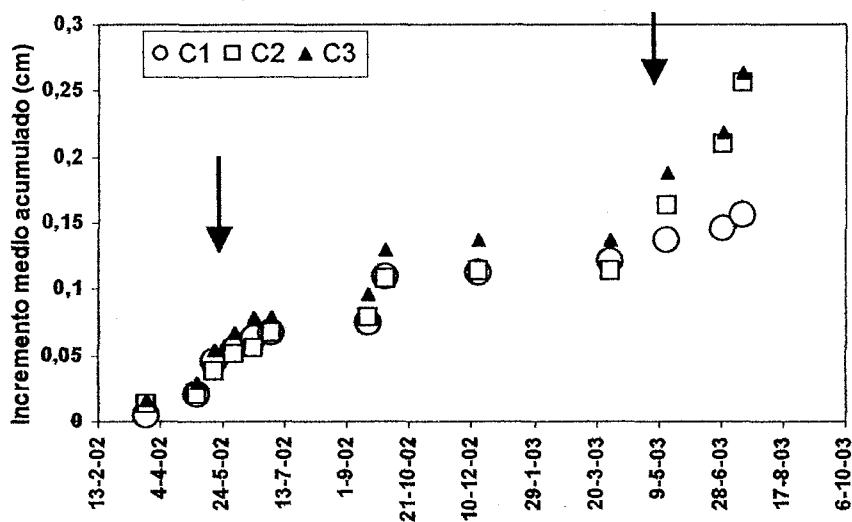
**Figura 65.** Índice relativo de crecimiento en 36 individuos de las clases diamétricas 1 (menores a 13 cm -C1), 2 (entre 13 y 20 cm -C2) y 3 (mayores a 20 cm -C3), de las especies de *Pinus pinea* L. (PP) y *P. halepensis* Miller (PH). Cada línea representa el promedio de tres individuos.



Los índices relativos de crecimiento (RGR) son presentados en la Fig. 65. En general se ha observado que existe un crecimiento mínimo, encontrándose periodos de incremento nulo en varias partes del período de medición, lo que podría ser una respuesta de desarrollo del árbol a las condiciones del medio ambiente.

Descartando el ruido de las mediciones, se ha efectuado el análisis de crecimiento por medio de la comparación de los diámetros de todos los individuos, dentro de cada clase diamétrica. El total de acumulación del incremento diametral en el periodo referido ha sido de 1.56 mm para la clase diametral 1, de 2.09 mm para la clase diametral 2 y de 2.18 mm para la clase diametral 3.

Se ha visto que el RGR no tiene diferencias significativas entre unas y otras (comparación de medias con el test de Tukey  $\alpha=0.05$ ;  $p<0.4569$ ), es decir, no hubo diferencias de crecimiento entre clases diamétricas ni entre especies.



**Figura 66.** Incremento medio acumulado de las clases diamétricas 1 (menores a 13 cm -C1), 2 (entre 13 y 20 cm -C2) y 3 (mayores a 20 cm -C3) en el periodo del 24-03-02 al 04-08-03. Las flechas indican el periodo primaveral.

En todo el periodo el incremento medio ha sido de  $2.2 \pm 1.60$  mm. Sin embargo se ha visto que existe periodos en la que prácticamente el valor medido no se ha incrementado. Los valores negativos de incremento, han sido originados posiblemente a la introducción de errores en la medición, interferencia mecánica.

Estacionalmente, aunque en menor proporción, se ha notado que la mayoría de los individuos han incrementado su diámetro al finalizar el período primaveral, luego del cual han mantenido su valor. (Fig. 66).

*Balace de carbono***Relaciones alométricas**

En la tabla 36 se pueden observar los resultados de las relaciones alométricas entre el área de la sección del tronco (CSA) y los componentes de la biomasa siguiendo la metodología de Acosta-Mireles *et al.* (2002). Los resultados de la alometría muestran una alta significancia para todos los componentes; la mejor correlación obtenida ha sido para las acículas.

**Tabla 36.** Parámetros de correlación entre los componentes de la biomasa del árbol y el área seccional del tronco a 1.3 m (CSA), donde Y es la biomasa aérea y X es el CSA.

Componente	Forma	n	b	k	R <sup>2</sup>	Std Error	p
Acículas	$Y = bx^k$	12	0.0132	1.7956	0.88	b= 5.01319 k=0.96872	<0.0321 <0.0001
Ramas gruesas	$Y = bx^k$	12	0.0055	2.0197	0.83	b= 3.34107 k= 0.81650	<0.0001 <0.0001
Ramas delgadas	$Y = bx^k$	12	0.6310	0.9804	0.82	b= 6.86848 k= 1.25465	<0.1953 <0.0001
Tronco	$Y = bx^k$	12	0.4903	1.072	0.85	b= 4.12095 k= 0.67909	<0.2033 <0.0001
Raíz	$Y = bx^k$	12	0.0465	1.5919	0.84	b= 2.81095 k= 0.72919	<0.0033 <0.0001
Biomasa aérea	$Y = bx^k$	12	0.1649	1.1823	0.91	b= 3.67944 k=0.17860	<0.0147 <0.0001
Total árbol	$Y = bx^k$	12	0.1535	1.2535	0.91	b= 4.63944 k=0.22360	<0.0232 <0.0001

Los resultados del agrupamiento de los datos de la recolección de ramas delgadas más acículas de los prismas imaginarios instalados en las copas de los árboles y los encontrados en los árboles cortados han mostrado que sus pendientes son semejantes (pendientes con intercepciones iguales a cero, de 0.0005 para la primera y 0.0007 para la segunda) (Fig. 67) y esto significa una similitud significativa entre sus medias ( $CSA_{\text{árbol}} = 3.56 \text{ cm}^2$ ;  $\text{peso}_{\text{árbol}} = 0.0029 \text{ Kg}$ ;  $CSA_{\text{prisma}} = 4.49 \text{ cm}^2$ ;  $\text{peso}_{\text{prisma}} = 0.0031 \text{ Kg}$ ; Paired T test  $\alpha = 0.05$ ;  $p > 0.6131$ ; Std error = 0.0004). Lo cual nos indicaría que los pesos de las acículas más ramas en relación a sus diámetros están altamente correlacionados con los encontrados en las copas de los árboles.

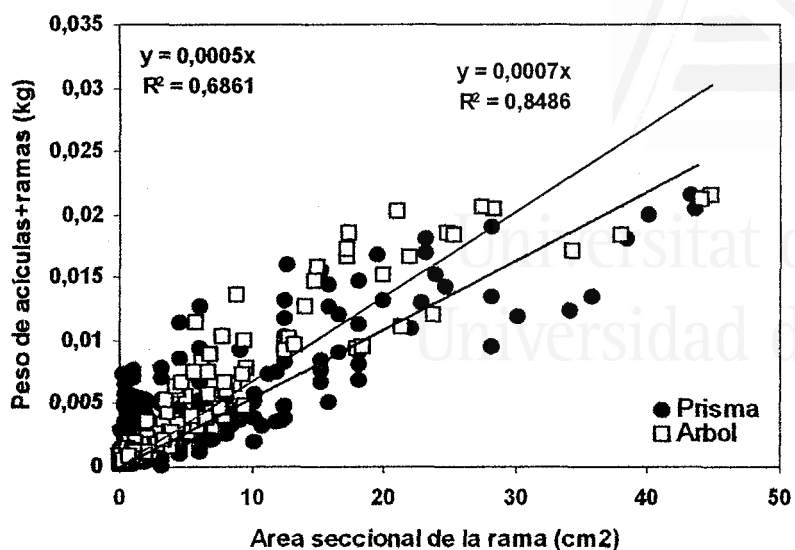


Figura 67. Relación del promedio del peso seco de las ramas mas acículas en el prisma y en los árboles con el área seccional de sus ramas.

### Producción de hojarasca

La caída de hojas en las diferentes estaciones ha sido similar en el año 2002 y 2003. El promedio mensual de caída de hojas ha sido  $0.21 \pm 0.20$  Mg/Ha.mes (equivalentes a  $21 \text{ g/m}^2 \cdot \text{mes}$  o  $0.021 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{mes}$ ). Anualmente se ha dado una caída de  $2.52 \pm 3.44$  Mg/Ha.año. Los mayores volúmenes de hojarasca han sido recogidos en el inicio del período de estiaje, esto es, al iniciar verano. Los meses que menos han contribuido a la caída hojas han sido las estaciones con presencia de lluvias, aunque se ha visto caídas de hasta  $20 \text{ g/m}^2$  en enero y febrero. La ausencia total de caída de hojas ha sido en el mes de marzo. Los meses de mínima cantidad recolectada se han localizado en los meses de primavera abril y mayo (Fig. 67).

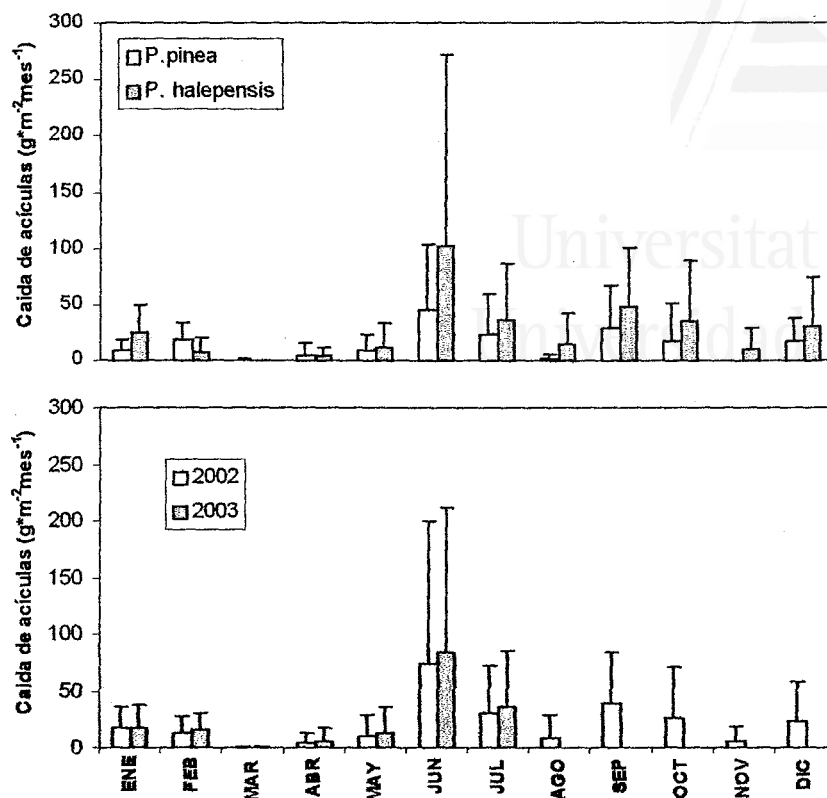
*Balance de carbono*

Figura 68. Relación de la caída de hojas durante el periodo de investigación en el pinar.

La especie que aportó un mayor volumen de hojarasca fue el *pino carrasco* ( $0.27\pm 0.28$  Mg/Ha.mes) en comparación al *pino piñonero* ( $0.15\pm 0.13$  Mg/Ha.mes). Esta especie además ha contribuido más a la caída de hojas en el mes de junio, al comenzar la época de verano.

#### **Densidad de madera**

Los resultados de la estimación de la densidad de madera nos mostraron que el *pino piñonero* tiene una densidad de  $628.93\pm 103.8$  Kg/m<sup>3</sup> ( $0.63$  g/cm<sup>3</sup>) y el *pino alepo* una densidad de  $665.32\pm 70.1$  Kg/m<sup>3</sup> ( $0.67$  g/cm<sup>3</sup>).

#### **Biomasa de individuos**

a) Biomasa aérea de individuos.

La biomasa aérea de los individuos se ha estimado a través del cociente de la producción de biomasa del individuo por encima del suelo y el área que cubre la copa del árbol. El valor medio estimado de biomasa ha sido de  $3.69\pm 1.08$  Kg/m<sup>2</sup> de proyección de copa de árbol (equivalentes a 36.87 Mg/Ha).

Del total, las acículas tuvieron una biomasa de  $0.93 \pm 0.29 \text{ Kg/m}^2$ , las ramas gruesas  $0.53 \pm 0.21 \text{ Kg/m}^2$ , ramas delgadas  $1.07 \pm 0.45 \text{ Kg/m}^2$ , el tronco tuvo producción de  $1.16 \pm 0.44 \text{ Kg/m}^2$  de copa de árbol.

La biomasa de las especies no se ha diferenciado significativamente entre las dos especies de nuestro estudio ( $3.74 \pm 1.21$  y  $3.63 \pm 1.05 \text{ Kg/m}^2$  para *P. halepensis* Miller y *P. pinea* L. respectivamente). De los componentes, las acículas tuvieron una biomasa de  $0.93 \pm 0.23 \text{ Kg/m}^2$  y de  $0.93 \pm 0.37 \text{ Kg/m}^2$  para el *pino piñonero* y el *pino carrasco*, respectivamente. Para el *pino carrasco* las ramas delgadas tuvieron  $1.06 \pm 0.57 \text{ Kg/m}^2$ , las ramas gruesas  $0.58 \pm 0.17 \text{ Kg/m}^2$  y el tronco  $1.06 \pm 0.22 \text{ Kg/m}^2$ . El *pino piñonero* produjo  $0.47 \pm 0.24 \text{ Kg/m}^2$  de ramas gruesas,  $1.08 \pm 0.36 \text{ Kg/m}^2$  de ramas delgadas,  $1.26 \pm 0.60 \text{ Kg/m}^2$  de tronco (Fig.69).

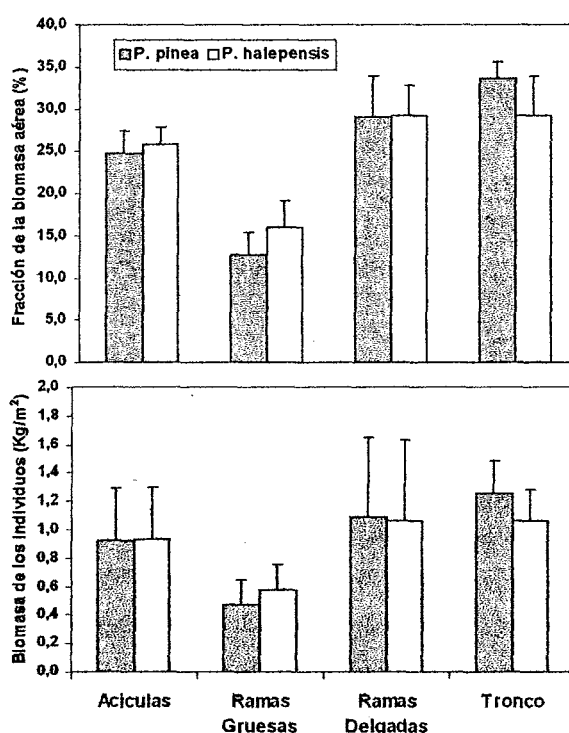


Figura 69. (a) Contribución porcentual de las fracciones al total de biomasa aérea. (b) Peso medio de la biomasa aérea respecto de la proyección de la copa del individuo en 12 árboles.

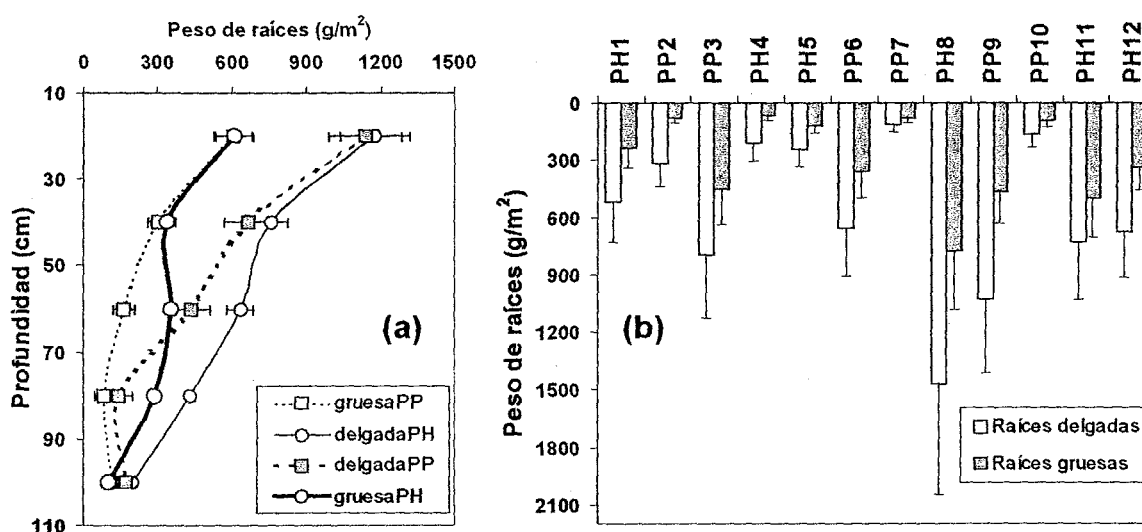
*Balace de carbono*

La biomasa aérea total obtenida del corte de árboles y el prisma dió como resultado que del total de biomasa bruta, como media, 25% es acícula (hojarasca y acículas cosechadas del árbol en conjunto), 18 y 27% son ramas delgadas y gruesas respectivamente, y 30% del peso total es el tronco. Viendo las distribuciones de cada especie, *P. halepensis* Miller, cuenta con 25, 16, 28, y 30% de acículas, ramas gruesas, ramas delgadas, y tronco respectivamente. *P. pinea* L., cuenta con 25 y 26% de acículas y tronco respectivamente y 19 y 26% entre ramas gruesas y delgadas. Se ha observado que *P. halepensis* Miller lleva 5.14% más ramas (entre delgadas y gruesas) que *P. pinea* L., en cambio éste ha mostrado mayoría en el peso del tronco con un 3% más que la anterior.

## b) Biomasa subterránea de individuos.

La biomasa subterránea media encontrada fue de  $4.37 \pm 3.1$  Kg/m<sup>2</sup> de proyección de copa de árbol (equivalentes a 43.7 Mg/Ha). Esta variabilidad ha dado como resultado un amplio rango de valores que ha oscilado desde los 11.2 hasta los 0.9 Kg/m<sup>2</sup>. Las profundidades en donde mayor cantidad de raíz se ha encontrado ha sido en los primeros 40 cm, con más del 60% de raíces presentes en el perfil.

El mayor porcentaje de raíces finas se ha encontrado en la parte superior del perfil del suelo. Las raíces finas han representado un 67.1% del total de las raíces (de entre raíces gruesas y finas), las cuales se presentaron mayoritariamente en los primeros 40 cm de profundidad (hasta 43% del total). Las raíces gruesas han representado un 21% sobre el total de las raíces encontradas en este nivel. (Fig. 70).



**Figura 70. (a)** Distribución promedio de raíces gruesas y delgadas en *P. pinea* L. (PP) y *P. halepensis* Miller (PH) en función a la profundidad del estrato dunar. **(b)** Valor promedio de raíces gruesas y delgadas en *P. pinea* L. y *P. halepensis* Miller en los individuos estudiados en base a siete muestras.

Si realizamos el análisis del perfil entero en relación a estos primeros 40 cm, encontramos la existencia de la mayor cantidad de raíces de todo el perfil, con 65% para raíces finas y de 63% para raíces gruesas.

c) Biomasa total de individuos.

La biomasa total ha dado como resultado que un 14% del total del individuo es acícula, un 24% ramas, 18% tronco y 44% raíces (Fig. 71). Observando los resultados por separado, entre las dos especies, tenemos que en el pino carrasco las acículas forman un 13.8%, las ramas 24.6%, tronco un 16.2% y las raíces un 45.4%. En el pino piñonero se ha observado que 14.6%, 23.9%, 19.0% y 42.6% son acículas, ramas, tronco y raíces respectivamente.

Realizando un análisis de varianza de los valores encontrados en los componentes del árbol y entre las especies, observamos que existe una diferencia altamente significativa entre las proporciones de los componentes aéreos y las raíces ( $\alpha=0.01$ ;  $p>0.001$ ) (tabla 38). Esto nos ha revelado que la proporción de acículas y ramas es similar en todos los árboles, que se diferencian de la proporción de troncos y raíces, y de la misma forma estas dos últimas también se diferencian (Fig. 69). No se ha encontrado diferencias entre los valores del pino carrasco y pino piñonero ( $\alpha=0.05$ ;  $p>0.9757$ ) (tabla 37).

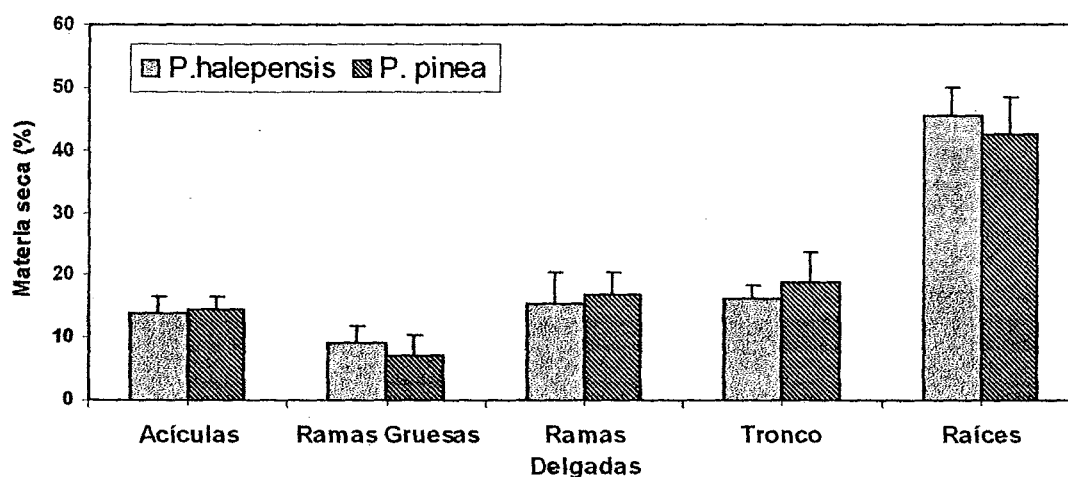


Figura 71. Proporción de la biomasa en 12 individuos de *P. pinea* L. y *P. halepensis* Miller separados en acículas, ramas, tronco y raíces. Todos los valores referidos a la proyección de la copa del árbol.

*Balance de carbono***Tabla 37.** Análisis de varianza para la proporción de biomasa agrupados por componentes y especies.

Origen	DF	SS	MS	F	p
Componente (A)	6	542.056	903.427	27.16	0.0000
Especie (B)	1	140.105	140.105	0.42	0.5185
A*B	6	494.431	0.82405	0.25	0.9574
Residual	70	232.843	332.632		
TOTAL	83	781.244			

Simbología: DF: Grados de libertad; SS: Suma de cuadrado; MS: Cuadrado medio; F: valor Fisher; p: valor de probabilidad

**Tabla 38.** Comparación de medias de la proporción de componentes de la biomasa utilizando LSD a un nivel de rechazo de 0.01.

Variables	Media (Kg/m <sup>2</sup> )	Desviación estándar	Grupos
Biomasa total	8.052	3.2181	I
Rafces	4.366	3.1131	.... I
Biomasa aérea	3.736	1.0810	.... I
Tronco	1.1784	0.4413	..... I
Ramas delgadas	1.0822	0.4543	..... I
Acículas	0.9494	0.2902	..... I
Ramas gruesas	0.5467	0.2072	..... I

***Biomasa aérea en la parcela vallada***

La biomasa de los individuos de la parcela se ha obtenido a través de la aplicación de las relaciones alométricas de la tabla 35; la sumatoria de este valor se ha relacionado con el área de la parcela. El valor total estimado de la biomasa ha sido de 2.15 Kg/m<sup>2</sup> de suelo (equivalentes a 21.48 Mg/Ha). Del total, las acículas tuvieron una biomasa de 0.54 Kg/m<sup>2</sup>, las ramas gruesas 0.33 Kg/m<sup>2</sup>, ramas delgadas 0.61 Kg/m<sup>2</sup>, el tronco tuvo una biomasa de 0.67 Kg/m<sup>2</sup> de suelo.

***Biomasa aérea en el transecto imaginario***

La biomasa del transecto se ha estimado a través del área transversal del tronco de 684 árboles medidos en 22 subparcelas de 6125 m<sup>2</sup> del cuadrilátero imaginario y las relaciones alométricas encontradas a través del muestreo destructivo en la parcela vallada. Es decir, se ha utilizado la información de los diámetros para estimar la biomasa para luego relacionarlo al área de suelo que éstas ocupan.

El valor total estimado de la biomasa ha sido de 4.24 Kg/m<sup>2</sup> de suelo (equivalentes a 42.45 Mg/Ha). Los valores de biomasa varían según se alejan de la costa (tabla 39). Los valores más inferiores se localizan a los 285 y 390 m de la costa. Los valores más altos se han localizado tierras adentro a los 810 hasta los 985 m.



**Tabla 39.** Biomasa estimada a diferentes distancias del mar en el transecto imaginario del pinar de Guardamar del Segura (El primer punto del transecto se encuentra a 250 m de distancia de la costa). Número entre paréntesis muestra la subparcela de muestreo para fijación de CO<sub>2</sub> y muestreo de suelos. n= número de árboles.

Distancia al primer punto del transecto	n	Área	Biomasa (Kg)	Biomasa (Kg/m <sup>2</sup> )	Biomasa (Mg/Ha)
A 35 m (S1)	12	6125	10394.0	1.70	17.0
A 70 m	10	6125	6616.5	1.08	10.8
A 105 m	14	6125	18072.4	2.95	29.5
A 140 m (S2)	14	6125	13173.2	2.15	21.5
A 175 m	14	6125	8428.2	1.38	13.8
A 210 m	14	6125	15133.4	2.47	24.7
A 245 m (S3)	36	6125	20761.3	3.39	33.9
A 280 m	22	6125	15039.8	2.46	24.6
A 315 m	22	6125	14065.2	2.30	23.0
A 350 m (S4)	37	6125	32262.3	5.27	52.7
A 385 m	25	6125	21163.8	3.46	34.6
A 420 m	42	6125	45714.1	7.46	74.6
A 455 m	56	6125	35968.3	5.87	58.7
A 490 m (S5)	37	6125	18382.7	3.00	30.0
A 525 m	49	6125	42204.5	6.89	68.9
A 560 m	56	6125	30395.2	4.96	49.6
A 595 m (S6)	42	6125	44211.3	7.22	72.2
A 630 m	55	6125	42088.2	6.87	68.7
A 665 m	49	6125	28292.7	4.62	46.2
A 700 m (S7)	49	6125	39534.7	6.45	64.5
A 735 m	51	6125	55245.2	9.02	90.2
<b>Total</b>	<b>706</b>	<b>131250</b>	<b>557147.01</b>	<b>4.24</b>	<b>42.45</b>

#### 4.4.4. Carbono en el pinar de Guardamar del Segura.

##### Carbono en los individuos muestreados

Tomando los valores de biomasa de los 12 individuos del muestreo destructivo se ha calculado el carbono en los componentes del árbol. Los valores estimados de carbono total acumulados en la biomasa de los árboles son presentados en la tabla 40. El valor medio general en la parcela de estudio fue de  $1.80 \pm 0.53 \text{ kgC.m}^{-2}$  de proyección de la copa del árbol. El valor medio para el pino alepo fue de  $1.77 \pm 0.51 \text{ kgC.m}^{-2}$  y para el pino piñonero fue de  $1.82 \pm 0.59 \text{ kgC.m}^{-2}$  de proyección de la copa del árbol.

*Balance de carbono***Tabla 40.** Valor medio de carbono en los componentes de *P. pinea* L. y *P. halepensis* Miller registrado por m<sup>2</sup> de proyección de copa del árbol en el pinar de Guardamar del Segura.

Especie	Acículas (kgC.m <sup>-2</sup> )	Ramas Gruesas (kgC.m <sup>-2</sup> )	Ramas Delgadas (kgC.m <sup>-2</sup> )	Tronco (kgC.m <sup>-2</sup> )	Raíces (kgC.m <sup>-2</sup> )	Total aérea (kgC.m <sup>-2</sup> )
<i>Pinus pinea</i> L.	0.42±0.10	0.24±0.12	0.54±0.18	0.63±0.30	1.92±1.39	1.82±0.59
<i>P. halepensis</i> Miller	0.42±0.16	0.29±0.09	0.53±0.28	0.53±0.11	2.45±1.80	1.77±0.51
Valor medio	0.42±0.13	0.26±0.10	0.54±0.23	0.58±0.22	2.18±1.56	1.80±0.53

El análisis de varianza para las poblaciones de muestras de ambas especies vemos que no existe una diferencia significativa entre las dos especies, pero sí entre sus componentes ( $\alpha=0.05$ ;  $p<0.0001$ ) (tabla 41). La comparación de test Tukey (tabla 42) nos ha mostrado que los componentes son similares al 5% pero diferentes al 1% de significancia. No se ha observado diferencias entre el contenido de carbono de la biomasa aérea y la biomasa subterránea. Separando estas por especie, nos da la misma tendencia que en la biomasa; es decir, ambas especies tienen la misma proporción de carbono en sus componentes.

**Tabla 41.** Análisis de varianza para el contenido de carbono en la biomasa de la parcela enmallada agrupados por componentes y especies.

Origen	DF	SS	MS	F	p
Componente (A)	6	146.913	24.4855	30.18	0.0001
Especie (B)	1	0.33554	0.33554	0.41	0.5223
A*B	6	1.19927	0.19988	0.25	0.9580
Residual	70	56.8008	0.81144		
TOTAL	83	205.248			

**Tabla 42.** Comparación de medias del contenido de carbono en los componentes del árbol utilizando LSD a un nivel de rechazo de 0.01.

Variabes	Media (kgC.m <sup>-2</sup> )	Desviación estándar	Grupos (5%)	Grupos (1%)
Biomasa total	3.9799	1.5730		
Raíces	2.1830	1.5565	....	....
Biomasa aérea	1.7969	0.5274	....	....
Tronco	0.5792	0.2207	.....	.....
Ramas delgadas	0.5361	0.2272	.....	.....
Acículas	0.4182	0.1306	.....	.....
Ramas gruesas	0.2633	0.1036	.....	.....

### **Carbono en la parcela vallada y el transecto imaginario**

El carbono almacenado en la parcela vallada se ha estimado en  $2.2 \text{ KgC/m}^2$  de suelo y el carbono almacenado en el transecto imaginario ha dado como promedio en  $2.12 \pm 2.33 \text{ KgC/m}^2$  de suelo, lo que muestra que la parcela vallada ha resultado representativa de la zona de estudio.

### **Carbono acumulado en la parcela vallada en el periodo de estudio**

El carbono acumulado durante el período de estudio en la parcela se ha determinado utilizando los incrementos anuales en los diferentes componentes. Para las ramas gruesas y raíces se ha utilizado la proporción de incremento en el diámetro de troncos; la caída de acículas ha servido para estimar las acumulaciones de acículas y ramas delgadas, para el tronco, la variación anual absoluta de su diámetro. La información utilizada fue la comprendida entre el 24 de marzo del 2002 y el 04 de diciembre del 2003 (498 días), extrapolada a 365 días y la superficie de la parcela. Asumiendo que estos incrementos en este período afecta la dinámica de las fracciones o los componentes del árbol, se ha estimado la acumulación de carbono anual, como se muestra en la tabla 43.

**Tabla 43.** Valor medio de carbono anual acumulado en los componentes de *P. pinea* y *P. halepensis* Miller estimado a través del muestreo destructivo en la parcela de investigación del pinar de Guardamar del Segura ( $\text{MgC.Ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ ).

<b>Componente</b>	<b><i>Pinus pinea</i> L.</b>	<b><i>P. halepensis</i> Miller</b>
<b>Acículas</b>	0.30±0.13	0.34±0.18
<b>Ramas Gruesas</b>	0.06±0.03	0.09±0.03
<b>Ramas Delgadas</b>	0.24±0.10	0.29±0.17
<b>Tronco</b>	0.07±0.05	0.06±0.03
<b>Raíces</b>	0.10±0.07	0.13±0.06
<b>Total</b>	0.66±0.26	0.77±0.38

El valor medio anual de carbono acumulado en los árboles de la parcela de investigación fue de  $0.72 \pm 0.83 \text{ MgC.Ha}^{-1}\text{.año}^{-1}$ . El valor medio para el *pino alepo* fue de  $0.77 \pm 0.38 \text{ MgC.Ha}^{-1}\text{.año}^{-1}$  y para el *pino piñonero* fue de  $0.66 \pm 0.26 \text{ MgC.Ha}^{-1}\text{.año}^{-1}$ .

De la misma forma, tomando los datos recolectados con el IRGA-6400 en el transecto imaginario, se ha convertido el flujo de carbono obtenido con este instrumento a  $\text{MgC.Ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ , la que posteriormente hemos utilizado como dato del carbono entrante en el ecosistema.

### **Acumulación de carbono en la biomasa aérea del transecto imaginario**

*Balance de carbono*

Utilizando las relaciones alométricas de la tabla 35, los datos de cambio de diámetro obtenidos en cuatro momentos [período entre el de mayor (02-04-2002 y 13-04-2003) y el de mínimo crecimiento (29-07-2002 y 01-08-2003), primavera y verano] y el área que cubre el transecto se ha calculado las cantidades de biomasa acicular acumulado en el periodo mencionado.

Los valores de la estimación de la cantidad de biomasa acicular acumulada en el transecto, han sido convertidos en proporciones de carbono por cada subparcela (tabla 44), y con esto se ha esperado representar su cambio a través del tiempo, en las cuatro mediciones de todo el periodo de investigación.

La cantidad de carbono encontrada en el transecto parece cambiar de acuerdo a las condiciones climáticas, ya que se observa un incremento mínimo en la época primaveral. En el primer año se observa un aumento de la biomasa mayor que el segundo año, debido probablemente, a que en el principio de la investigación se ha exhibido una fuerte precipitación, es decir, se pasaba de un periodo de buena cantidad de precipitación, a otra de precipitación media de la zona.

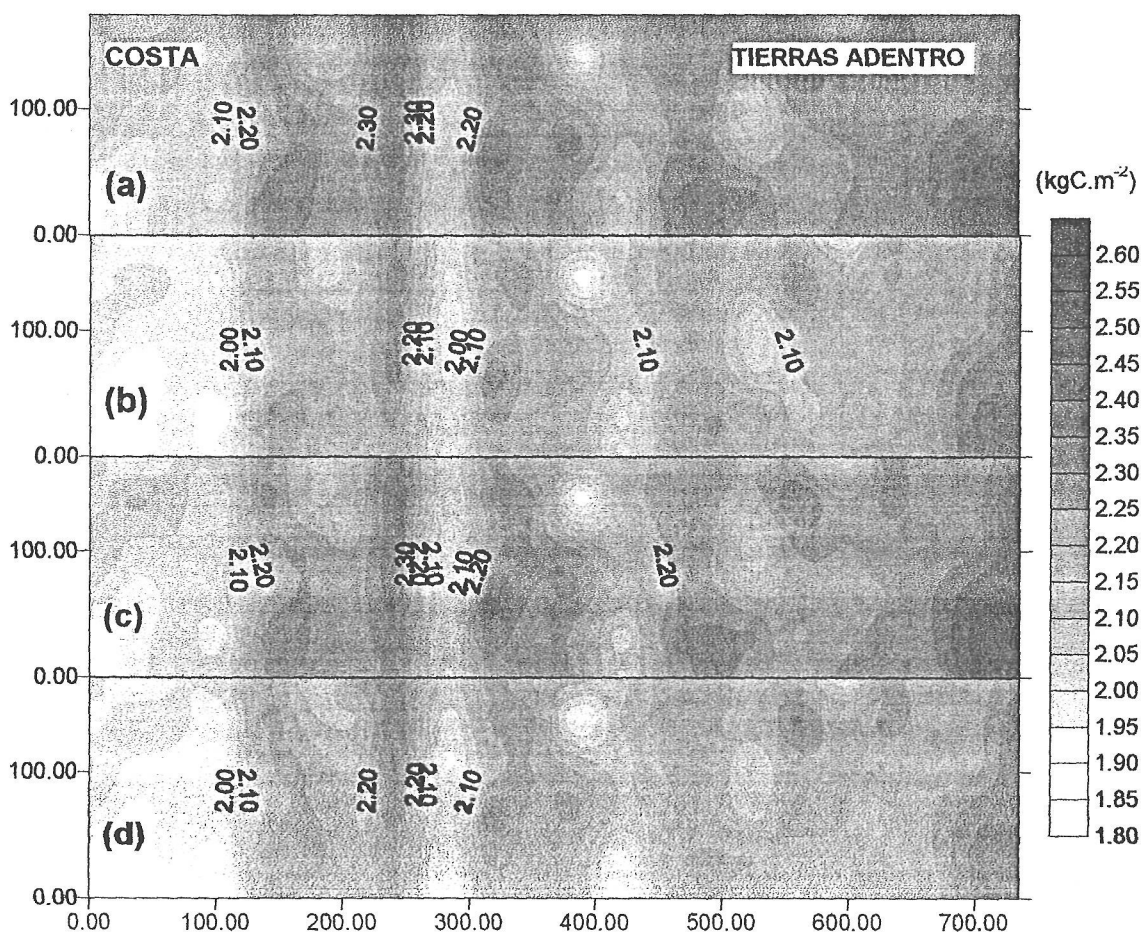
**Tabla 44.** Valores estimados de carbono acumulado en la biomasa de acículas del pinar de Guardamar del Segura. (CO<sub>2</sub>1) primavera 2002 (22-05-02), (CO<sub>2</sub> 2) verano 2002 (27-06-02), (CO<sub>2</sub> 3) primavera 2003 (13-05-03) y (CO<sub>2</sub> 4) verano 2003 (14-08-03). (MgC.Ha<sup>-1</sup>). 0 metros es la subparcela más cercano al mar del transecto (a 250 m de la costa).  $\Delta \emptyset$  = Incremento diametral de los árboles medidos (mm).

Distancia	Área	CO <sub>2</sub> 1 (MgC/Ha)	$\Delta \emptyset$	CO <sub>2</sub> 2 (MgC/Ha)	$\Delta \emptyset$	CO <sub>2</sub> 3 (MgC/Ha)	$\Delta \emptyset$	CO <sub>2</sub> 4 (MgC/Ha)
A 35 m (S1)	6125	0.37	0.07	0.27	0.03	0.20	0.12	0.18
A 70 m	6125	0.24	0.08	0.17	0.02	0.13	0.11	0.11
A 105 m	6125	0.65	0.15	0.47	0.05	0.38	0.04	0.36
A 140 m (S2)	6125	0.47	0.01	0.34	0.09	0.27	0.19	0.26
A 175 m	6125	0.30	0.13	0.21	0.03	0.17	0.06	0.15
A 210 m	6125	0.54	0.09	0.39	0.19	0.31	0.28	0.24
A 245 m (S3)	6125	0.75	0.36	0.54	0.26	0.43	0.17	0.39
A 280 m	6125	0.54	0.19	0.38	0.09	0.29	0.00	0.20
A 315 m	6125	0.51	0.05	0.36	0.15	0.29	0.24	0.28
A 350 m (S4)	6125	1.16	0.15	0.82	0.05	0.63	0.04	0.56
A 385 m	6125	0.76	0.06	0.54	0.04	0.44	0.13	0.40
A 420 m	6125	1.64	0.17	1.17	0.27	0.93	0.36	0.89
A 455 m	6125	1.29	0.07	0.93	0.17	0.74	0.26	0.68
A 490 m (S5)	6125	0.66	0.16	0.48	0.06	0.38	0.03	0.35
A 525 m	6125	1.52	0.19	1.09	0.09	0.83	0.00	0.74
A 560 m	6125	1.09	0.18	0.79	0.08	0.69	0.01	0.58
A 595 m (S6)	6125	1.59	0.24	1.14	0.14	0.94	0.05	0.87
A 630 m	6125	1.51	0.18	1.09	0.08	0.89	0.01	0.84
A 665 m	6125	1.02	0.17	0.73	0.07	0.59	0.02	0.56
A 700 m (S7)	6125	1.42	0.12	1.02	0.02	0.82	0.07	0.77
A 735 m	6125	1.98	0.14	1.42	0.04	1.12	0.05	1.04
	131250	0.95	0.14	0.68	0.09	0.55	0.10	0.50

### c) Acumulación de carbono en la biomasa subterránea del transecto imaginario

A través de la estimación de los valores de biomasa subterránea en el transecto, obtenidos a través de la relación alométrica de la tabla 35, se ha observado que la biomasa radicular no ha variado significativamente en todo el tiempo de investigación (Fig. 72).

En la estimación del carbono almacenado en el suelo, no se ha considerado la cantidad de biomasa de la hojarasca ni de las raíces muertas, ya que se ha realizado la estimación de estas a través de la respiración del suelo. En todo caso a través de esta estimación se ha deducido una proporción del 46% de materia orgánica con respecto al total de éste.



**Figura 72.** Valores estimados de carbono acumulado en las raíces del suelo del pinar de Guardamar. (a) primavera 2002 (22-05-02), (b) verano 2002 (27-06-02), (c) primavera 2003 (13-05-03) y (d) verano 2003 (14-08-03).

*Balancede carbono***Respiración autotrófica y heterotrófica**

Los valores de estas dos respiraciones se han estimado utilizando los datos obtenidos con el IRGA-6400.

Los valores más altos de respiración heterotrófica fueron observados en primavera tanto en el pino carrasco (2.05 Mg C/Ha.año) como en el pino piñonero (2.17 Mg C/Ha.año). Los valores más bajos han sido registrados en el periodo de invierno (0.40 y 0.28 Mg C/Ha.año para el *pino carrasco* y el *pino piñonero*, respectivamente). Estos valores son consistentes con la presencia de lluvias, en primavera, y las temperaturas bajas de invierno.

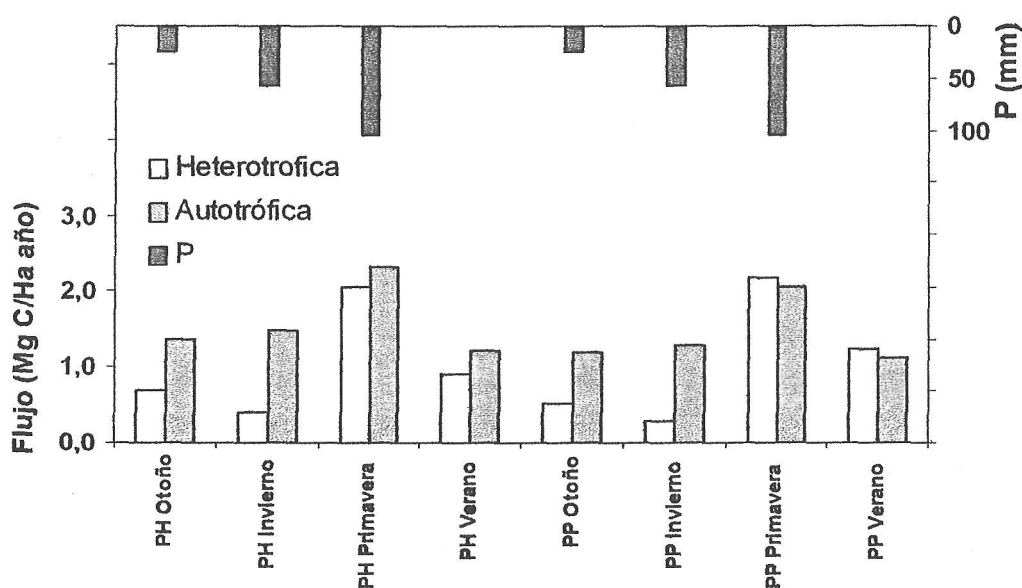


Figura 73. Valores de respiración heterotrófica y autotrófica observados en *P. halepensis* Miller (PH) y *P. pinea* L. (PP) el pinar de Guardamar del Segura. Periodo entre el 24-03-02 y el 04-08-03.

Los valores estimados de respiración autotrófica también se han distinguido en las estaciones, ya que se ha tenido una mayor respiración en la primavera, en ambas especies (Fig. 72). Otoño, invierno y verano han tenido valores similares en las dos especies (1.37, 1.49 y 1.23 MgC/Ha.año para el *pino carrasco*, y 1.20, 1.30, 1.13 MgC/Ha.año para el *pino piñonero*).

## 4.4.5. Balance de carbono general

Para estimar la producción primaria bruta (PPB) y la respiración total del suelo [en el cual está inserto en parte la respiración autotrófica ( $R_{raiz}$ ) y la otra, la respiración heterótrofica ( $R_{hetero}$ )] se han convertido los datos tomados con el IRGA 6400 del mismo periodo relacionando estos valores con el valor del LAI de las dos especies, y finalmente, relacionando este valor con la sumatoria de los diámetros de la parcela partido por la superficie de ésta. Los valores así obtenidos se expresaron en  $MgC.Ha^{-1}.año^{-1}$  para su comparación y serían las que se obtendrían si se mantuvieran constantes durante un año las tasa medidas en cada estación. La producción primaria neta (PPN) es la diferencia de la PPB y la respiración autotrófica (suma de  $R_{raiz}$  y  $R_{mant}$ ). El resumen de estos resultados se presentan estacionalmente en la tabla 45.

**Tabla 45.** Balance de carbono para *P. pinea* L. y *P. halepensis* Miller registrado en el periodo de investigación (18-12-02 al 16-08-03) en Guardamar del Segura. Dif.: representa la producción neta del ecosistema ( $MgC.Ha^{-1}.año^{-1}$ ).

Especie	Estación	PPB	$R_{raiz}$	$R_{mant}$	PPN	$R_{hetero}$	$R_{eco}$	PPB- $R_{eco}$
<i>P. halepensis</i> Miller	Otoño	2.49	0.92	0.45	1.12	0.70	2.07	0.42
	Invierno	3.41	1.04	0.45	1.92	0.40	1.89	1.52
	Primavera	6.25	1.88	0.45	3.92	2.05	4.38	1.86
	Verano	1.34	0.78	0.45	0.11	0.91	2.14	-0.79
	<b>Anual</b>	<b>3.37</b>	<b>1.16</b>	<b>0.45</b>	<b>1.77</b>	<b>1.01</b>	<b>2.62</b>	<b>0.75</b>
<i>P. pinea</i> L.	Otoño	1.39	0.75	0.45	0.18	0.53	1.74	-0.35
	Invierno	4.15	0.85	0.45	2.85	0.28	1.57	2.57
	Primavera	6.26	1.60	0.45	4.21	2.17	4.22	2.04
	Verano	1.43	0.68	0.45	0.30	1.24	2.37	-0.94
	<b>Anual</b>	<b>3.31</b>	<b>0.97</b>	<b>0.45</b>	<b>1.89</b>	<b>1.05</b>	<b>2.48</b>	<b>0.83</b>
Promedio anual		<b>3.34</b>	<b>1.06</b>	<b>0.45</b>	<b>1.83</b>	<b>1.03</b>	<b>2.55</b>	<b>0.79</b>

## 4.5. Discusión

### 4.5.1. Asimilación de CO<sub>2</sub> (fotosíntesis): Medición del intercambio de CO<sub>2</sub> en acículas.

La tasa media de fotosíntesis ( $1.60 \pm 1.11 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), identificada en las especies coníferas de nuestra parcela, han mostrado ser consistentes con otras de medio ambientes similares. De hecho ha mostrado estar dentro del rango de valores de fotosíntesis de zonas áridas y semiáridas. Valores comparables a los árboles plantados en Yatir (Israel) de un clima subdesértico, que presentan tasas fotosintéticas de 1.22, 1.66, 1.21, 1.40  $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$  en árboles de *P. halepensis* de 3.4 a 7 m de altura (Atzmon, *et al.* 2004). Esta tasa, clasificada por otros autores como una de las más bajas en comparación a otros ecosistemas más atemperados, ha tenido una alta correlación con las características climáticas y del medio. Esto se confirma observando el análisis de varianza realizado para la fotosíntesis agrupando en especies, sitios, y adicionalmente, variables como la temperatura y la disponibilidad de agua. Las dos especies han respondido de manera significativa al cambio estacional, y han tenido una respuesta similar en los diferentes sitios de muestreo. Por las marcadas diferencias en las estaciones, se ha visto también que las respuestas al cambio de la temperatura y la disponibilidad de agua ha sido de la misma magnitud en ambas especies.

Observando las desviaciones de las poblaciones de muestras, hemos localizado tasas de fotosíntesis por encima del promedio encontrado, que se han comparado con tasas encontradas en medio ambientes menos extremos y más atemperados. Por el contrario, también se han encontrado valores que se equiparan con los encontrados en investigaciones de plantas sometidas a extrema sequedad, y próximas a la marchitez permanente. Esto es consistente con las respuestas estacionales de transpiración de nuestras especies a los cambios de temperatura y humedad del suelo en periodos de verano.

El comportamiento de las tasas de fotosíntesis ha variado a lo largo del día, siendo las más bajas al inicio y al final del día, encontrándose las máximas tasas al medio día a partir de las 10:00, coincidiendo con Peters *et al.* (2003) quienes trabajando con *Pinus canariensis* en un ambiente mediterráneo de 11°C, y una precipitación de 930 mm, y teniendo la mayor precipitación concentrada en abril, encontraron que los valores de fotosíntesis alcanzan su máxima tasa en la mañana, disminuyendo después progresivamente. De la misma forma, estos autores, señalan que en condiciones naturales los patrones de fotosíntesis pueden presentar dos comportamientos: una, con un solo pico (de acuerdo a los niveles de luz existentes), al medio día, y otra, donde la asimilación de carbono alcanza dos picos: uno en la mañana y otra pasado el medio día, presentando una depresión al medio día en condiciones de influencia (saturación) de déficit de presión de vapor y temperatura, coincidiendo con Schulze y Hall (1982), citados por Peters *et al.* (2003).



#### a) Relación de la fotosíntesis con la transpiración y el PAR

La respuesta de adaptación de estas especies (*P. halepensis* Miller y *P. pinea* L.) a las condiciones del pinar en estudio ha sido confirmada con el análisis de interacción y contraste de medias, mostrándonos que son más influyentes los sitios que las especies al cambio de las tasas fotosintéticas en las diferentes estaciones. Esto es razonable, si tomamos las características de cada sitio, en especial las características del suelo. Las diferencias que existen entre las dunas cercanas y más alejadas a la costa son evidentes. Estas se notan en cantidad de agua almacenada en el perfil del suelo, que a su vez está relacionado a las características de fijación dunar. Lo cual está apoyado con los resultados de potencial de agua y la cantidad de agua disponible en el suelo. En verano se ha visto que la disponibilidad de agua de los primeros 20 cm ha disminuido drásticamente, lo que al comienzo de este periodo se ha expresado a través de potenciales bastante negativos (de hasta  $-2.8$  Mpa) en comparación de a los obtenidos en primavera (de hasta de  $-1.4$  Mpa), coincidiendo con Scarascia-Mugnozza (1986), quien estudió la reacción de plántulas regeneradas naturalmente de *P. halepensis* Miller bajo diferentes potenciales de xilema, y encontró que a presiones de  $-2.6$  Mpa la planta no abría los estomas incluso durante todo el día.

La disminución de las tasa de fotosíntesis en el sitio más alejado a la playa podría explicarse por la existencia de temperaturas más elevadas debida a la densidad arbórea, este efecto se han notado más en verano. Con temperaturas mayores a  $37^{\circ}\text{C}$  (PAR  $2106 \mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$  o  $1002.8 \text{ W}/\text{m}^2$ ) las tasas de fotosíntesis han decrecido hasta  $0.081$  en *P. halepensis* Miller, y de  $0.203 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  para *P. pinea* L.. En las mismas condiciones, sitios con una menor densidad de árboles, como en las subparcelas 1, 3 y 5 (estas dos últimas en las crestas dunares), sus tasas han sido de  $0.504$  en *P. halepensis* Miller, y de  $0.709$  para *P. pinea* L. en la subparcela 1;  $0.296$  y  $0.217$  en la subparcela 3; y de  $0.201$  y  $1.13 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  en la subparcela 5, para en *P. halepensis* Miller, y *P. pinea* L. respectivamente.

Así mismo se observa que las mejores condiciones para la realización de este proceso han estado entre las temperaturas de  $20$  y  $21.5^{\circ}\text{C}$  para *P. halepensis* Miller y de  $19.7$  y  $20.4^{\circ}\text{C}$  para *P. pinea* L., coincidiendo con Méthy et al. (1997) quienes trabajando con *Quercus ilex* y *P. halepensis* con cambios inducidos de temperatura para encontrar variaciones en la actividad del fotosistema II, señalan que el *P. halepensis* muestra mayor sensibilidad al incremento de temperatura a partir de los  $35^{\circ}\text{C}$  y que su mayor eficiencia de este fotosistema se puede encontrar entre los  $20$  y  $25^{\circ}\text{C}$ . Así mismo, según Cabrera (2002), en las plantas, los altos niveles de radiación, provocan fotoinhibición de la fotosíntesis y destrucción fotooxidativa del aparato fotosintético caracterizado por una reducción en la eficiencia de la utilización de la luz. Asimismo señala que la fotoinhibición es provocada por la pérdida del funcionamiento de los fotosistemas II que se manifiesta como una disminución, transitoria o permanente, en la eficiencia cuántica de la fotosíntesis (mol de  $\text{CO}_2$  fijado por mol de fotones absorbido).

Balance de carbono

La relación de la fotosíntesis con la transpiración ha sido lineal ( $R^2=0.86$ ;  $n=56$ ;  $p<0.001$ ) por lo que se confirma su directa relación. Sin embargo, las proporciones de estos dos parámetros ha sido variable. Las curvas de respuesta a lo largo del día nos han mostrado aquello. Aunque se ha visto proporciones de fotosíntesis bastante altas, la transpiración parece tener proporciones más bajas. Esta respuesta es consistente con la respuesta de la conductancia estomática a la temperatura de la hoja, la cual es inversamente proporcional. Es decir, la conductancia aumentará con la temperatura hasta un nivel óptimo de temperatura, a partir de la cual empezará a declinar ( $25^{\circ}\text{C}$ ), ya que la planta cerrará los estomas (Fig. 58). De la misma forma esto se ha verificado con la respuesta de la transpiración con radiaciones mayores a  $800 \text{ W/m}^2$ . Esto es consistente con la investigación de Flexas *et al.* (2004) quienes señalan una clara relación de la transpiración con la fotosíntesis, e indagan si la principal limitante de la fotosíntesis es el cierre estomático o el deterioro metabólico, asegurando que este último en condiciones de estrés de agua es pequeño con conductancias mayores a  $0.10\text{-}0.15 \text{ molH}_2\text{O/m}^2\cdot\text{s}$ . Condiciones de conductancia menores a éstas son encontradas a menudo en ambientes semiáridos como los del presente estudio, y que pueden condicionar la recuperación de la planta después de un evento de precipitación. Complementando esta aseveración Cabrera (2002) señala que un análisis en la capacidad fotosintética en especies esclerófilas siempreverdes de California y en árboles de Portugal sugiere que la disponibilidad de agua y el cierre estomático es la limitación primaria y la explicación principal en la ganancia potencial de carbono.

Por otro lado, las comparaciones entre las curvas de respuesta de luz a la fotosíntesis de nuestras especies en estudio, se ha visto una diferencia entre los puntos de compensación de la luz y los puntos de saturación de la luz. Estas diferencias han marcado diferentes estrategias de confrontar los períodos sequía y altas temperaturas. El pino piñonero ha mostrado mayor eficiencia en este al respecto, al mostrar el punto más alto de saturación de luz y el punto más bajo de compensación de luz. Sin embargo, el pino carrasco ha mostrado dos comportamientos que lo hacen igualmente eficiente, puesto que aunque, en condiciones de primavera, otoño o invierno es similar al pino piñonero, en condiciones de verano asume, una estrategia temprana y tardía para realizar la transpiración, que está directamente correlacionada con la fotosíntesis. Es decir, realiza eficientemente este trabajo en horas de la mañana, hasta que la temperatura empieza a subir; por la tarde, luego de haber sufrido una bajada, empieza otra vez, aunque en menor proporción este trabajo. Esto es consistente con la respuesta de la fotosíntesis a la temperatura de la hoja que algunos autores han encontrado modelando la reacción de estos factores en ambientes controlados y con plantas más sensibles (Wolkfahrt, *et al.*, 1999; Farquhar *et al.*, 1980).

Aalto (1998) trabajando con *Pinus sylvestris*, y el método de Cubeta de medición del  $\text{CO}_2$  en ramas encontró que existe dependencia de la fotosíntesis con la temperatura partiendo de modelos bioquímicos de asimilación de  $\text{CO}_2$ , con un pico en el rango de temperaturas entre los

16 a 19°C, así como lo determino también Wang *et al.* (1996). De la misma forma observó que los estomas se cierran todas las tardes de verano (en días secos) por encima de los 20°C. Nuestros resultados son similares pero por encima de los 25°C.

Por otro lado de acuerdo a Beadle *et al.* (1985) los índices de flujo de CO<sub>2</sub> en *Pinus sylvestris* es fuertemente dependiente de la intensidad de luz. Durante altas temperaturas y humedades relativas bajas, se espera tener también bajas conductancias estomáticas, y esta condición entonces, se torna en un factor limitante de la fotosíntesis. La conductancia estomática depende principalmente de los valores del déficit de saturación de vapor de agua, excepto durante periodos de baja temperatura o intensidad de luz ocurridas al alba y al atardecer.

#### 4.5.2. Respiración del suelo.

La gran variación de la respiración del suelo nos ha mostrado que existe una fuerte condicionante de los procesos que generan el CO<sub>2</sub>, con las variaciones del medio ambiente. Las tasas de respiración del suelo encontrados son coherentes con los encontrados en suelos de regiones áridas y semiáridas. Autores como Hollinger *et al.* (1994) han reportado de 7-12  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  en periodos de verano en una plantación de pinos en Nueva Zelanda, Fang *et al.*, (1998) encontró respiraciones promedios diarias de 6.9  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  en una plantación de pinos en Florida, de la misma forma Koizumi *et al.* (1999) notó que en periodos de verano el máximo índice de respiración obtenido en un ecosistema finlandés fue de 4.1  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , mientras Billings *et al.* (1998) mostró un rango de flujos de 0.6 a 6.0  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  en un bosque boreal.

Los resultados de la relación de la cantidad de raíces y los índices de respiración son consistentes con los obtenidos por Thomas *et al.* (1996), quién demostró que la distribución radicular decrece con la profundidad de los horizontes, mostrando que la cantidad de densidad radicular se concentraba a los 0.30 m como promedio.

Aunque la contribución de las raíces en el total de la respiración del suelo está muy bien documentada (Thomas *et al.*, 1996; Kelting *et al.*, 1998; Boone *et al.*, 1998), fue una singularidad encontrar tal índice de respiración en nuestro ecosistema, ya que, por las condiciones del suelo, esperábamos encontrar índices realmente bajos, información que, sin embargo, se ha confirmado en el periodo de verano.

La variación espacial de la respiración del suelo en el pinar ha dado como resultado que las subparcelas donde ha existido mayor capacidad de almacenamiento del agua, y baja variabilidad de temperaturas, fueron los que mayor índice tuvieron. La humedad del suelo está considerada una importante variable medioambiental que afecta la respiración del suelo (Rustad *et al.*, 2000; Akinremi *et al.*, 1998; Raich y Potter, 1995) y puede tener una alta influencia en el control de éstos flujos.

*Balance de carbono*

---

*a) Relación de la respiración con la temperatura y la humedad del suelo*

La temperatura ha sido el más importante parámetro y mayor efecto en los estudio de respiración del suelo (Van Veen *et al.*, 1991). En muchos estudios de la respiración de suelos, se ha puesto a la temperatura de éste como un indicador de la respiración del suelo, explicando desde 43-75% de la variación del flujo de CO<sub>2</sub> en este medio (Weber, 1990; Toland y Zak, 1994; Londo *et al.*, 1999; Ohashi *et al.*, 2000; Bajracharya y Kimble, 2000; Tufekcioglu *et al.*, 2001). En nuestro trabajo, la variación del flujo de CO<sub>2</sub>, ha sido explicado en un 67.8% por la temperatura. Esto podría ser explicado por las actividades de los organismos heterotróficos y autotróficos que son altamente dependientes de la temperatura del suelo (Londo *et al.*, 1999). Estudios realizados por Kelting *et al.* (1998), Winkler *et al.* (1996) y Rayment y Jarvis (2000) mostraron que la respiración microbiana está correlacionada con los índices de descomposición de la materia orgánica, la disponibilidad de carbono en el sustrato, así como de los cambios temporales en el medio ambiente como la temperatura y la humedad del suelo.

Por otro lado, Abnee *et al.* (2004) observó que la temperatura y la humedad regulan directamente los procesos biológicos y físicos del suelo; sin embargo estos factores a su vez están influenciados por otros, como el tipo de suelo, productividad del sitio, clima, topografía y nivel de perturbación. Estos afectan directamente a la respiración del suelo. En nuestra investigación, las subparcelas 4, 6 y 7 presentan características más favorables y producen mayores flujos de respiración que las subparcelas 1, 3 y 5,

De la misma forma se ha visto que existe una fuerte correlación de los flujos de CO<sub>2</sub> con la humedad en el suelo. De hecho, estudios realizados por López *et al.* (1998) en una región Mediterránea han sugerido que la disponibilidad de agua es el principal factor de control de crecimiento de las raíces y no tanto la temperatura, como en otros ecosistemas. Estos estudios han coincidido con los realizados por Rey *et al.* (2002) quienes observaron una máxima cantidad de raíces finas en primavera y otoño, y una mínima en el verano. Por lo que han sugerido que la disponibilidad de agua puede limitar el flujo de CO<sub>2</sub> del suelo ya sea por la aereación limitada del suelo o por el fuerte stress a la cual es sometido las comunidades microbianas. Por este lado, la humedad del suelo también está enlazado con los procesos de respiración de los microorganismos, la descomposición de la materia orgánica, y el transporte de nutrientes. En nuestra zona de estudio se ha visto claramente la influencia de la humedad inhibiendo la respiración en periodos de contenido gravimétrico de agua inferiores a 5%. Sin embargo se puede decir que el contenido de humedad en el suelo no tiene un efecto obvio sobre la respiración (Fang y Moncrieff, 2001) en situaciones determinadas de condición de sitio. Por ejemplo, en la subparcela 4, en dos épocas distintas (primavera y verano), se ha observado que existía la misma tasa de respiración en diferentes contenidos gravimétricos de agua (una diferencia de 3.67%), lo que nos ha hecho presumir que en este caso no has sido el factor agua el influyente sino la estructura del suelo, coincidiendo con Rey *et al.* (2002).

### 4.5.3. Estimación de la biomasa.

#### **Diámetro a la altura del pecho**

Los resultados del crecimiento radial de los pinos en estudio han demostrado que no existe una diferencia significativa entre el primer periodo y el último (24-03-02 y 04-08-03) (Fig. 63). Lo cual nos ha hecho presumir que existe una dependencia clima-crecimiento de estas especies, considerando que el factor más limitante en las zonas mediterráneas, para el desarrollo vegetal, es el clima (Misson, *et al.*, 2004). Nuestro sitio de estudio se caracteriza por tener sustratos (suelos) de baja capacidad de retención de agua, ocurrencia de precipitaciones de baja intensidad, y elevados déficits de presión de vapor de agua, propios de este tipo de ecosistemas. Esta peculiaridad hace que éstos factores sean una limitante del crecimiento de las plantas (Borghetti *et al.*, 1998; Schiller y Cohen, 1998; Schiller y Cohen, 1995).

El crecimiento máximo registrado en 498 días (5.1 mm) nos indica un máximo crecimiento diametral de 3.7 mm/año, en un caso particular, muy alto en comparación al promedio registrado de  $1.6 \pm 1.2$  mm/año. Este incremento caracterizado de una alta variabilidad, nos han denotado una fuerte relación con la variabilidad estacional de las condiciones climáticas así como el patrón multiperiodico de crecimiento y elongación de sus acículas (Misson, *et al.*, 2004). Sin embargo los dos periodos en la que se realizó la investigación, fueron extremos, una con más cantidad de lluvia y la otra en condiciones promedio de la zona. Lo que finalmente pudo haber controlado esta variación en diámetro son las condiciones de sequía (es decir, la presencia o no de lluvias), ya que estos pinos están caracterizados por tomar ventaja de los periodos cortos de precipitación para realizar los procesos básicos de asimilación de carbono y desarrollo estructural (Rathgeber, *et al.*, 2003). Por lo que concluimos que las precipitaciones escasas o la falta de disponibilidad de agua ha sido uno de los principales factores para el reducido crecimiento diametral de las dos especies en estudio.

Muchos de los estudios han mostrado que el crecimiento radial en troncos está muy poco enlazado temporalmente, es decir, no hay secuencia de periodos favorables, de un año a otro, porque las condiciones del medio ambiente son muy limitantes por lo que el árbol responde sólo a los factores climáticos actuales (Lindholm, *et al.*, 1999; Esper, *et al.*, 2002) como el spray marino que puede afectar severamente la presencia de los anillos de crecimiento en estas dos especies (Raventós, *et al.*, 2001), alterar el sistema fotosintético, por ejemplo en los estomas, el rompimiento de los microtúbulos, así como la variación del contenido de agua en las acículas (Nicolotti, *et al.*, 2004). Por lo que otra conclusión a esta parte, es que el crecimiento en estas especies responde solamente a una buena disponibilidad de agua, es decir, precipitaciones que superan los 250 mm anuales.

Otro de los factores que pudo afectar esta invariabilidad radial es la perturbación antrópica en el ecosistema. En las últimas décadas, la demanda de agua para las actividades humanas se

## Balance de carbono

ha incrementado fuertemente, lo que pudo haber afectado el abastecimiento normal de los cauces del río Segura (Raventós, *et al.*, 2001), la cual afecta directamente el pinar al estar éste en el borde límite de la población de pinos.

### *Relaciones alométricas*

Las conexiones entre el peso de los componentes y el diámetro de éstos, a través de las relaciones alométricas, son clásicas para el estudio y la estimación de la biomasa (Enquist, 2002). Estudios realizados por numerosos autores han coincidido en la relación que existe entre estos dos parámetros (Bartelink, 1996; Leonardi *et al.*, 1996; Santa Regina *et al.*, 1997).

Las relaciones alométricas encontradas nos han mostrado un significativo comportamiento potencial coincidiendo con Enquist (2002) y Sanquetta *et al.* (2001). Así, se ha encontrado una fuerte relación entre la biomasa y el área seccional de los troncos de los pinos. Si realizamos una comparación de pendientes linearizadas (convirtiendo la relación potencial a una relación lineal a través de la aplicación de los logaritmos a las variables) se ve que no existe una diferencia significativa entre las pendientes de ramas gruesas y acículas (tabla 35, Anexo 5 tabla 11) pero sí entre ramas delgadas y tronco.

Diferencias que no se han visto especialmente en los valores de acículas y ramas gruesas. El valor VIF de la tabla 11 (Anexo 5), nos confirma la colinearidad de las variables predictoras, al ser todos mayores a diez, ya que ésta representa el incremento en varianza de un coeficiente debido a la correlación entre las variables independientes (valores mayores entre 7 y 10 sugieren un valor alto de colinearidad, valores más grandes a estos valores sugieren que la colinearidad es un problema porque la varianza a crecido mucho). Aunque se ha utilizado pocas muestras, se ha visto que existe una significativa correlación de los valores de los componentes con el área seccional del tronco ( $R^2 = 0.93$ ).

Los resultados obtenidos son comparables con los obtenidos por López-Serrano *et al.* (2000), quien trabajó con *P. halepensis*, en un ambiente de temperaturas promedio de 15.3 y 14.7°C y una precipitación anual de 273 y 271 mm, árboles de área basal de  $16.8 \pm 1.0 \text{ m}^2/\text{Ha}$ , y alturas promedio de  $7.09 \pm 0.29 \text{ m}$ . Este autor encontró una relación potencial de las ramas y su respectivo diámetro.

De la misma forma, las estimaciones realizadas en nuestra investigación para obtener la biomasa utilizando los diámetros de las ramas de los pinos, muestran una tendencia similar a las encontradas por Porté *et al.* (2002) el cual investigando en *Pinus pinaster* en un ambiente mucho más oceánico, con una precipitación anual de 930 mm y una temperatura media de 12.5°C, encontró que la relación de orden potencial de la biomasa y los diámetros de las ramas es altamente significativa ( $R^2 = 0.91$  y  $0.94$ ). Demuestra que todas las relaciones obtenidas fueron funciones no lineales de potencia.

Así mismo, la significativa correlación obtenida de los valores de biomasa y componentes en el prisma, y su buen ajuste con los resultados obtenidos en la copa del árbol, nos han hecho ver que este tipo de muestreos puede efectivizar el tiempo de trabajo, así como los costos en una investigación de larga duración. Ya antes se habían realizado este tipo de muestreos (Bobek y Bergstrom, 1978), pero eran poco exitosos por lo heterogéneo de las copas de los árboles; sin embargo, hemos observado que si se realiza el muestreo muy detalladamente, y cuidando que la copa del árbol sea más o menos homogénea, se puede llegar a resultados aceptables. La homogeneidad se puede controlar a través de la verificación del índice foliar en un radio constante debajo de la copa del árbol. En resumen, el método semidestructivo del prisma nos ha aportado a la estimación de la biomasa en forma efectiva desde que se ha encontrado una buena correlación de la biomasa acicular con los diámetros de las ramas que lo portan, tanto en la parte baja del prisma como en la parte superior (coincidente con la parte superior de la copa), coincidiendo con Makinen y Makela (2003) que trabajando con *Pinus sylvestris*, observaron también una fuerte correlación entre los diámetros de las ramas con la biomasa de estos, realizando un análisis exhaustivo de esta relación a diferentes alturas.

La alometría de por sí es muy importante para correlacionar factores de control del ecosistema. Por ejemplo se lo ha relacionado con el área de flujo de la savia (Valentine *et al.*, 1994); el largo de los ramillos, largo de inserción de las ramas, radio de copa del árbol (Baldwin *et al.*, 1997), y otros elementos que son muy útiles para conocer el estado no sólo de la planta, sino también del estado del conjunto de la biomasa aérea.

Las relaciones alométricas encontradas nos han servido sobre todo para estimar la biomasa, como el cálculo de la biomasa de los componentes de los árboles utilizando las dimensiones diametrales del tronco como lo han realizado otros autores como Bartelink, (1996) quién ha utilizado relaciones alométricas para estimar la biomasa de los componentes de un árbol. Pero también se pueden utilizar para otros propósitos como lo hicieron Brown *et al.* (1984), De Jong *et al.* (1995), Deans *et al.* (1996) quienes llegaron a resultados de carbono presente en diferentes tipos de vegetación a través de relaciones alométricas, lo mismo que Landsberg y Gower (1997) que utilizó relaciones alométricas para estimar la distribución de biomasa en los árboles. Además, constituyen una herramienta importante para construir modelos mecanicistas de crecimiento forestal (Causton, 1985) que han resultado útiles para predecir la captura de carbono por los árboles.

### **Producción de hojarasca**

El ritmo de la caída de las acículas ha tenido una respuesta estacional, sin embargo pudo haber influido también las características propias del árbol, como la edad (Lebret *et al.*, 2001). La cantidad más voluminosa se ha encontrado en primavera, época de máxima producción anual y alta densidad foliar, coincidiendo con Ranger *et al.* (2003), quienes señalan que la

### *Balancede carbono*

---

máxima caída de hojas en el bosque ocurrirá usualmente en la máxima actual producción de éste, cuando la cantidad de hojas es relativamente más alta que en otras épocas.

De la misma forma, se ha encontrado que la caída de acículas está relacionado con el diámetro de los troncos a la altura del pecho, coincidiendo con Le Bret *et al.* (2001), lo que nos ha mostrado que los árboles de mayor tamaño aportan mayor cantidad de acículas en este proceso.

La caída de acículas ha sido importante en los meses de menor presencia de precipitación así como de alta temperatura, lo que nos señalaría que estas dos variables están estrechamente enlazadas con la caída de hojas. Así mismo, se ha visto que la respiración del suelo está también enlazada con la caída de hojas ( $R^2= 0.599$ ) coincidiendo con los resultados de Davidson *et al.* (2002), el cual comparando datos de otros investigadores encontró que existía una relación de la caída de hojas en cantidad con la respiración del suelo en árboles maduros (45 años de longevidad) debido a que la respiración está directamente relacionada a la actividad microbiana sobre la descomposición de las hojas, la respiración de las raíces y otros organismos. De la misma forma, estos autores muestran la variación que puede haber en esta relación (respiración del suelo y la caída de hojas) en diferentes ambientes, tanto tropicales (donde se espera tener una mayor cantidad de caída de hojas) con una alta correlación entre estas dos variables y ambientes atemperados, donde la correlación baja.

### ***Biomasa aérea***

A pesar de los pocos árboles utilizados en el sistema destructivo para obtener información de la biomasa aérea, y cuidando las normativas del parque de Guardamar, los resultados nos han mostrado ser aceptables. Los datos de biomasa han sido esenciales para el conocimiento del estado del ecosistema (Gayoso *et al.*, 2002), y es por lo tanto, un factor de decisión en el manejo de éste.

Para empezar, la estimación del valor de la densidad de la madera fue muy necesaria para conocer el peso del fuste. En situaciones de investigaciones relativos al uso de los componentes, la densidad de la madera es muy importantes ya que nos da una aproximación de su valoración ya sea para fines maderables o energéticos. Es una variable que se ha hecho necesaria para estimaciones de peso en metodologías no destructivas. Es un valor que se ha hecho también necesario para cálculos en diferentes modelos de comportamiento del ecosistema (Bascietto, *et al.*, 2003). Los valores de la densidad de la madera de las dos especies de pinos han resultado tener un valor similar (0.63 y 0.67 Mg.m<sup>-3</sup> para el pino piñonero y pino carrasco, respectivamente). Estos son comparables con los obtenidos por otros autores (0.59 y 0.61 Mg.m<sup>-3</sup> para el pino piñonero y pino carrasco, respectivamente; Sabaté *et al.*, 2004). Este valor nos han revelado que probablemente exista un almacenamiento de agua en



la planta, si lo comparamos a otra con el mismo volumen pero de diferentes y mejores condiciones climáticas (mayor precipitación) (Gayoso, 2002).

Con referencia a los resultados de la biomasa aérea, se ha obtenido un valor medio de 42.45 Mg/Ha. Este resultado es inferior a otras zonas mediterráneas como la de Cataluña, en una gradiente climática que va desde el tipo mediterráneo hasta la tundra (rango de precipitación de 530 a 1500 mm, y temperaturas que van desde 1.5 hasta 28.8°C), en el cual Sabaté *et al.* (2004) encontraron una biomasa de  $45 \pm 32.9$  para *P. halepensis* y de  $60.7 \pm 40.0$  Mg/Ha para *P. pinea*. Esto puede ser debido a que la productividad del bosque está relacionado con los parámetros medioambientales, por ejemplo, la distribución de pinos en Cataluña está determinada por la altitud, y los eventos de lluvias en invierno y primavera (Vilá *et al.*, 2003).

Las valores altos de desviaciones estándares de los valores medios, nos han mostrado la variabilidad entre individuos de muestreo. Estas variaciones en tamaño y cantidad, nos han asistido en la comparación de los resultados con otros autores. Gracia *et al.* (2004) por ejemplo indica que *P. halepensis* Miller cuenta con 4% de acículas, 58% de tronco el resto de biomasa aérea 38% (corteza y ramas); Grier *et al.* (1992) trabajando en un ambiente más seco (precipitación media de 250 a 410 mm) con *Pinus edulis* encontró una distribución de 18, 29, 26, 27% de acículas, ramas gruesas, ramas delgadas y tronco respectivamente.

En ambas especies existe mayor proporción de tronco y ramas delgadas, que las otras fracciones. Estudios relacionados a la estimación de biomasa han mostrado que esta proporcionalidad es consistente para zonas de medio ambiente árido y semiárido. Xiao *et al.* (2003) trabajando con *Pinus sylvestris* L. en un medio ambiente de 13.7°C de temperatura media estacional y una precipitación media estacional de 433 mm, encontró una proporción de 45.4% de ramas, de las cuales más del 68% correspondía a ramas delgadas. El cual es consistente con la proporción encontrada en Guardamar. Esto se justifica debido a que las especies con características de tolerancia a períodos de sequía almacenan sus medios de subsistencia (energía en forma de almidón), por ejemplo en componentes de su estructura de mayor densidad, como son los troncos y las ramas (Oyarzun y Huber, 1999; Guerrero-Ocampo, *et al.*, 1998). Así, se explica también que las especies caducifolias, pierdan sus hojas en periodos en el cual reducen al máximo su metabolismo; al finalizar este período, éstos aprovechan la energía acumulada en el tronco y las ramas, para aumentar su trabajo metabólico. De hecho las acículas son órganos que complementan esta función, realizando la captura del carbono necesario, para luego almacenarla, y aprovecharla posteriormente. Muchos autores opinan que estas especies (pino alepo) son ahorradoras de agua, porque tienen la posibilidad de acumular energía y utilizar eficazmente el agua en los periodos cortos de lluvia (Atzmon *et al.*, 2004; Martínez-Trinidad *et al.*, 2002; Villar *et al.*, 1997).

Aunque se denota una diferencia del porcentaje de ramas gruesas y delgadas en ambas especies, se ha visto que su valor acumulado, es mayor en el pino piñonero, debido a su fuerte

## *Balance de carbono*

---

crecimiento vertical, es decir, la diferencia ha radicado sobre todo en la estructura de la copa y del tronco. El pino alepo, tiende a tener sus ramas mayormente extendidas, desordenadas y muy ramificadas; en comparación, el pino piñonero, las tiene más ordenadas y con mayor ángulo de inserción en el tronco (Scarascia-Mugnozza, 1986). Estas variación, no han hecho, sin embargo, diferenciar significativamente los valores de las cantidades de biomasa.

Otros autores han señalado que la proporción de la biomasa en pinos ha dependido de las condiciones medioambientales (Quezel, 1986). Lugares con mejor calidad de suelo, han dado mayores cantidades de almacenamiento energético. Por ejemplo, pinos crecidos en ambientes secos, no han producido de la misma manera que otros producidos con una buena disponibilidad de agua; o pinos que han tenido una mayor disponibilidad de nutrientes (Gough y Séller, 2004), en comparación a otros que no han recibido una fertilización adecuada (Valdecantos, 2001). De la misma forma, los pinos establecidos en suelos con buena aereación, esto es, buen porcentaje de porosidad, se han desarrollado más eficientemente, si lo comparamos con suelos compactados; sin embargo, por el contrario, si estos suelos, son muy fácilmente drenables, es decir, que tienen una alta capacidad de infiltración, como los suelos arenosos, también tienen dificultades, ya que el agua no estará en el perfil del suelo el tiempo suficiente como para que sea aprovechada por la planta (Magaña, 1999).

En resumen, mientras otros autores sostienen que la producción de los pinos se diferencia por el efecto conjunto de los factores medioambientales como la ocurrencia normal (en promedio) de eventos de precipitación, ocurrencia continua de sequías, efecto de las sales del aire marino, otros en cambio, indican que se debe a la perturbación del equilibrio de los ecosistemas por efectos antrópicos y de desarrollo poblacional (Acosta *et al.*, 2001). Lo cierto es que en la zona de estudio la biomasa encontrada ha sido muy baja en comparación a otros ambientes similares, y los factores que afectan a esta baja productividad podrían estar en las razones citadas por estos autores, un conjunto de factores ambientales y sociales.

### ***Biomasa subterránea***

El método de obtención de la biomasa subterránea no ha sido muy preciso, sin embargo nos ha ayudado como referente en la proporción de raíces que pueden existir en el subsuelo del pinar de Guardamar del Segura, sobre todo de raíces finas. Se ha visto que la mayor proporción de raíces se ha encontrados en los primeros 50 cm, de hecho, en algunos sitios, a un metro de profundidad no se ha encontrado raíz alguna. Se ha considerado la posibilidad, en el momento de realizar el muestreo, la entremezcla de las raíces del pino con otras, verificando cuidadosa del lugar de muestreo, de que no exista especie alguna alrededor del instrumento de muestreo, y realizando la toma de muestra siempre por debajo de la copa del árbol.

La presencia de las raíces está muy relacionada a la cantidad de agua existente en el perfil, agua que finalmente está disponible para la subsistencia de la planta. Se ha visto que después

de un evento de precipitación, el agua infiltrada se concentra hasta los 50 cm de profundidad. Esto parece consistente con los resultados encontrados de almacenamiento de humedad, ya que se ha visto que no hay una variación significativa de éstos valores en este nivel. Esta característica, está ligada probablemente a los procesos de capilaridad y a mecanismo de adhesión-cohesión de las partículas de arena de la duna. Cabría, además verificar la tasa de mortalidad de raíces en este horizonte, a fin de conocer si el agua que se almacena ahí viene de la capa freática o de la acumulación de la precipitación (Dekker *et al.*, 2001), puesto que la acumulación por capilaridad supondría no sólo acumulación de sales, sino una ausencia de espacios porosos. En estas condiciones, en verano sobre todo, existiría la posibilidad de encontrar muerte de las raíces que habrían crecido en longitud en la época de primavera.

Sin embargo, asumiendo estos resultados como aceptables, y realizando un análisis de la proporción de raíces finas y gruesas ( $2.67 \pm 1.73$ ), vemos que existe relación con la obtenida por otros autores. Esto es, la mayor proporción ha sido para las primeras. La diferencia de este índice de proporcionalidad entre especies ha sido mínima ( $2.69 \pm 1.29$  para *P. halepensis*, y  $2.64 \pm 1.62$  para *P. pinea*). Sin embargo en estudios con plantas de pino se ha visto que la relación es inversa. Vose *et al.* (1995) encontraron que la proporción de raíces finas y gruesas varió de 0.12 a 0.23.

La presencia de raíces finas ha sido mayoritario en todo el perfil del suelo. Esto es muy importante ya que este tipo de raíces son las que realizan la captura y absorción de agua y nutrientes. La proporción mayoritaria de raíces finas en el perfil cercano a la superficie, se advierte el fuerte aprovechamiento del agua de las precipitaciones que los árboles realizan a este nivel.

Una de las características de estas dunas es la presencia de raíces gruesas de árboles casi por encima de la superficie. Esta manifestación nos ha hecho pensar que el pino también aprovecha el agua de rocío, por su superficialidad, y la existencia de pelos absorbentes en esta.

### **Biomasa total**

Así mismo, la biomasa total encontrada en los árboles de nuestra investigación ha resultado ser baja en comparación a los encontrados por Tissue *et al.* (1996); estos investigadores trabajando con *Pinus taeda* hallaron que la proporción de acículas mayor a la de las raíces. La proporción de las raíces en nuestra investigación fue menor a la encontrada por estos investigadores (27% de los citados contra los 44% encontrados en nuestro pinar). Estos investigadores trabajaron con el crecimiento y fotosíntesis de plantones de *Pinus taeda* (Duke, USA). De la misma forma, Retzlaff *et al.* (2001) trabajando con la misma especie en la localidad de County (USA), con suelos arenosos, infértiles, pobre capacidad de retención de agua, con precipitaciones de 1200 mm anuales y 17°C de promedio anual, encontraron una

### Balance de carbono

---

mayor proporción de biomasa aérea respecto de la total (<30% para las raíces y >70% para la parte aérea), indicando que otros autores como Van Lear y Kapeluck (1995) encontraron que árboles de la misma especie de 48 años presentaron una proporción de raíces del 20%. En nuestro estudio encontramos que 44% fue raíces y el resto biomasa aérea.

El índice de la biomasa aérea/subterránea (1.53) fue comparable a los encontrados por Sardans *et al.* (2004) quienes encontraron en plantones de *P. halepensis* valores de éste índice menores a 1.5 en suelos calcáreos.

Las fracciones de la biomasa encontradas en nuestro estudio están alrededor de los encontrados por otros autores como Laitat, *et al.* (1999) que trabajó con *Pinus sylvestris* L., encontró una proporción de 36, 10, 16 y 38% de raíces, acículas, ramas y tronco respectivamente, con una proporción de biomasa aérea y subterránea de 0.58 y 0.67. En otras especies diferentes al *Pinus*, como en el *Quercus ilex* en Cataluña, Gracia *et al.* (2004) de un muestreo de 1666 parcelas han mostrado que de la totalidad del árbol, la proporción de hojas es el 3%, 54% es raíz, y 43% es tronco y ramas en conjunto, dando como resultado una proporción de biomasa aérea y subterránea de 0.85, coincidiendo con la proporción obtenida en nuestro estudio (0.84).

Realizando el análisis de la totalidad de los componentes de biomasa existente en el árbol, se ha podido verificar que existe una proporcionalidad biomasa subterránea y aérea de  $1.25 \pm 0.16$ . Esta proporcionalidad ha resultado alta con otros estudios realizados en pinos. Por ejemplo Gough y séller (2004) trabajando con *Pinus taeda* en condiciones controladas, encontraron una proporción de 0.35, así como Pausas (1999) quien hizo notar que esta relación en *P. halepensis* en la región de Alicante va desde 0.3 a 0.4, para plantas de 3 a 4 años. Brown (2002) señala que este índice puede variar entre 0.18 y 0.30, y no varía significativamente con la latitud zonal, textura del suelo, o tipo de árbol. Otra explicación puede ser (aunque se haya tenido en cuenta en nuestras observaciones y el muestreo haya sido por debajo de la copa de los árboles respectivos) la presencia de raíces foráneas a la del pino tomando en cuenta que las dunas sostienen numerosas plantas de raíces de tipo rastrero y de longitudes muy grandes. Sin embargo, asumimos que la metodología utilizada sobreestima la cantidad de raíces por el elevado valor del índice.

#### 4.5.4. Estimaciones para el balance de carbono

##### **Carbono en los individuos muestreados**

Para empezar, se asume que el carbono es la mitad del total de la biomasa, y para poder estimarlo a nivel ecosistema es necesario contar con métodos precisos adicionales a la información de volumen de la parte maderable, por lo que algunos autores han aplicado factores de expansión a las fracciones de raíz, ramas, hojas, restos leñosos, hojarasca, carbono en el suelo, aunque la aplicación de éste factor ha traído adicionales desconciertos y potenciales errores (Brown, 2002). De la misma forma, en la conversión de los datos de biomasa de un bosque a carbono almacenado, se necesita tomar en cuenta la composición de los diferentes componentes del árbol, ya que estos difieren en su contenido de carbono motivo por el cual se ha aplicado dos diferentes factores (0.45 para acículas y 0.50 para la parte maderable). La misma autora, indica que las regresiones basadas en los diámetros, y la estratificación en grupos de especies o tipos climáticos son muy útiles para estimar la biomasa aérea.

##### **Carbono en la parcela vallada y el transecto imaginario**

La estimación del carbono aéreo almacenado en la biomasa de los pinos del transecto del pinar de Guardamar del Segura ha dado un valor medio de  $2.12 \pm 2.33 \text{ KgC/m}^2$  de suelo. Este resultado es relativamente bajo en comparación a los encontrados por otros autores que han trabajado en zonas áridas y semiáridas como Grunzweig *et al.* (2003) que trabajando con *Pinus halepensis* en una zona cercana al desierto del Negev utilizando mediciones fisiológicas e inventario encontró que este bosque soportaba  $6.5 \pm 1.2 \text{ KgC/m}^2$ . De la misma forma Arneeth *et al.* (1998) trabajando con *P. radiata*, en una zona semiárida registraron  $3.1 \text{ KgC.m}^{-2}$ ; Ryan *et al.* (1996) encontraron en *P. radiata*  $5.8 \text{ KgC.m}^{-2}$ ; Law *et al.* (2000) que trabajaron con *P. ponderosa*, encontraron  $9.8 \text{ KgC.m}^{-2}$ ; nuestro resultado es comparable con los resultados obtenidos por Maier y Crees (2000), el cual observó de 1.04 a  $2.2 \text{ KgC.m}^{-2}$ , todos ellos citados por Hamilton *et al.* (2002).

En lo que se refiere al carbono subterráneo, estimar la biomasa aérea está relativamente bien establecido, pero la estimación de biomasa subterránea, y su posterior conversión a carbono, es bastante dificultoso, y los métodos no son estandarizados (Cairns, *et al.*, 1997), por lo que nuestras estimaciones de carbono subterráneo deben tomarse como tentativos.

Los resultados de almacenamiento de carbono subterráneo en el pinar de Guardamar del Segura ( $2.18 \text{ KgC.m}^{-2}$ ) han resultado superiores a los de otros autores como los hallados por Maier y Crees (2000) trabajando con *P. taeda*, plantados en suelos arenosos encontró de 0.31 a  $0.67 \text{ KgC.m}^{-2}$  de raíces en el subsuelo. Los valores encontrados en Guardamar del Segura se encuentran más cercanos a los hallados por Gracia *et al.* (2004) quienes en *Quercus ilex*

## *Balance de carbono*

---

encontraron 2.91 KgC.m<sup>-2</sup> y en general, en el encinar mediterráneo de la montañas de Prades encontraron que las raíces almacenaban 2.97 KgC.m<sup>-2</sup>.

### **Carbono acumulado en la parcela vallada en el periodo de estudio**

La acumulación anual de carbono en las dos especies de estudio en el pinar de Guardamar del Segura ha resultado en un valor bajo (0.72±0.83 MgC/Ha.año equivalentes a 0.07 KgC/m<sup>2</sup>.año) con respecto a otros ambientes similares como los hallados por Grunzweig *et al.* (2003) quienes encontraron una acumulación anual en *Pinus halepensis* Mill. de 0.13 a 0.24 KgC/m<sup>2</sup>.año (equivalentes a 1.3 y 2.4 MgC/Ha.año, en biomasa 260 y 480 g/m<sup>2</sup>) en un ambiente árido y mediterráneo (Desierto del Negev, en Israel). Lo que significaría un incremento anual de alrededor de 140 g/m<sup>2</sup> de biomasa, valor que representaría principalmente la variación en biomasa de la parte foliar (60 y 68 g/m<sup>2</sup>) y de las ramas delgadas (48 y 58 g/m<sup>2</sup>), ya que la variación anual de los troncos ha sido muy baja (12 y 14 g/m<sup>2</sup>) así como de las ramas gruesas (12 y 18 g/m<sup>2</sup>).

Las acumulaciones de carbono en nuestros árboles han dado rangos desde 0.17 y 1.35 MgC/Ha.año, lo cual estaría en el rango de los obtenidos por otros investigadores. Por ejemplo, Houghton *et al.* (2000) observando el engrosamiento de la madera vió que hubo un rango de acumulación de 0.25 a 2.5 MgC/Ha.año en *Pinus ponderosa*; de la misma forma, Hicke *et al.* (2004) encontró rangos desde 0.70 hasta 2.81 MgC/Ha.año verificados en también en *P. ponderosa*.

### **Carbono acumulado en el transecto imaginario**

La acumulación de carbono en acículas encontrado en el transecto, por un lado, ha coincidido con los resultados de la parcela vallada. Por otro lado, la variación más importante de ésta variable ha resultado en las dos primaveras con las que se trabajó. Las variaciones, en sentido positivo o incremento, respecto de la distancia al mar, han ido desde la costa hacia tierras adentro y respecto de la topografía de las dunas, desde el pico dunar hacia la depresión dunar. Ya que se han encontrado las mayores acumulaciones tierras adentro (acumulaciones desde 1.51 a 1.98 MgC/Ha.año en un periodo de medición) y en las depresiones dunares (1.16 MgC/Ha.año de la subparcela 4 y de 1.59 MgC/Ha.año de la subparcela 6). Las precipitaciones ocurridas en primavera y acumuladas por infiltración desde la cresta hacia la depresión de las dunas han contribuido a una mayor acumulación de biomasa, y esto, se asume, ha sido una condición favorable para el proceso de la fotosíntesis.

### **Respiración autotrófica y heterotrófica**

La respiración heterotrófica es un componente de los flujos del ecosistema y en consecuencia parte de procesos altamente complejos. Existe muchas variables involucradas y muchas de ellas son específicas de los diferentes sitios, como coincidimos con Mollicone *et al.* (2002)

quienes realizaron una aproximación a través de modelos para estimar el carbono en los bosques europeos.

Sin embargo autores como Dozal (2004) encontró que la proporción de CO<sub>2</sub> debida a la respiración de raíces está en el rango de 40 a 80% del total de respiración del suelo, así como Vose *et al.* (1995) quienes mostraron que la respiración de las raíces aportaban en un 62% al total de la respiración del suelo, o Pangle y Seiler (2002) quienes indican que este aporte está en el rango del 30 al 60% sobre el total, por lo que hemos considerado que el aporte que las raíces realizan de carbono al ecosistema como flujo en forma de respiración y como almacén en su estructura, es importante.

La respiración autotrófica encontrada en el pinar de Guardamar del Segura ha coincidido con los valorados observados por Saxe *et al.* (2001) quienes indican que la fracción de la producción fotosintética neta consumida por la respiración autotrófica en árboles está en el rango de 40 a 75%. En nuestra investigación encontramos que la respiración autotrófica representa un consumo desde 31 a 91% de la PPB. Los mismos autores indican que la respiración de construcción varía con la cantidad de incremento de biomasa, el estado energético y el de los componentes químicos en la biomasa. Así mismo, indican que la respiración por mantenimiento varía considerablemente con la cantidad de biomasa viva, su contenido de enzima y temperatura. Variación que, a su vez, está conectada con el estrés de la planta y el cambio de ozono en el medio ambiente.

La media de respiración encontrada en la investigación es baja en comparación a la valorada por Saxe *et al.* (2001), los cuales indican que esta respiración varía entre 2.6 a 7.1 Mg C/Ha.año, en comparación a los 1.03 Mg C/Ha.año de nuestra parcela, lo que nos indica que es una respuesta más de ambientes semiáridos.

### ***Balance de carbono general***

En primer término nos ha resultado más exhaustivo la obtención de los datos de asimilación de carbono obtenidos con el IRGA 6400 en comparación a los datos de biomasa obtenidos por la variación de los diámetros de los árboles (orientativos a la investigación), ya que su precisión radicó sobre todo en la obtención de asimilación directa de carbono a través del proceso de fotosíntesis. Esta consideración ha requerido observar los datos de biomasa para el análisis de almacenamiento, y para la acumulación de carbono, los datos surgidos a partir de los datos de fotosíntesis.

El balance general ha dado como resultado que nuestros árboles han estado aprovechando prácticamente más del 50% del carbono asimilado a través de la fotosíntesis. Existe una marcada influencia de las estaciones sobre este proceso. Así en primavera, se puede observar producciones netas de hasta 3.92 MgC/Ha.año (equivalentes a  $1.87 \pm 0.53 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) en

### Balance de carbono

---

primavera y de 0.11 Mg/Ha.año para *P. halepensis* Miller y de 4.21 Mg/Ha.año (equivalentes a  $2.02 \pm 0.25 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) en primavera y de 0.18 y 0.30 Mg/Ha.año en otoño y verano respectivamente para *P. pinea* L. Pero de esa producción, una parte se perdió como resultado de la pérdida de energía para el mantenimiento de los tejidos (crecimiento) y su respectiva construcción. En ese sentido se han observado pérdidas de más del 50% (57% de respiración autotrófica para ambas especies) en relación a la producción primaria bruta.

De aquí que los valores de producción neta del ecosistema tengan un valor bajo (0.75 y 0.83 MgC/Ha.año) para *P. halepensis* Miller y para *P. pinea* L., respectivamente) lo que en algunos casos han representado valores negativos. Los valores positivos han representado contribuciones de biomasa al pinar. En estos dos casos, los primeros han representado contribuciones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (como fuente) y en el segundo caso ganancias de CO<sub>2</sub> en forma de biomasa almacenada en el ecosistema (como almacén).

Lo anterior, nos orienta a la conclusión de que el pinar en primavera estaría efectuando trabajos de almacenamiento de biomasa y en verano estaría en un proceso casi latente de crecimiento, lo que permitiría un aporte de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, asumimos debido, al gasto de energía hacia el mantenimiento de los tejidos.





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**4.7. Referencias**

- Aalto, T. (1998)** Carbon dioxide exchange of Scot pine shoots as estimated by a biochemical model and cuvette field measurements. *Silva Fennica* **32**(4) 321-337.
- Aber, J.D. and Melillo, J.M. (1991)** Terrestrial Ecosystems. Saunder College Publishing, Holt, Rinehart and Winston, Inc., Orlando, Florida.
- Abnee, A., Thompson, J., Kolka, R., D'angelo, E.M., Coyne, M.S. (2004)** Landscape influences on potential soil respiration rates in a forested watershed of southeastern Kentucky. *Environmental Management* Vol. **33**, Supplement 1, pp S160-S167.
- Acosta, M., Etchevers, J.D., Monreal, C., Quednow, K., Hidalgo, C. (2001)** Un método para la medición del carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. *En: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales* (18-20 de octubre, 2001), Valdivia Chile. Pag. 1-15.
- Acosta-Mireles, M., Vargas-Hernández, J., Velásquez-Martínez, A., Etchevers-Barra, J.D. (2001)** Estimaciones de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* **36**: 725-736. 2002.
- Akinremi, O.O., McGinn, S.M., and McLean, H.D. (1998)** Effects of soil temperature and moisture on soil respiration in barley and fallow plots. *Canadian Journal of Soil Science* **79**: 5-13.
- Arneth, A., Kelliher, F.M., McSeveny, T.M., and Byers, J.N. (1998)** Net ecosystem productivity, net primary productivity and ecosystem carbon sequestration in a *Pinus radiata* plantation subject to soil water deficit. *Tree Physiology* **18**, 785-793.
- Atzmon, N., Moshe, Y., and Schiller, G. (2004)** Ecophysiological response to severe drought in *Pinus halepensis* Miller trees of two provenances. *Plant Ecology* **171**: 15-22, 2004.
- Australian Greenhouse Office (2002)** Field measurement procedure for carbon accounting. Report No.2 Version 1. Bush for greenhouse. Reference document part one. 22 pag.
- Bajracharya, R.M., and Kimble, J.M. (2000)** Erosion effects on carbon dioxide concentration and carbon flux from an Ohio Alfisol. *Soil Science Society of America Journal* **64**: 694-699.
- Baldwin Jr., V.C., Peterson, K.D., Burkhart, H.E., Amateis, R.L., Dougherty, P.M. (1997)** Equations for estimating loblolly pine branch and foliage weight and surface area distributions. *Can. J. For. Res.* **27**, 918-927.
- Bartelink, H.H.(1996)** Allometric relationships on biomass and needle area of Douglas-fir. *Forest Ecology Management* **86**, 193-203.
- Bascietto, M., Scarascia-Mugnozza, G. (2003)** A collection of functions to determine annual tree carbon increment via stem-analysis. *Ann. For. Sci.* **61** (2004) 597-602.
- Beadle, C.L., Jarvis, P.G., Talbott, H., & Neilson, R.E. 1985.** Stomatal conductance and photosynthesis in a mature Scots pine forest. II. Dependence on environmental variables of single shoots. *Journal of Applied Ecology* **22**: 573-586.

- Bernabé, P., A. (2004)** Caracterización de plantas psamófilas, aproximación a sus tipos funcionales, y ensayos de restauración en dunas del litoral alicantino. Tesis de grado para obtener el título de Doctor en Biología. Universidad de Alicante.
- Billings, S.A., Richter, D.D., and Yarie, J. (1998)** Soil carbon dioxide fluxes and profile concentrations in two boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research* **28**: 1773-1783.
- Bobek, B and Bergstrom, R. (1978)** A rapid method of browse biomass estimation in a forest habitat. *Journal of Range Management* **31** (6) 456-458, November, 1978.
- Boone, R.D., Naderhoffer, K.J., Canary, J.D., Kaye, J.P. (1998)** Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. *Nature* **396**: 570- 572.
- Borghetti, M., Cinnirella, S., Magnani, F., and Saracino, A. (1998)** Impact of long-term drought on xylem embolism and growth in *Pinus halepensis* Mill. *Trees*, **12**: 187–195.
- Brown, S. (2002)** Measuring carbon in forest: current status and future challenges. *Environmental Pollution* **116** (2002) 363-372.
- Brown, S. and Lugo, A.E. (1982)** The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica*. **14**: 161-187.
- Brown, S. and A. E. Lugo. (1984)** Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. *Science* **223** No. 4642: 1290- 1293.
- Cabrera, H. (2002)** Respuestas ecofisiológicas de plantas en ecosistemas de zonas con clima mediterráneo y ambientes de alta montaña. *Revista Chilena de Historia Natural* **75**: 625-637, 2002.
- Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H., Baumgardner, G.A., (1997)** Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* **111**, 1–11.
- Campbell, G.S. and Norman., J.M. (1998)** An Introduction to Environmental Biophysics. Springer-Verlag, New York, Inc. 286 pp.
- Castellanos, J., Maass, J.M. and Kummerow, J. (1991)** Root biomass of a dry deciduous tropical forest in Mexico. *Plant and Soil*. **131**:225-228.
- Causton, D. R. (1985)** Biometrical, structural and physiological relationships among tree parts. *En*: Cannell, M. G. R. and J. E. Jackson (Ed.) Attributes of trees as crop plants. Inst. Terrestrial Ecology, Huntingdon. pp: 137-159.
- Chen, J., Tha Paw, K., Ustin, S.L., Suchanek, T.H., Bond, B.J., Brosofske, K.D., and Fatk, M. (2003)** Net ecosystem exchange of carbon, water, and energy in young and old-growth Douglas-Fir forest. *Ecosystems* (2004) **7**: 534-544.
- D'Acqui, L.P., Daniele, E., Fornasier, F., Radaelli, L., and Ristori, G. (1998)** Interaction between clay microstructure, decomposition of plant residues and humification. *European Journal of Soil Science*, **49**: 579-587.
- Davidson, E.A., Savage, K., Bolstad, P., Clark, D.A., Curtis, P.S., Ellsworth, D.S., Hanson, P.J., Law, B.E., Luo, Y., Pregitzer, K.S., Randolph, J.C., Zak, D. (2002)** Belowground carbon allocation in forests estimated from litterfall and IRGA-based soil respiration measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* **113** (2002) 39-51.

*Balancede carbono*

- Deans, J. D., J. Mora., and Grace, J. (1996) Biomass relationships for tree species in regenerating semi-deciduous tropical moist forest in Cameroon. *For. Ecol. Manag.* **88**: 215-225.
- De Jong, B. H. J., G. Montoya-Gómez, K. Nelson, L. Soto-Pinto, and Tipper, R. (1995) Community forest management and carbon sequestration: A feasibility study from Chiapas, México. *Interciencia* **20**(6): 409-416.
- Dekker, L.W., Doerr, S.H., Oostindie, K., Ziogas, K.A., Ritsema, C.J. (2001) Water repellency and critical soil water content in a dune sand. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* **65**: 1667-1674 (2001).
- Dozal, C. (2004) Using EBIS to partition sources of soil respiration. Speech power point presentation at UC Irvine, Winston. 24 pag.
- Enquist, B. (2002) Universal scaling in tree and vascular plant allometry: toward a general quantitative theory linking plant form and function from cells to ecosystems. *Tree Physiology* **22**, 1045-1064.
- Escarre, A. (1997) Experiencias para la mejora de masas forestales (FOR 02-96). Informe de seguimiento anual proyecto CEAM. Departamento de Ecología-Universidad de Alicante-Conselleria de Medio Ambiente. 43 pag.
- Esper, J., Cook, E.R., Schweingruber, F.H. (2002) Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. *Science*, Vol **295**, Issue 5563, 2250-2253 , 22 March 2002.
- Fang, C., and Moncrieff, J.B. (2001) The dependence of soil CO<sub>2</sub> efflux on temperature. *Soil Biology and Biochemistry* **33**: 155-165.
- Fang, C., Moncrieff, J.B., Gholz, H.L., and Clark, K.L. (1998) Soil CO<sub>2</sub> efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation. *Plant and Soil* **205**: 135-146.
- Farquhar, G.D., Von Caemmerer, S., and Berry, J.A. (1980) A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> asimilation in leaves of C<sub>3</sub> especies. *Planta* **149**, 78-90.
- Flexas, J., Bota, J., Cifre, J., Escalona, J.M., Galmés, J., Gulías, J., Lefi, E., Martínez-Canellas, S.F., Moreno, M.T., Ribas-Carbó, M., Riera, D., Sampol, B., Medrano., H. (2004) Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. *Ann.Appl. Biol.* (2004), **144**: 273-283.
- Gayoso, J., Guerra, J., y Alarcón D. (2002) Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Informe de proyecto FONDEF D9811076: Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile.
- Gayoso, J. (2002) Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. *Revista Forestal Iberoamericana* Vol. 1 No.1: 1-13.
- Gough, C., and Sèller, J.R. (2004) Belowground carbon dynamics in loblolly pine (*Pinus taeda*) immediately following diammonium phosphate fertilization. *Tree Physiology* **24**, 845-851.

- Gracia, C., Sabaté, S., López, B., y Sánchez A. (2001)** Presente y futuro del bosque mediterráneo: balance de carbono, gestión forestal y cambio global. *En:* Zamora, R. y Pugnaire F. Editores. Ecosistemas Mediterráneos: Análisis funcional. CSIC y AEET. pp: 351-372
- Gracia, C., Vayreda, J., Sabate, S., Ibáñez, J. (2004)** Main components of the aboveground biomass expansion factors. Presentación en la Reunión sobre BEFs (COST Actino) E-21, Hameenlinna (Finland) May, 2004.
- Gras, M.J., De Luis, M., Sanchez, J.R., Bonet, A., Raventos, J. (2000)** Situación actual de pinares en dunas costeras del litoral de la Comunidad Valenciana. I Congreso de Ecología, AEET. Santiago de Compostela, Sept. 2000.
- Grier, C.C., Elliott, K.J., and McCullough, D.G. (1992)** Biomass distribution and productivity of *Pinus edulis* – *Juniperus monosperma* woodlands of north-central Arizona. *Forest Ecology Management* **50**: 331-350.
- Guerrero-Ocampo, J., Camarero, J.J., Gutierrez, E. (1998)** Crecimiento estacional y caída de acículas en *Pinus sylvestris* y *P. uncinata*. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* Vol. 7 (1 y 2), 1998, 155-172 pp.
- Hamilton, J., DeLucia, E., George, K., Naidu, S.L., Finzi, A.C., Schlesinger, W.H. (2002)** Forest carbon balance under elevated CO<sub>2</sub>. *Oecologia* (2002) **131**: 250-260.
- Hanson, P.J., Edwards, N.T., Garten, C.T., Andrews, J.A. (2000)** Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. *Biogeochemistry* **48**, 115-146.
- Hendrick, R.L., and Pregitzer, K.S. (1993)** The dynamics of fine root length, biomass, and nitrogen content in two northern hardwood ecosystems. *Can. J. For. Res.* **23**, 2507-2520.
- Hicke, A.J., Sherriff, L.R., Veblen, T.T., Asner, P.G. (2004)** Carbon accumulation in Colorado ponderosa pine stands. *Can. J. For. Res.* **34**: 1283-1295 (2004).
- Hollinger, D.Y., Kelliher, F.M., Byers, J.N., Hunt, J.E., McSevency T.M., Weir, P.L. (1994)** Carbon dioxide exchange between an undisturbed old-growth temperate forest and the atmosphere. *Ecology* **75**: (1) 134-150.
- Houghton, R.A., Hackler, J.L., and Lawrence, K.T. (2000)** Changes in terrestrial carbon storage in the United States. 2: The role of fire and fire management. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **9**: 145-170.
- Hunt, R. (1990)** Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners. Academic Press. London.
- Husch, B. (2001)** Estimación del contenido de carbono de los bosques. *En:* Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales (18-20 de octubre, 2001), Valdivia Chile. 1-9 pp.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1995)** Climate Change 1995. A report of the Intergovernmental panel on Climate Change: Second assessment synthesis of scientific-technical information relevant to interpreting article 2 of the UN framework convention on climate change. Cambridge University Press, Cambridge. 73 pag.
- Janssens, I.A., (2001)** Productivity overshadows temperature in determining soil and ecosystem respiration across European forest. *Glob. Change Biol.* **7**: 267-278.
- Janssens, I.A., Kowalski, A.S., Longdoz, B. and Ceulemans, R. (2000)** Assessing forest soil CO<sub>2</sub> efflux: An in situ comparison of four techniques. *Tree Physiol.* **20**:23-32.
- Jimenez-Ortiz, M.T. (2001)** Utilización de *Pistacia lentiscus* L. En la recuperación de la cubierta vegetal. Tesis de grado para la obtención del título de licenciatura, Universidad de Alicante.
- Jimenez-Ortiz, M.T., Lledó, M.J., Escarré, A. (2001)** Supervivencia de especies arbóreas y arbustivas en repoblaciones dunares. Comunicación presentada al Simposio de la Asociación Española de Ecología Terrestre: Restauración de Ecosistemas en Ambientes Mediterráneos. Posibilidades y Limitaciones. Alcalá de Henares 20-21 de septiembre de 2001.
- Kelting, D.L., Burger, J.A., and Edwards, G.S. (1998)** Estimating root respiration, microbial respiration in the rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* **30**: (7) 961-968.
- Koizumi, H., Kontturi, M., Nakadai, T., Bekku, T., Mela, T. (1999)** Soil respiration in three soil types in agricultural ecosystems in Finland. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B- Soil And Plant Science* **49**: (2) 65-74.
- Kurtz, W.A. and Kimmons, J.P. (1987)** Analysis of error in methods used to determine fine root production in forest ecosystems: a simulation approach. *Can. J. For. Res.* **17**, 909-912.
- Laitat, E., Chermanne, B., Portier, B. (1999)** Biomass, carbon and nitrogen allocation in open top chambers under ambient and elevated CO<sub>2</sub> and in a mixed forest stand. Reporte de la Unité de Biologie végétale. Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, sección *Forest Tree Ecophysiology*. 18 pag.
- Landsberg, J.J. and Gower, S.T. (1997)** Applications of Physiological Ecology to Forest Management. Academic Press, Inc. San Diego, California, USA. 354 pag.
- Lashof, D.A. and Ahuja, D.R. (1990)** Relative Contributions of Greenhouse Gas emissions to Global Warming. *Nature* **344**, 529-531 (1990).
- Lebre, M., Nys, C., Forgeard, F. (2001)** Litter production in a Atlantic beech (*Fagus sylvatica* L.) time sequence. *Ann. For. Sci.* **58** (2001) 755-768.
- Leonardi, S., Santa Regina, I., Rapp, M., Gallego, H.A., Rico, M. (1996)** Biomass, litterfall and nutrient content in *Castanea sativa* coppice stand of southern Europe. *Ann. Sci. For.* **53**, 1071-1081.

- Lindholm, M., Eronen, M., Timonen, M., and Merilainen, J. (1999) A ring-width chronology of Scots pine from northern Lapland covering the last two millennia. *Ann. Bot. Fennici* 36:119-126.
- Londo, A.J., Messina, M.G., and Schoenholtz, S.H. (1999) Forest harvesting effects on soil temperature, moisture, and respiration in a bottom hardwood forest. *Soil Science Society of America Journal* 63: 637-644.
- Longdoz, B., Yearnaux, M. and Aubinet., M. (2000) Soil CO<sub>2</sub> efflux measurements in a mixed forest: Impact of chamber disturbances, spatial variability and seasonal evolution. *Global Change Biol.* 6: 907–917.
- López, B. Sabaté, S., Gracia, C. (1998) Fine rot dynamics in a Mediterranean forest: effects of drought and stem density. *Tree Physiology*, 18, 601-606.
- López-Serrano, F., Landete-Castillejos, T., Martínez-Millán, J., Cerro-Barja, A. (2000) LAI estimation of natural pine forest using a non-standard sampling technique. *Agricultural and Forest Meteorology* 101 (2000) 95-111.
- Lusk, C.H., Donoso, C., Jiménez, M., Moya, C., Oyarce, G., Reinoso, R., Saldaña, A., Villegas, P., Matus., F. (2001) Descomposición de hojarasca de *Pinus radiata* y tres especies arbóreas nativas. *Revista Chilena de Historia Natural* 74:705-710, 2001.
- Magaña, M. S. (1999) Crecimiento y supervivencia de repoblaciones forestales sobre terrenos agrícolas con *Pinus halepensis* Mill. y *Pinus pinea* L. producidos en vivero sobre diferentes sustratos e inoculados con *Rhizopogon roseolus* (Corda) Th. M. Fr. Memoria de tesina para optar al grado de Técnico en Ingeniería Agraria, Universidad de Lleida. 77 pag.
- Maier, C.A., and Kress, L.W. (2000) Soil CO<sub>2</sub> evolution and root respiration in 11 year-old loblolly pine (*Pinus taeda*) plantations as effected by moisture and nutrient availability. *Can.J. For. Res.* 30: 347-359 (2000).
- Makinen, H., and Makela, A. (2003) Predicting basal area of Scots pine branches. *Forest Ecology and Management* 179 (2003) 351-362.
- Martínez-Trinidad, T., Vargas-Hernández, J., Muñoz-Orozco, A., López-Upton, J. (2002) Respuesta al déficit hídrico en *Pinus leiophylla*: Consumo de agua y crecimiento en plántulas de diferentes poblaciones. *Agrociencia* Vol. 36 Número 3, Mayo-Junio, 36:365-376, 2002.
- Méthy, M. Gillon, D., and Houssard, C. (1997) Temperature-induced changes of photosystem II activity in *Quercus ilex* and *Pinus halepensis*. *Can. J. For. Res.* 27:31-38(1997).
- Mira, F. (1906) Las dunas de Guardamar. Memorias de la SEHN. Tomo IV. Memoria, 2: 57-77.
- Misson, L., Rathgeber, C., Guiot, J. (2004) Dendroecological analysis of climatic effects on *Quercus petraea* and *Pinus halepensis* radial growth using the process-based MAIDEN model. *Can. J. For. Res.* 34: 888-898 (2004).
- Mynemi, R.B., Los, S.O., Asrar, G. (1995) Potential gross primary productivity of terrestrial vegetation from 1982–1990. *Geophys. Res. Lett.*, 22 (19) , (1995) 2617–2620.

*Balance de carbono*

- Mohammad, A., Marumoto, T., Shindo, H and Nishiyama, M. (1996) Mineralization and microbial biomass formation in upland soil amended with some tropical plant residues at different temperatures. *Soil Science and Plant Nutrition*, 42(3): 463-473.
- Mollicone, D., Matteucci, G., Köble, R., Masci, A., Chiesi, M., Smits, P.C., (2002) A model-based approach for the estimation of carbon sinks in european forests. *Ecological Studies* Vol. 164, 179-206(2002).
- Montoya, G., Soto, L., Ben de Jong, Nelson, K., Farias, P., Pajal, T., Taylor, J., y Tipper, R. (1995) Desarrollo Forestal Sustentable: Captura de Carbono en las Zonas Tzeltal y Tojolabal del Estado de Chiapas. Instituto Nacional de Ecología, Cuadernos de Trabajo 4. México, D.F.
- Negi, J.D.S., Manhas, R.K., and Chauhan, P.S. (2003) Carbon allocation in different components of some tree species of India: A new approach for carbon estimation. *Current Science*, Vol. 85, No. 11, 10 December 2003.
- Nicolotti, G., Rettori, A., Paoletti, E., Gullino, M.L. (2004) Morphological and physiological damage by surfactant-polluted seaspray on *Pinus pinea* and *Pinus halepensis*. *Environmental Monitoring and Assessment* (uncorrected proof): 1-17, 2004.
- Norman, J.M., Kucharik, C.J., Gower, S.T., Baldocchi, D.D., Crill, P.M., Rayment, M., Savage, K., and Striegl, R.G. (1997) A comparison of six methods for measuring soil-surface carbon dioxide fluxes. *J. Geophys. Res.* 102:28771–28777.
- Ohashi M., Gyokusen K., Saito A. (2000) Contribution of root respiration to total soil respiration in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D.Don) artificial forest. *Ecological Research* 15: (3) 323-333.
- Oliva, M. y García-Oliva, F. (1998) Un nuevo campo de acción en la química biológica: Parte I. Generalidades sobre el cambio global. Educación Química. UNAM. México. 120 pag.
- Ordoñez, J.A., De Jong, B.H.J., Masera, O. (2001) Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques* 7(2), (2001): 27-47.
- Ordoñez, J.A., y Masera, O. (2001) Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1), (2001): 3-12.
- Oyarzún, C.E. y Huber, A. (1999) Balance hídrico en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globules* y *Pinus radiata* en el sur de Chile. *Terra Volumen* 17, Número 1, 1999: 35-44.
- Pangle, R.E, and Seiler, J. (2002) Influence of seedling roots, environmental factors and soil characteristics on soil CO<sub>2</sub> efflux rates in a 2-year-old loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation in the Virginia Piedmont. *Environmental Pollution* 116 (2002) S185-S96.
- Parresol, R.B. (2002) Biomass. *En*: El-Shaarawi and Piegorisch (Eds.) Encyclopedia of environmetrics. Vol 1, pp. 196-198.
- Pausas, J.G. (1999) Mediterranean vegetation dynamics: modelling problems and functional types. *Plant Ecology* 140: 27-39, 1999.



- Peters, J. Morales, D., and Jiménez, M.S. (2003)** Gas exchange characteristics of *Pinus canariensis* needles in a forest stand on Tenerife, Canary Islands. *Trees* (2003) 17:492-500.
- Polley, H.W., Johnson, H.B., Marino, B.D. and Mayeux, H.S. (1993)** Increase in C3 Plant water-use efficiency and biomass over glacial to present CO2 concentrations. *Nature* 361:61.
- Porté, A., Trichet, P., Bert, D., Loustau, D. (2002)** Allometric relationships for branch and tree woody biomass of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Forest Ecology and Management* 158 (2002) 71-83.
- Quezel P. (1986)** Les pins du groupe "Halepensis", ecologie, végétation, ecophysiologie. *CIHEAM-Options Mediterraneennes*. 86/1 : 11-23.
- Raich, J.W. and Potter, C.S. (1995)** Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. *Global Biochemical Cycles* 9: 23-36.
- Raich, J. W., and Schlesinger, W. H., (1992)** The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate, *Tellus B*, 44 (2) , (1992) 81–99.
- Ranger, J., Gerard, F., Lindemann, M., Gelhaye, D., Gelhaye, L. (2003)** Dynamics of litterfall in a chronosequence of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) stands in the Beaujolais mounts (France). *Ann. For. Sci.* 60 (2003) 475-488.
- Rathgeber, C., Nicault, A., Kaplan, J.O., Guiot, J. (2003)** Using a biogeochemistry model in simulating forest productivity responses to climate change and [CO<sub>2</sub>] increase: example of *Pinus halepensis* in Provence (south-easth France). *Ecological Modelling* 166 (2003) 239-255.
- Raventos, J., De Luis, M., Gras, M.J., Cufar, K., Gonzales-Hidalgo, J.C., Bonet, A., Sánchez, J.R. (2001)** Growth of *Pinus pinea* and *Pinus halepensis* as affected by dryness, marine spray and land use changes in a Mediterranean semiarid ecosystem. *Dendrochronologia* 19 (2) – 2001: 211-220.
- Rayment, M.B. and Jarvis, P.G. (2000)** Temporal and spatial variation of soil CO<sub>2</sub> efflux in a Canadian boreal forest. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 35-45.
- Retzlaff, W.A., Handest, J.A., O'Malley, D.M., McKeand, S.E., and Topa, M.A. (2001)** Whole-tree biomass and carbon allocation of juvenile trees of loblolly pine (*Pinus taeda*): influence of genetics and fertilization. *Can.J.Res.* 31: 960-970 (2001).
- Rey, A., Pegoraro, E., Tedeschi, V., Parri, I., Jarvis, P.G., and Valentín, R. (2002)** Annual variation in soil respiration in soil respiration and its componentes in a coppice oak forest in Central Italy. *Global Change Biology* (2002) 8, 851-866.
- Rochette, P., Gregorich, E.G. and Desjardins, R.L. (1992)** Comparison of static and dynamic closed chambers for measurement of soil respiration under field conditions. *Can. J. Soil Sci.* 72: 605-609.
- Rochette, P., Ellert, B., Gregorich, B.G., Desjardins, R.L., Pattey, E., Lessard, R., and Johnson, B.G. (1997)** Description of a dynamic closed chamber for measuring soil respiration and its comparison with other techniques. *Can. J. Soil. Sci.* 77:195-203.

*Balancede carbono*

- Roelandt, C. (2001)** Coupled simulation of potential natural vegetation natural vegetation, terrestrial carbon balance and physical land-surface properties with the AALBIOC model. *Ecological Modelling* **143** (2001) 191-214.
- Rustad, L.E., Huntington, T.G., and Boone, R.D. (2000)** Controls on soil respiration: Implications for climate change. *Biogeochemistry* **48**: 1-6.
- Sabaté, S., Gracia, C., Vayreda, J., Ibáñez, J. (2004)** Differences among species in aboveground biomass expansion factors in Mediterranean forests. Paper submitted to Forest Ecology and Management. Paper in proof.
- Sanquetta, C.R., Watzlawick, L. F., Arce, J.E., De Mello, A.A. (2001)** Ecuaciones de biomasa aérea y subterránea en plantaciones de Pinus taeda en el sur del Estado de Paraná, Brasil. *En*: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura del Carbono en Ecosistemas Forestales, 18 al 20 de octubre del 2001, Valdivia, Chile. 1-10 pp.
- Santa Regina, I., Tarazona, T., Calvo, R. (1997)** Aboveground biomass in a beech forest and Scots pine plantation in the Sierra de la Demanda area of northern Spain. *Ann. Sci. For.* **54**, 261-269.
- Sardans, J., Rodà, F., y Peñuelas, J. (2004)** Phosphorus limitation and competitive capacities of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* on different soils. *Plant Ecology* **174**: 305-317, 2004.
- Saxe, H., Cannell, M., G.R., Johnsen, O., Ryan, M.G., Vourlitis, G. (2001)** Tree and forest functioning in response to global warming. *New Phytologist* Tansley Review No. 123 (2001) **149**: 369-400.
- Scarascia-Mugnozza, G. (1986)** Recherches sur l'écophysiologie de *Pinus halepensis* Miller. *CIHEAM-86/1* : 89-97.
- Scarascia-Mugnozza, G., Oswald, H., Piussi, P., Radoglou, K. (2000)** Forests of the Mediterranean region, gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management*, **132** (2000) 97-109.
- Schiller, G. and Cohen, Y. (1995)** Water regime of a pine forest under a Mediterranean climate. *Agric. For. Met.* **74**: 181-193.
- Schiller, G. and Cohen, Y. (1998)** Water balance of *Pinus halepensis* Mill. Afforestation in an arid region. *Forest Ecology and Management* **105** (1998) 121-128.
- Seva, E., Gutierrez, A., Martín, J., Escarré, A. (1989)** Plantas psamófilas. *En*: A. Escarré, J. Martín, E. Seva (Eds.) Estudio sobre el medio y la biocenosis en los arenales costeros de la provincia de Alicante. Departamento de Ciencias ambientales y recursos naturales, Universidad de Alicante. 129 pag.
- Song, C. and Woodcock, C.E. (2003)** A regional forest ecosystem carbon budget model: impacts of forest age structure and landuse history. *Ecological Modelling* **164** (2003) 22-47.

- Tans, P.P. and White, J.W.C. (1998) In balance, with a little help from the plants. *Science*, Vol. 281, Issue 5374, 183-184, 10 July 1998.
- Thomas, S.M., Whirehead, D., Adams, J.A., Reid, J.B., Sherlock, R.R., and Leckie, A. (1996) Seasonal root distribution and soil surface carbon fluxes for one-year-old *Pinus radiata* trees growing at ambient and elevated carbon dioxide concentration. *Tree Physiology* 16: 1015-1021.
- Tissue, D.T., Thomas, R.B., Strain, B.R. (1996) Growth and photosynthesis of loblolly pine (*Pinus taeda*) after exposure to elevated CO<sub>2</sub> for 19 months in the field. *Tree Physiology* 16, 49-59.
- Toland, D.E. and Zak, D.R. (1994) Seasonal patterns of soil respiration in intact and clearcut northern hardwood forests. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 1711-1716.
- Tufekcioglu, A., and Kucuk, M. (2004) Soil respiration in young and old oriental spruce stands and in adjacent grasslands in Artvin, Turkey. *Turk J. Agric. For.* 28(2004): 429-434.
- Tufekcioglu, A., Raich, J.W., Insenhart, T.M., Schultz, R.C. (2001) Soil respiration within riparian buffers and adjacent crop fields. *Plant and Soil* 229: (1) 117-124.
- Valdecantos, D.A. (2001) Aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos en la repoblación de zonas forestales degradadas de la Comunidad Valenciana. Memoria para optar el grado de Doctor en Ciencias Biológicas, Departamento de Ecología, Universidad de Alicante.
- Valentine, H.T., Baldwin, Jr, V.C, Gregoire, T.G., Burkhart, H.E. (1994) Surrogates for foliar dry matter in loblolly pine. *For. Sci.* 40 (3), 576-585.
- Van Veen, J.A., Liljeroth, E., and Lekkerkerk J.A. (1991) Carbon fluxes in plant-soil systems at elevated atmospheric CO<sub>2</sub> levels. *Ecological Applications* 1: (2) 175- 181.
- Varnero, M., Santibáñez, F. y Espinosa, T. (1987) Efecto de la humedad y la temperatura en la descomposición de la materia orgánica del suelo en condiciones de laboratorio. *Agricultura Técnica (Chile)*, 47(2): 97-100.
- Vilà, m., Vayreda, J., Gracia C. (2003) Does tree diversity increase wood production in pine forest? *Oecologia* (2003) 135: 299-303.
- Villar, S.P., Ocaña, B.L., Peñuelas, R. J.L., Carrasco, M.I., Domínguez, L.S. (1997) Efecto de diferentes niveles de endurecimiento por estrés hídrico en el contenido de nutrientes y la resistencia a la desecación de plántulas de *Pinus halepensis* Miller. *En: Actas del II Congreso Forestal Español*, Pamplona: Mesa 3:673-678.
- Vose, J.M., Elliot, K.J., Johnson, D.W., Walker, R.F., Johnson, M.G., Tingey, D.T (1995) Effects of elevated CO<sub>2</sub> and N fertilization on soil respiration from ponderosa pine (*Pinus ponderosa*) in open-top chambers. *Can. J. For. Res.* 25: 1243-1251 (1995).
- Wang, K.Y., Kellomäki, S. & Laitinen, K. (1996) Acclimation of photosynthetic parameters in Scots pine after three-year exposure to elevated CO<sub>2</sub> and temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* 82: 195-217.
- Weber, M.G. (1990) Forest soil respiration after cutting and burning in immature aspen ecosystems. *Forest Ecology and Management* 31: 1-14.

*Balance de carbono*

---

- West, G.B., Brown, J.H., and Enquist, B.J. (1997)** A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *Science* **276**: 122-126.
- Watson, R.T., Nobel, I., Bolin, B., Rabindranath, N.H., Verardo, D. and Dokken, D. (2000)** Land Use, Land Use Change and Forestry. Summary for policy makers. 30 pag. *En*: Cambridge University Press, Cambridge (Ed.) Special Report to the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK. 375pp.
- Widén, B. and, Lindroth, A. (2003)** A calibration system for soil carbon dioxide-efflux measurement chambers: description and application. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **67**: 327-334 (2003).
- Winkler, J.P., Cherry, R.S., Sclesinger, W.H. (1996)** The  $Q_{10}$  relationship of microbial respiration in a temperate forest soil. *Soil Biology and Biochemistry* **28**: 1067- 1072.
- Wohlfahrt, G., Bahn, M., and Cernusca, A. (1999)** The use of the ratio between the photosynthesis parameters  $P_{ml}$  and  $V_{cmax}$  for scaling up photosynthesis of  $C_3$  plants from leaves to canopies: a critical examination of different modelling approaches. *J. theor. Biol.* (1999) **200**, 163-181.
- Xiao, C., Yuste, J.C., Janssens, I.A., Roskams, P., Nachtergale, L., Carrara, A., Sanchez, B.Y., Ceulemans, R. (2003)** Above-and belowground biomass and net primary production in a 73-year-old Scots pine forest. *Tree Physiology* **23**, 505-516.
- Zerva A. (2000)** An investigation of soil carbon stocks in Sitka spruce stands, *Picea Sitchensis* (Bong.) Carr. in Harwood Forest, Northumberland, England; dissertation presented for the degree of Master of Science, University of Edinburgh.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

*"When you were born, you cried and the world rejoiced. Live your life so that when you die, the world cries and you rejoice."*  
**Cherokee Expression**



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## CAPITULO 5

### CONSIDERACIONES FINALES

#### 5.1. Introducción

La producción bruta anual del pinar de Guardamar del Segura, depende básicamente del aprovechamiento de los recursos existentes en este ecosistema, agua y radiación fotosintéticamente activa, aunque existen otras variables, que también participan en este proceso. Se denota que la producción de los árboles depende de diferentes procesos ecofisiológicos, como la fotosíntesis y la transpiración. Así mismo, la fotosíntesis bruta, la liberación de carbono a través de la respiración autotrófica, la transferencia de carbono al suelo en forma de hojarasca y eventualmente la liberación de carbono a la atmósfera a través de la respiración heterotrófica, son controlados principalmente por las condiciones medioambientales como precipitación, temperatura, PAR, humedad relativa, factores edáficos, tal como señalan autores como Wang *et al.* (1996), Calder (1998) o Malhi y Grace (2000).

#### 5.2. Papel de la fotosíntesis en el pinar de Guardamar del Segura

Apoyando la hipótesis que, bajo regímenes climáticos disímiles, las respuestas adaptativas de las plantas son limitadas, se ha visto que la fotosíntesis tiene diferentes tasas según la estación del año. En los ecosistemas de zonas con clima mediterráneo, se han descrito diversos tipos de estrés que restringirían las oportunidades de desarrollo y supervivencia de las especies vegetales. Ejemplo de esto es la zona de Guardamar, que se caracteriza por una disponibilidad hídrica limitada, así como por diferencias notables, diurnas o estacionales, en las temperaturas. Estos factores determinan que el crecimiento y la reproducción estén restringidos a la estación primaveral.

El proceso que inicia el proceso de carbono es la fotosíntesis, que en su interacción con los factores de temperatura y disponibilidad de agua pueden marcadamente modificar el grado e incluso la dirección de desarrollo del ecosistema. De aquí es que los pinos estudiados para producir 0.72 MgC/Ha.año (estimado como incremento de biomasa entre dos momentos de todo el periodo de estudio). En comparación la estima de producción que se obtiene a partir del balance del carbono entre la asimilación (fijación de carbono) (tabla 45) y la respiración autotrófica resultan un valor de 1.83 MgC/Ha.año, que ha sido un valor bajo en comparación a los de otros autores, como se vio en el capítulo 4.



### 5.2.1. Respuesta de la fotosíntesis y la respiración a la temperatura

Sin duda la fotosíntesis está muy enlazado con la transpiración y la producción de biomasa, y su dinámica determina el estado del estado del ecosistema. La fotosíntesis es un proceso enzimático y por lo tanto bastante sensible a los cambios de temperatura. Los máximos índices de fotosíntesis se producen en pequeños rangos de temperatura. La temperatura óptima de fotosíntesis para nuestras especies (*Pinus halepensis* Miller y *P. pinea* L.) ha sido los 17°C, en comparación a temperaturas reconocidas para ambientes mediterráneos el cual oscila entre 16°C y 19°C (Wang *et al.*, 1996).

De la misma forma se ha observado que la fotosíntesis en el pinar estudiado es mucho más sensible a niveles altos de intensidad de radiación que a niveles bajos, ya que en estas condiciones es limitado por su cierre estomático. Niveles de temperatura por encima de los 30°C, han sido limitantes para la realización de fotosíntesis.

La respiración es también sensible a los cambios de temperatura ya que la primera aumenta a medida que lo hace la segunda, aunque a costa de invertir energía. Algunos autores han demostrado que el crecimiento y el mantenimiento de la respiración puede consumir más del 50% del carbono fijado en la fotosíntesis, aunque en bosques maduros esa relación estaría de entre el 13 y 42% (Ryan y Waring, 1992, Carey *et al.*, 1996). Este proceso se ha observado en días con temperaturas por encima de los 30°C y, aunque no se ha seguido la secuencia total de este proceso en la noche, nuestras estimaciones han coincidido con la de otros autores, como Gifford (2001), que indican que los índices de respiración en árboles longevos y de crecimiento lento (característica de los árboles de Guardamar del Segura), son pequeñas.

La estacionalidad de las lluvias y las temperaturas en Guardamar afectaron la fotosíntesis en las especies. A pesar de que los patrones fenológicos han sido claros las adaptaciones de ambas especies han de permitido el crecimiento vegetativo (aunque pequeño) sobre todo en primavera cuando la humedad del suelo es abundante y las temperaturas permanecen favorables para la fotosíntesis. En estas condiciones, de sequía y temperaturas altas, algunas especies vegetales sufren una serie de efectos como la cavitación, ya que en estas condiciones las tensiones negativas en el xilema son evidentes, y los tallos se hacen más sensibles a este proceso (Grace 1993). Otro factor, por el cual las plantas pueden pasar es el embolismo, inducido por estrés hídrico; ya que en estas condiciones la formación de gas y el rompimiento de la columna de agua en los tallos no estaría en función directa con el tamaño de los conductos, sino más bien con el máximo tamaño del poro en las paredes celulares de vasos y traqueidas (Langan *et al.* 1997).

Siendo la fotosíntesis un proceso que demanda energía, no es sorprendente que los índices de fotosíntesis instantáneos fueran bastante sensibles a las condiciones predominancia de radiación, sobre todo diferenciándolos entre estaciones. En intensidades bajas (entre 500 y 750 W/m<sup>2</sup>) de luz que se dan tanto en días nublados como al inicio del día, la fotosíntesis aumentó

### *Consideraciones finales y conclusiones generales*

---

linealmente con la intensidad de ella. A altos niveles de radiación, la fotosíntesis se satura y en consecuencia son observados sólo pequeños incrementos de la misma. Eventualmente los pigmentos fotosintéticos pueden llegar a ser dañados por intensidades altísimas de luz y llegar a la fotoinhibición, mostrando un decremento en el índice de la fotosíntesis.

#### *5.2.2. Respuesta del agua a la fotosíntesis*

Por un lado, debido a la relación entre la fijación de CO<sub>2</sub> y la transpiración del agua, la fotosíntesis está fuertemente ligado a la disponibilidad hídrica y a la tolerancia de las plantas a la sequía. El pinar es una clara muestra de las relaciones señaladas, ya que la fotosíntesis se ha reducido con valores bajos de contenido volumétrico de agua en el suelo. En conclusión podríamos señalar, es que el pinar sobrevive gracias a la disponibilidad estacional del agua, y que en los períodos de fuerte sequedad, es cuando el árbol, prácticamente reduce su metabolismo al máximo, lo que traería consecuentemente, el poco crecimiento, o incluso la desaparición de los anillos de crecimiento.

La temperatura, agua y luz (en cantidad y variabilidad) pueden estar relacionados y co-regular la absorción de carbono para la fotosíntesis, y en definitiva, hablando en tiempos geológicos, determina la existencia de un ecosistema. Dado que los resultados de la investigación apuntan a la falta de crecimiento del pinar, es incuestionable que las variables climatológicas señaladas no son sólo las causas de la falta de crecimiento, sino que existen, otra de origen antrópico que contribuye a la falta de aumento de la población arbórea. Al mismo tiempo, se ha observado que la interacción de estas variables supone un equilibrio entre ellas, y dado que los balances nos han dado eso, un equilibrio, suponemos que los suelos del pinar no sostiene mayores cantidades de árboles (por su poca capacidad de retención de agua), pero si otras especies de raíces rastreras, como las plantas estrictas de las dunas.

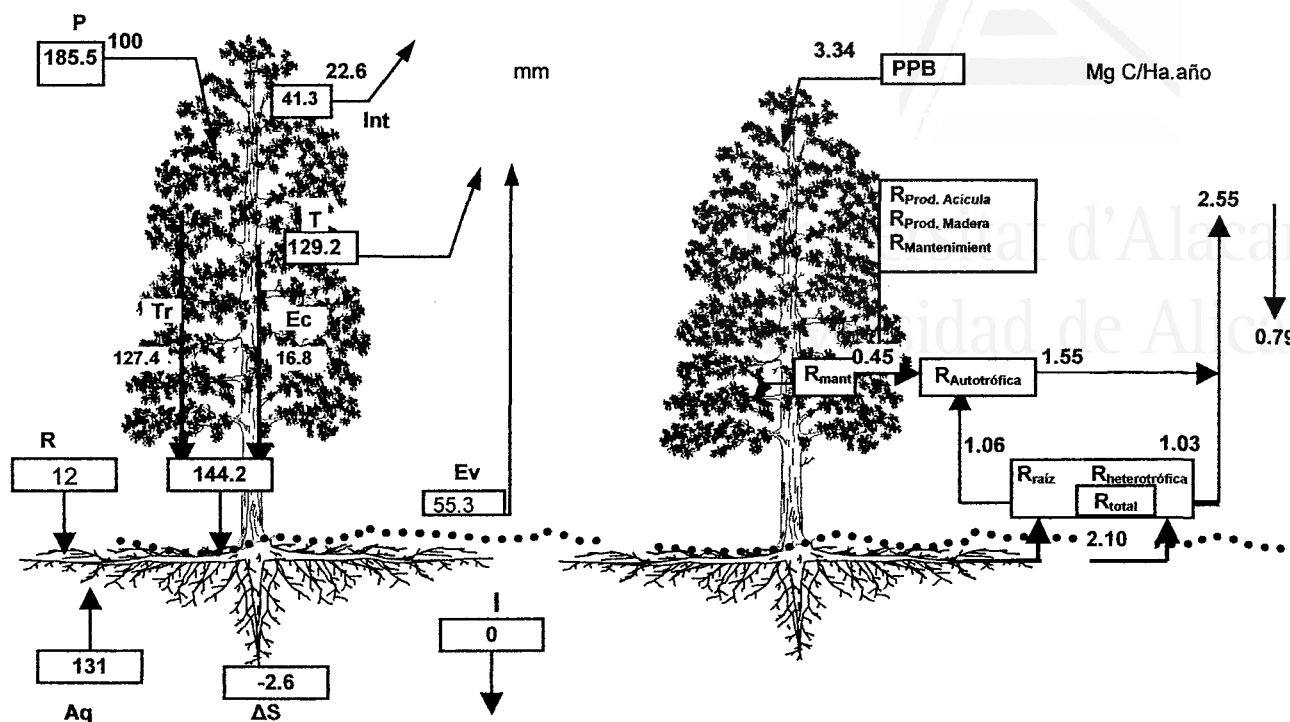


Figura 74. (a) Resúmenes del balance de aguas y (b) y carbono de las especies de *Pinus pinea* L. (PP) y *P. halepensis* Miller (PH).

Tabla 46. Resumen del balance del agua para en el periodo de investigación en Guardamar del Segura.

MES	P (mm)	P <sub>e</sub> (mm)	R (mm)	P <sub>e</sub> +R (entradas)	S <sub>i</sub> (mm)	S <sub>f</sub> (mm)	ΔS (mm)	Ev (mm)	T (mm)	Ev+T (salidas)	Diferencia (entradas - salidas)
oct-02	7.5	5.3	0.0	5.3	5.1	4.6	-0.5	6.6	5.2	11.7	-6.5
nov-02	17.0	10.6	0.0	10.6	4.6	11.4	6.7	9.3	16.5	25.9	-15.3
dic-02	12.5	9.8	2.4	12.2	11.4	8.9	-2.5	6.8	33.3	40.0	-27.9
ene-03	32.9	26.1	0.0	26.1	8.9	11.1	2.2	2.5	15.4	17.9	8.2
feb-03	11.9	6.8	1.3	8.1	11.1	5.2	-5.9	2.2	7.3	9.5	-1.4
mar-03	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	6.1	0.9	1.4	6.3	7.6	-7.6
abr-03	31.5	26.9	0.8	27.8	6.1	12.6	6.5	4.3	10.2	14.5	13.3
may-03	72.3	58.7	0.0	58.7	12.6	6.1	-6.5	3.2	7.3	10.5	48.2
jun-03	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	3.5	-2.6	2.3	4.4	6.7	-6.7
jul-03	0.0	0.0	4.0	4.0	3.5	1.7	-1.8	9.2	14.6	23.9	-19.8
ago-03	0.0	0.0	3.5	3.5	1.7	2.5	0.7	7.6	8.7	16.3	-12.8
<b>Año 2002-2003</b>	<b>185.5</b>	<b>144.2</b>	<b>12.0</b>	<b>156.2</b>			<b>-2.6</b>	<b>55.3</b>	<b>129.2</b>	<b>184.5</b>	<b>-28.2</b>

### **5.3. Importancia del agua y la fotosíntesis en el proceso de producción del pinar de Guardamar del Segura**

En el presente estudio se ha trabajado durante dos años hidrológicos cuyos datos pueden verse en la tabla 25. El estudio del balance de carbono ha coincidido con el segundo año hidrológico, y por lo tanto en este capítulo se intenta relacionar los flujos medidos en este segundo periodo.

La precipitación en el año 2002-2003 fue de 185.5 mm y sólo llegó al suelo. Se debe señalar que el agua que efectivamente entró al ecosistema, ha jugado un papel importante en el desarrollo de mismo. El papel de la interceptación de la lluvia es importante porque afecta a la fotosíntesis bruta, disminuyendo la disponibilidad de agua para las plantas. Como se observa en la Fig 65 el 23% del agua de lluvia ha sido interceptada y devuelta a la atmósfera, por lo que no llegó al suelo. Del volumen de precipitación que alcanzó el suelo, los pinos utilizaron el 20% en el proceso de transpiración. Calder (1998), señala que la interceptación anual puede ser, incluso, dos veces más que la transpiración.

Se ha visto por ejemplo que anual (En consecuencia, la interacción entre el uso del agua y el crecimiento del bosque difieren en diferentes escalas de espacio y de tiempo.

Cuando la lluvia cae al suelo, parte se evapora y parte vuelve a la atmósfera, otra a través del escurrimiento superficial o subsuperficial en los ríos, para finalmente llegar al océano. Cuando el suelo está poblado de vegetación, el suelo almacena la humedad, parte del cual es evaporado localmente, una parte es tomado por las plantas por las raíces y transpirado localmente.

En zonas donde el aire se eleva (baja presión), la humedad adicional se condensará con la altura, no solo causando una adicional precipitación, sino elevando el calor latente.

De la misma forma, el agua es un importante factor que influye en el crecimiento del bosque y en consecuencia de la fijación potencial de carbono (Van Wijk et al., 2001). Los procesos fundamentales en el ecosistema y en la planta están afectados directamente por el incremento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera o indirectamente por las condiciones de cambio climático causados por algunas actividades humanas como el cambio de uso del suelo y la quema de bosques y combustibles fósiles.

Relacionar la asimilación bruta o neta al crecimiento de la planta para estimar la productividad de un bosque ha sido difícil de solucionar. Inclusive si no existiera una relación obvia entre la fotosíntesis y la producción de madera, la productividad del bosque está limitado por la fotosíntesis de la copa del árbol, el cual determina su límite superior. El incremento de la biomasa depende de la productividad primaria neta.

Se ha visto que en la práctica que la relación de la respiración y la fotosíntesis es conservativa en todos los tamaños de plantas e índices de crecimiento, concentraciones de CO<sub>2</sub> y temperaturas. Esto es equivalente al conservatismo del uso eficiente del carbono, y el índice de la respiración y la producción primaria bruta. En medidas de campo se ha mostrado que estos índices está típicamente en el rango de 0.35 a 0.6 (Gifford, 2001). Nuestros resultados han coincidido con esta capacidad, ya que mostraron un índice de 0.47.

Sin embargo, con una buena cantidad de agua, por ejemplo en días con precipitación (i.e. de 35 a 50 mm), procesos como la fotosíntesis y transpiración han ocurrido en índices más elevados.

*Consideraciones finales y conclusiones generales*

---

**Referencias**

- Calder, I.R., (1998)** Water use by forests, limits and controls. *Tree Physiol.* **18**, 625-631.
- Carey, E.V., Delucia, E.H., and Ball, T.J. (1996)** Stem maintenance and construction respiration in *Pinus ponderosa* grown in different concentrations of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Tree Physiology* **16**, 125-130.
- Gifford, R. (2001)** Plant respiration. *En:* CRC for Greenhouse Accounting. NEE Workshop Proceedings: 18-20 April, 2001. 38-42 pp.
- Grace, J. (1993)** Consequences of xilem cavitation for plant water deficits. *En:* Smith JAC & H Griffiths (Eds) Water deficits plant responses from cell to community: 109-128. BIOS Scientific Publishers Limited, Oxford, United Kingdom.
- Malhi, Y. and J. Grace (2000)** Tropical forest and atmospheric carbon dioxide. *Tree* **15**(8): 332-337.
- Langan, S.J., Ewers, F., W., Davis, S.D. (1997)** Xylem dysfunction caused by water stress and freezing in two species of co-occurring chaparral shrubs. *Plant, Cell and Environment* **20**: 425-437.
- Ryan, M.G. and Waring, R.H. (1992)** Maintenance respiration and stand development in a subalpine lodgepole pine forest. *Ecology* **73**:2100-2108.
- Wang, K.Y., Kellomäki, S. & Laitinen, K. (1996)** Acclimation of photosynthetic parameters in Scots pine after three-year exposure to elevated CO<sub>2</sub> and temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* **82**: 195-217.
- Van Wijk, M.T., Dekker, S.C., Bouten, W., Kohsiek, W., Mohren, G.M.J. (2001)** Simulation of carbon and water budgets of a Douglas-fir forest. *Forest Ecology and Management* **145** (2001) 229-241.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## CAPITULO 6

## CONCLUSIONES GENERALES

1. En el ecosistema estudiado, el valor medio del LAI para los dos años es  $2.23 \pm 0.67$ . Existe una marcada variación entre las estaciones con máxima disponibilidad hídrica (primavera del 2002 con un LAI de  $3.67 \pm 1.58$ ) frente a los otoños con  $1.66 \pm 0.32$  (en 2002) y  $1.74 \pm 0.35$  (en 2003).
2. La variación espacial del LAI es marcada entre zonas alejadas de la costa y situadas en depresiones (LAI máximo encontrado igual a 9.78) y las más cercanas a la playa que presentan pinos en las crestas de las dunas (LAI = 0.24).
3. Existe efectivamente una relación del consumo de agua por los árboles predominantes, el almacenamiento de agua en el perfil del suelo y la precipitación real en la zona. Se puede asumir que durante el invierno el limitado flujo de savia está explicado por los bajos valores de transpiración, y ocasionalmente por los bajos valores de radiación; en cambio en verano, este flujo está limitado por la falta de agua en el perfil del suelo. En consecuencia, se espera que existan valores muy altos de transpiración en primavera y esporádicamente en otoño pues son las estaciones más favorables por existir precipitaciones y radiación suficientes.
4. Los valores encontrados de asimilación de CO<sub>2</sub> para *Pinus halepensis* y *Pinus pinea* no se diferencian estadísticamente pero sí lo hacen entre estaciones. Las tasa estacionales de fotosíntesis son estadísticamente diferentes (el promedio máximo será en primavera con un valor de  $3.9 \pm 0.37$  con  $3.9 \pm 0.37 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  y la más baja se ha observado en verano con  $0.14 \pm 0.05 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ).
5. La respiración del suelo está controlada por las características del mismo y por las condiciones de las estaciones del año. Se ha observado diferencias altamente significativas entre estaciones, diferencia que se ve básicamente entre la primavera y el resto de las estaciones, con una máxima en la primavera del 2003 en el suelo en las proximidades del pino carrasco con un flujo de respiración de  $4.39 \pm 1.27 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .
6. El balance de agua para el año hidrológico 2002-2003 supone unas entradas por precipitación y rocío de 156.2 mm y unas salidas por evaporación y transpiración de 184.5 mm. Teniendo en cuenta las diferencias en el almacén de agua en el suelo, (-2.6 mm) y que las diferencias entre las entradas y las salidas dan un saldo negativo de 28.2 mm, la compensación de este déficit se atribuye a un ascenso capilar del agua.
7. El incremento global neto entre la producción primaria bruta y la respiración global del ecosistema ( $3.34 - 2.55 \text{ Mg C/Ha}\cdot\text{año}$ ) es de  $0.79 \text{ Mg C/Ha}\cdot\text{año}$ , un valor bajo que confirma el estado estacionario de la pinada.





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**ANEXOS**



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## Anexo 1.

Tabla 1. Localización de puntos geográficos (proyección Lambert) de toma de medidas de LAI en la parcela de estudio

n	cuadr	X	Y	n	cuadr	X	Y
1	1	4219880	706400	67	6	4220250	706250
2	2	4219875	706425	68	5	4220225	706225
3	3	4219900	706450	69	4	4220200	706200
4	4	4219925	706475	70	3	4220175	706175
5	5	4219950	706500	71	2	4220150	706150
6	6	4219975	706525	72	1	4220125	706125
7	6	4220000	706500	73	1	4220150	706100
8	5	4219975	706475	74	2	4220175	706125
9	4	4219950	706450	75	3	4220200	706150
10	3	4219925	706425	76	4	4220225	706175
11	2	4219900	706400	77	5	4220250	706200
12	1	4219875	706375	78	6	4220275	706225
13	1	4219900	706350	79	6	4220300	706200
14	2	4219925	706375	80	5	4220275	706175
15	3	4219950	706400	81	4	4220250	706150
16	4	4219975	706425	82	3	4220225	706125
17	5	4220000	706450	83	2	4220200	706100
18	6	4220025	706475	84	1	4220175	706075
19	6	4220050	706450	85	1	4220200	706050
20	5	4220025	706425	86	2	4220225	706075
21	4	4220000	706400	87	3	4220250	706100
22	3	4219975	706375	88	4	4220275	706125
23	2	4219950	706350	89	5	4220300	706150
24	1	4219925	706325	90	6	4220325	706175
25	1	4219950	706300	91	6	4220350	706150
26	2	4219975	706325	92	5	4220325	706125
27	3	4220000	706350	93	4	4220300	706100
28	4	4220025	706375	94	3	4220275	706075
29	5	4220050	706400	95	2	4220250	706050
30	6	4220075	706425	96	1	4220225	706025
31	6	4220100	706400	97	1	4220250	706000
32	5	4220075	706375	98	2	4220275	706025
33	4	4220050	706350	99	3	4220300	706050
34	3	4220025	706325	100	4	4220325	706075
35	2	4220000	706300	101	5	4220350	706100
36	1	4219975	706275	102	6	4220375	706125
37	1	4220000	706250	103	6	4220400	706100
38	2	4220025	706275	104	5	4220375	706075
39	3	4220050	706300	105	4	4220350	706050
40	4	4220075	706325	106	3	4220325	706025
41	5	4220100	706350	107	2	4220300	706000
42	6	4220125	706375	108	1	4220275	705975
43	6	4220150	706350	109	1	4220300	705950
44	5	4220125	706325	110	2	4220325	705975
45	4	4220100	706300	111	3	4220350	706000
46	3	4220075	706275	112	4	4220375	706025
47	2	4220050	706250	113	5	4220400	706050
48	1	4220025	706225	114	6	4220425	706075
49	1	4220050	706200	115	1	4220450	706050
50	2	4220075	706225	116	2	4220425	706025
51	3	4220100	706250	117	3	4220400	706000
52	4	4220125	706275	118	4	4220375	705975
53	5	4220150	706300	119	5	4220350	705950
54	6	4220175	706325	120	6	4220325	705925
55	6	4220200	706300	121	1	4220350	705900
56	5	4220175	706275	122	2	4220375	705925
57	4	4220150	706250	123	3	4220400	705950
58	3	4220125	706225	124	4	4220425	705975
59	2	4220100	706200	125	5	4220450	706000
60	1	4220075	706175	126	6	4220475	706025
61	1	4220100	706150	127	6	4220500	706000
62	2	4220125	706175	128	5	4220475	705975
63	3	4220150	706200	129	4	4220450	705950
64	4	4220175	706225	130	3	4220425	705925
65	5	4220200	706250	131	2	4220400	705900
66	6	4220225	706275	132	1	4220375	705875

## Descripción de la metodología de estimación del índice de área foliar a través del método del prisma.

### 1. Teoría

Como consecuencia de las limitaciones mencionadas arriba, inherentes en los instrumentos de mediciones ópticas, los investigadores han aplicado una serie de correcciones a las mediciones obtenidas por éstos. Para el LAI-2000 están descritas extensamente en Chen (1996) y Chen *et al.* (1997). Otros en cambio han preferido sustentar su corrección basándose en la arquitectura de la planta, como Smolander y Stenberg (1996) que expresaron los resultados del LAI-2000 multiplicando esta información por 2, ya que asumieron que la parte leñosa era la mitad de la totalidad de la copa. También se ha realizado la corrección multiplicando al resultado un índice basado en la relación del área total de proyección de las acículas con el área de la silueta de la copa (Hebert y Jack, 1998); otros autores han incorporado elementos como el índice de agrupación de acículas (Chen, 1996), un índice razón de área de acículas en relación al ramillo (para agrupaciones dentro de la copa) y un índice razón de la parte leñosa en relación al área total de la copa (Stenberg *et al.*, 2003).

Barclay y Trofymow (2000) y Chen (1996) indican que el LAI-2000 mide el LAI efectivo (LAI<sub>e</sub>), el cual es el producto del LAI y el índice de agrupación del follaje.

#### 2.1. Índices de agrupación del follaje.

El índice de agrupación del follaje (u organización de acículas y ramas) ( $\Omega$ ) es el más estudiado de los índices de agrupación ya que está relacionado directamente a los regímenes de luz en la copa del árbol y la estructura de la vegetación (Walter *et al.*, 2003), contribución claramente elucidado del material no fotosintetizador (Lopez-Serrano *et al.*, 2000), como son las ramas y las hojas secas.

Una ordenación de los elementos que concurren en la obtención de un índice de corrección para las mediciones obtenidas con el LICOR-2000, en principio, parte de: a) la agrupación de follaje, tanto a nivel ramillo, dentro de la copa de árbol y dentro de la cubierta, b) el grado de contribución del material no fotosintéticamente activo o parte leñosa, el cual según Chen *et al.* (1997), representa hasta un 30% en copas de índices de área foliares de valores bajos, y se implica de manera específica la cuantificación de las ramas, ya que éstas sostienen a las acículas (Kucharik *et al.*, 1998a). Por lo tanto este es un índice de corrección requerido para convertir el LAI efectivo (LAI<sub>e</sub>) a LAI. Según Chen (1996), esta conversión se da a través de la siguiente relación:

$$LAI = \frac{LAI_e}{\Omega} \quad (1)$$

Donde  $\Omega$  es el índice de agrupamiento foliar. Y obtiene valores igual a 1 cuando la distribución espacial de las hojas es al azar. Cuando las hojas están distribuidas muy regularmente, toma un valor mayor a la unidad. Cuando las hojas están muy agrupadas, y las hojas se sitúan unas sobre otras, este índice toma un valor menor a la unidad.

Las acículas de las coníferas tienen diferentes niveles de agrupación, por lo que se ha tomado al ramillo (el agrupamiento básico de acículas distribuido alrededor de la rama más pequeña) como la unidad básica de follaje que afecta a la transmitancia de la radiación solar (Fassnacht *et al.*, 1994). También se ha determinado a través de la distribución de los tamaños de huecos en la copa, que el tamaño de las unidades básicas de follaje es el promedio del ancho de la proyección de la ramilla (Chen, 1997). Esta relación explica porqué a una pequeña distancia, los pequeños huecos en la copa desaparecen debido al efecto de la penumbra. Por eso es difícil medir el total del área de las acículas dentro de las ramillas con los instrumentos ópticos. Para esto  $\Omega$  se separa en dos componentes:

$$\Omega = \frac{\Omega_E}{\gamma_E} \quad (2)$$

Donde  $\gamma_E$  es la razón área de acículas a ramillo que cuantifica el efecto del agrupamiento del follaje dentro de la ramilla y  $\Omega_E$  es el índice de agrupamiento que cuantifica el efecto de agrupación del follaje a escalas superiores a la del ramillo.

Por tanto, los índices de agrupamiento para corregir las lecturas del LAI-2000 son la razón área de acículas a ramillo ( $\gamma_E$ ) y el índice de agrupamiento para escalas superiores a las del ramillo ( $\Omega_E$ ).

### 1.1.1. Razón área de acículas a ramillo ( $\gamma_E$ )

A menudo las acículas de las coníferas están muy agrupadas y por lo tanto es difícil estimar el total de la superficie de acículas mediante medidas ópticas. Chen (1996) desarrolló la siguiente relación:

$$\gamma_E = \frac{A_n}{A_s} \quad (3)$$

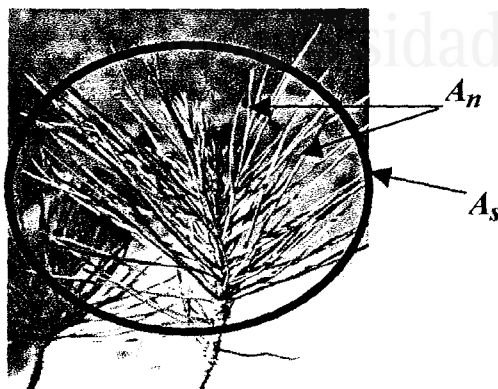


Fig. 1. Visualización esquemática de  $A_n$  y  $A_s$  en un ramillo de *Pinus pinea* L. El ovalo encierra la superficie imaginaria exterior del ramillo en una terminal individual.

Donde  $A_n$  es la mitad del área total de acículas en el ramillo y  $A_s$  es la mitad del área total del ramillo (que es el área de la superficie imaginaria de la esfera del ramillo) (Fig. 1).

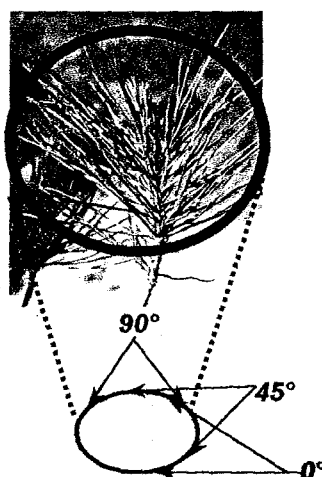


Fig. 2. Visualización esquemática de los ángulos de toma con la cámara en un ramillo de *Pinus pinea* L.  $0^\circ$  es la posición de la cámara en un plano y  $90^\circ$  vista desde arriba.

Fassnacht et al. citado por Chen (1996) inventó una forma de medir  $A_s$  basándose en la toma de videos en diferentes posiciones para localizar diferentes ángulos de proyección (Fig. 2). Por ejemplo un ángulo  $\theta$  es el ángulo entre la proyección y la normal a una superficie sobre el cual la coordenada principal del ramillo es restado. El área del agrupamiento imaginario es el área que envuelve el agrupamiento.

$A_s$  se puede calcular a través de (Lopez-Serrano, 1999):

$$A_s = 2 \frac{A_p(0^\circ) \times \cos(15^\circ) + A_p(45^\circ, 0^\circ) \times \cos(45^\circ) + A_p(90^\circ, 0^\circ) \times \cos(75^\circ)}{\cos(15^\circ) + \cos(45^\circ) + \cos(75^\circ)} \quad (4)$$

Donde  $A_p$  es el área proyectada en tres ángulos ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $90^\circ$ ) de incidencia de la cámara, manteniendo el ramillo horizontal, se puede calcular la mitad de la superficie total del ramillo.

### 1.1.2. Índice de agrupamiento para escalas superiores a las del ramillo ( $\Omega_E$ )

Este índice se mide en el conjunto forestal. Expresa el agrupamiento del follaje a niveles mayores que la del ramillo, agrupación de ramillos en ramas, de las ramas en las copas, y la agrupación de las copas en la masa forestal. Este valor oscila entre 0 y 1.

Cuando los elementos del follaje están agrupados a un nivel mucho mayor que la del ramillo, es más probable observar mayores huecos en la copa. Por eso, se utiliza la distribución del tamaño de los huecos para cuantificar  $\Omega_E$ . Este índice se expresa de la siguiente forma (Leblanc et al., 2002b; Chen y Chilar, 1995):

$$\Omega_E = \frac{[1 + F_m(0) - F_{mr}(0)] \ln[F_m(0)]}{\ln[F_{mr}(0)]} \quad (5)$$

Donde  $F_m(0)$  es la fracción de huecos medidos en la copa del árbol y  $F_{mr}(0)$  es la fracción de huecos para una copa con elementos posicionados al azar. El primer elemento se puede obtener a través de la medición de la transmitancia de la radiación difusa o directa a determinado ángulo cenit. Mientras que el segundo se obtiene midiendo con el TRAC (Tracing Radiation and Architecture of Canopies) o alternativamente utilizando MVI (Multiband Vegetation Image) el cual utiliza una relación diferente (Kucharik, et al., 1999).

### 1.1.3. Razón entre el área de la superficie leñosa y el área de la superficie total ( $\alpha$ )

Otro de los componentes que intercepta la radiación en la copa del árbol es la parte leñosa (Fig.3). El índice de área de la planta toma en cuenta también el índice de área de la parte leñosa.

$$LAI = \left( LAI_e \times \frac{\gamma_E}{\Omega_E} \right) - W = LAI_e - W(1 - \alpha) \quad (6)$$

Donde  $W$  es el índice de área de la parte leñosa (fuste, ramas y piñas),  $LAI_e$  es el índice de área foliar total, y  $\alpha = W/LAI_e$

Por lo que la relación para estimar el LAI quedaría como:

$$LAI = (1 - \alpha) LAI_e \left( \frac{\gamma_E}{\Omega_E} \right) \quad (7)$$

Esta expresión ha sido ampliamente aplicada por diferentes autores como Barclay y Trofymow, 2000; Nilson, 1999; Chen, 1996, entre otros.



Fig. 3. Parte leñosa o ramas en la copa de *Pinus pinea* L. (a) y *Pinus halepensis* Miller (b). Nótese la gran cantidad de ramas que algunos árboles que se puede apreciar especialmente durante una estación larga de sequía.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Descripción del sitio

El estudio fue conducido en una parcela del pinar de Guardamar del Segura (38°06.128' N 0°38.965' W), a 45 Km al SE de la ciudad de Alicante (Fig. 4) (SIG Oleícola español, 1997). Está poblada por *Pinus halepensis* Miller y *P. Pinea* L., y su densidad de plantación es 3x2 m entre individuos e hileras, respectivamente. El área basal del conjunto en la parcela de experimentación al momento de la investigación se ha estimado en  $17,39 \pm 0,075$  m<sup>2</sup>/ha, (n=56) y una densidad de plantación promedio es de 417 árboles/ha.

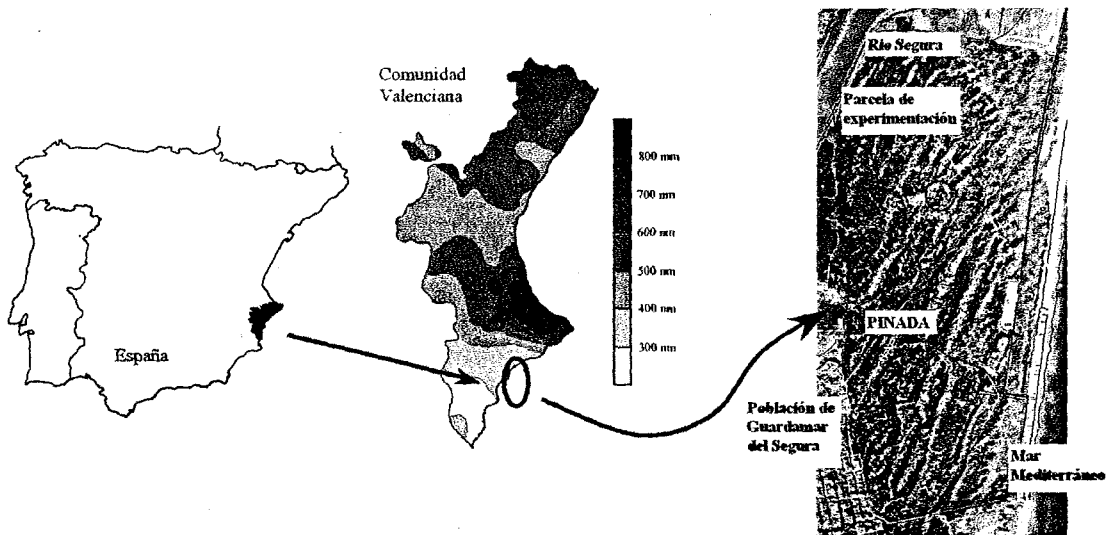


Fig. 4. Localización de la pinada y la parcela de experimentación en Guardamar del Segura, marcada en un círculo de color rojo.

### 2.2. Método semidestructivo de obtención del LAI

#### 2.2.1. Determinación de las características del árbol

**Área proyectada:** Partiendo de la definición del LAI en coníferas, para estimar el área de acículas (y por tanto del LAI), se seleccionaron 7 individuos de *P. halepensis* Miller y otros 7 de *P. pinea* L. para un muestreo destructivo. En ellos se determinaron las áreas de los polígonos proyectados de la copa del árbol en el suelo. El área de la proyección de la copa de los árboles fue medido a través del sumatorio de triángulos circunscritos dentro de ésta, según:

$$Ac = T1 + T2 + \dots + T8 \quad (8)$$

Donde *Ac* es el área proyectada de la copa del árbol en el suelo, *T* es el área del triángulo escaleno o isósceles, según se haya identificado luego en el proceso de cálculo, dibujado a partir del tronco del árbol.

**Altura:** La altura de la copa de los árboles fue medido directamente con un metro ayudándose con plomada en el momento de la instalación de los prismas, antes de la corta.

**Diámetros:** Los diámetros (normal y basal) se determinaron con un cinta métrica forestal, a 1,3 m y sobre el nivel del suelo, respectivamente.



### 2.2.2. Determinación del error de ubicación de los prismas

Debido a que en la cosecha de acículas y ramas (para la determinación del LAI directo), utilizamos paralelepípedos de 50 cm de lado, éstos no circunscriben toda el área proyectada (sino que están inscrito dentro de ésta), es razonable pensar que siempre se producirá un error de ubicación de éstos. Por estas razones, y para establecer donde se tenían que ubicar los prismas, se realizaron, en dos árboles, uno de cada especie, medidas en tres posiciones respecto al tronco. Los tres prismas ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ) de cada especie, se localizaron uno a continuación de otro, en línea empezando de la parte más exterior a la copa. Después de la recolección de los componentes de la copa de cada prisma, se ha visto que la situación que aporta valores más cercanos a la media de los tres es el central. Por lo tanto nos ha servido para estimar que el prisma más representativo es aquel situado en el centro de la copa, entre el tronco y la parte más exterior del área proyectada ( $P_2$ ).

### 2.2.3. Instalación de los prismas y cosecha

Posteriormente, se instalaron en la parte central de la copa del árbol y en todos los árboles a la misma orientación, un prisma imaginario de 0,5x0,5x1,5; 2,5; o 3 m (Fig. 5) a través de un dispositivo a base de un cuadro de madera, de cuyos extremos pendían hilos con plomadas en la parte inferior. Antes de la corta se ha procedido a medir el LAI de éstos con el LAI-2000 y el PAR con el ceptómetro.

La corta estratificada se realizó cada 50 cm, empezando por la parte de abajo del prisma. El producto de la cosecha se separó en ramas, ramillos y acículas encontradas dentro del prisma. Los estratos a partir del más alto se nombraron como  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$ ,  $E_5$ , y  $E_6$  como el más bajo. Según el tamaño de la copa se alcanzó de 4 a 6 estratos. La corta se realizó cuidadosamente, separando el producto de cada estrato en bolsas de plástico, los cuales fueron etiquetados y sellados, para luego ser trasladados al laboratorio donde se procedió al trabajo posterior de separación total y pesado.

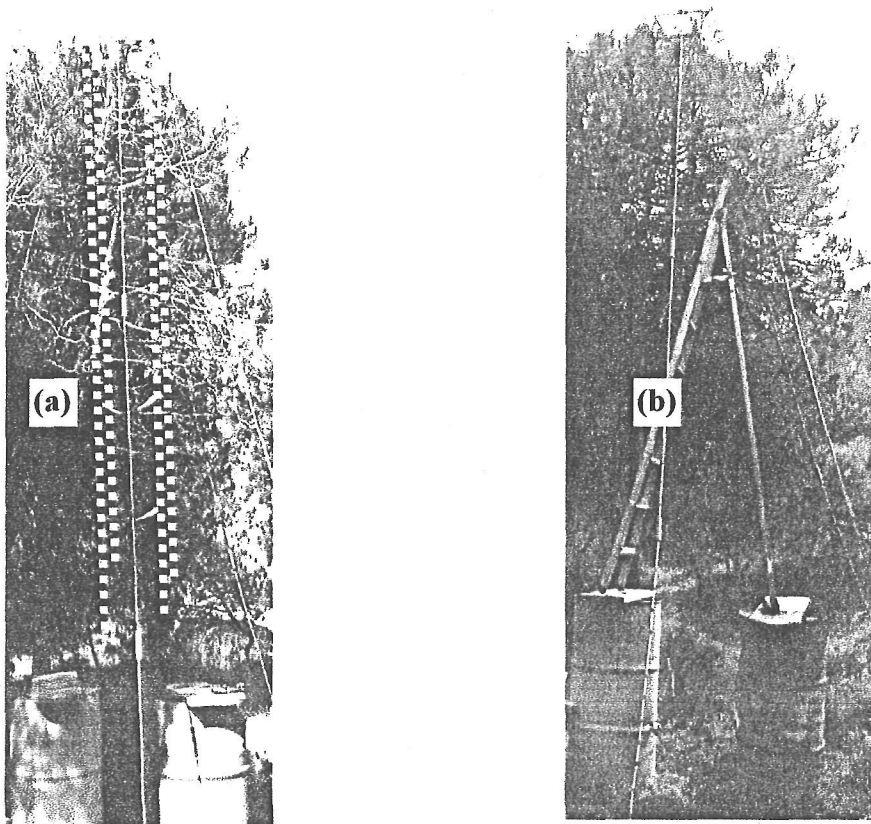


Fig. 5. Ubicación de los prismas imaginarios (a) y corta de los componentes pertenecientes a la copa del árbol encontrados dentro del prisma (b).

### 2.2.4. Trabajo de laboratorio

En el laboratorio, se ha realizado los siguientes trabajos:

- a) Obtención de la razón área de acícula a ramillo: se procedió a seleccionar los ramillos completos, medir los diámetros del ramillo entero y de la base de la

rama de éste, pesarlos y posteriormente separarlos en acículas y ramas. El peso fresco como el seco, se obtuvo con una balanza eléctrica de 0,10 g de precisión.

- b) Obtención del área de las acículas: la obtención del área de las acículas se la hizo de las muestras frescas antes de secarlos. Para esto se utilizó un escaner EPSON bajo una resolución continua de 96 . . . . , en tipo de 8 bits para evitar el efecto de las sombras en las figuras. Para procesarlas se utilizó el programa Imagen 1.3. (National Institutes of Health, 2003), el cual permite obtener el área a través de un proceso de calibración. Se escanearon 120 acículas en promedio para cada estrato.
- c) Medición de los diámetros de los ramillos: la medición de los diámetros de las bases las ramas o ramillos, y su respectivo peso fresco. Con estos dos datos se realizaron regresiones alométricas de diámetro de rama vs peso fresco, lo que nos permitió estimar el peso de las acículas en ramas sin acículas. Bajo este método se pudo estimar el total de biomasa foliar del árbol multiplicando la biomasa conocida en la rama de la muestra, infiriendo luego al número total de ramas de la copa. También se correlacionó los datos de área de las acículas con los diámetros, para comprobar la estimación del volumen de la copa del árbol, pero sin éxito.
- d) Peso seco de las muestras: concluida la obtención del área, y el peso fresco de las muestras, se procedió a secarlos en el horno a 65° hasta peso constante, para luego volverlos a pesar y obtener así el peso específico de las muestras.
- e) Estimación de la razón área parte leñosa al total del área, ( $\alpha$ ): el cual se estimo a través de la medición de los diámetros de las bases de las ramas y la longitud de éstas. más adelante en la sección 2.3.2. detallaremos como se hizo.

Finalmente para el cálculo del LAI por medición directa o destructiva (LAID) se obtuvo primeramente, el cociente entre la mitad del área proyectada de las acículas en el prisma y la superficie proyectada por el mismo. Para estimar el LAI total del individuo, se obtuvo el cociente entre el área proyectada de las acículas en la copa del árbol (estimada a través de la proyección de las acículas en el volumen del prisma respecto de la proyección del volumen total de la copa del árbol) y la superficie proyectada por la misma.

## 5. Referencias

- Barclay, H.J. and Trofymow, J.A. 2000. Relationship of readings from the LI-COR canopy analyser to total one-side leaf area index and stand structure in immature Douglas-fir. *Forest Ecology Management* 132 (2000) 121-126.
- Chen, J.M. and Cihlar, J. 1995. Quantifying the effect of canopy architecture on optical measurements of leaf area index using two gap size analysis methods. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 33 No.3 May, 1995.
- Chen, J.M. 1996. Optically-based methods for measuring seasonal variation of leaf area index in boreal conifer stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol 80, Issue 2-4, July 1996, pp 135-163.
- Chen, J.M., Rich, P.M., Gower, S.T., Norman, J.M., and Plummer, S. 1997. Leaf area index of boreal forests: theory, techniques, and measurements. *Journal of Geophysical Research* 102 (D24): 29, 429-29, 443.
- Fassnacht, K., Gower, S. T., Norman, J.M., and McMurtric, R.E. 1994. A comparison of optical and direct methods for estimating foliage surface area index in forest. *Agric. For. Meteorol.* Vol 71, 1-2 (183-207).
- Hebert, M. T., & Jack, S. 1998. Leaf area index and site water balance of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) across a precipitation gradient in East Texas. *Forest Ecology and Management* 105 (1998) 273-282.
- Kucharik, C.J., Norman, J.M., and Gower, S.T. 1998a. Measurements of branch area and adjusting leaf area index indirect measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 91, Issues 1-2, pp. 69-88.
- Kucharik, C.J., Norman, J.M., and Gower, S.T. 1999. Characterization of radiation regimes in non-random forest canopies: theory, measurements, and a simplified modelling approach. *Tree Physiology* 19, 695-706.
- Leblanc, S.G., Chen, J.M., and Kwong, M. 2002. Tracing Radiation and Architecture of Canopies - TRAC Manual V.2.1.3.
- Leblanc, S.G., Fernandes, R., and Chen, J.M. 2002b. Recent advancements in optical field leaf area index, foliage heterogeneity, and foliage angular distribution measurements.

- Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Society, 24-28 June 2002, Toronto.
- Lopez-Serrano, F.R., Landete-Castillejos, T., Martínez-Millan, J., Cerro-Barja, A. 2000. LAI estimation of natural pine forest using a non-standard sampling technique. *Agricultural and Forest Meteorology* 101 (2000) 95-111.
- Nacional Institutes of Health. 2003. Writing ImageJ Plugins-A Tutorial. Upper Austria, University of Applied Sciences, Dept. of Media Technology and Design, Hagenberg, Austria. 50 pag.
- Smolander, H., Stenberg, P. 1996. Response of LAI-2000 estimates to changes in plant area index in a Scots pine stand. *Tree Physiology* 16, 345-349.
- Stenberg, P., Nilson, T., Smolander, H., and Voipio, P. 2003. Gap fraction based estimation of LAI in Scots pine stands subjected to experimental removal of branches and stems. *Can. J. Remote Sensing*, Vol. 29 No. 3, pp. 363-370, 2003.
- Walter, J.M.N., Fournier, R.A., Soudani, K., Meyer, E. 2003. Integrating clumping effects in forest canopy structure: an assessment through hemispherical photographs. *Can. J. Remote Sensing*. Vol. 29 No.3, pp 388-410, 2003.

**Tabla 2.** Promedio del índice de área foliar (LAI) corregido obtenido con el LAI-2000, diámetro altura pecho (DBH) promedio de las especies encontradas en las mediciones de primavera y verano del 2002 (02-04-2002 y 29-07-2002 respectivamente) y primavera y verano del 2003 (13-04-2003 y 01-08-2003) en el transecto imaginario de la pinada del Guardamar del Segura.

Especie	LAI (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	DBH (cm)	DBH (m)	log LAI	log DBH
<i>Pinus halepensis</i>	3,30	3,44	0,03	0,52	0,54
<i>Pinus halepensis</i>	5,74	5,78	0,06	0,76	0,76
<i>Pinus halepensis</i>	2,79	2,93	0,03	0,45	0,47
<i>P. pinea</i>	0,61	0,30	0,00	-0,22	-0,52
<i>P. pinea</i>	6,90	7,05	0,07	0,84	0,85
<i>P. pinea</i>	4,47	4,66	0,05	0,65	0,67
<i>Pinus halepensis</i>	3,30	3,44	0,03	0,52	0,54
<i>Pinus halepensis</i>	5,74	5,78	0,06	0,76	0,76
<i>Pinus halepensis</i>	2,79	2,91	0,03	0,45	0,46
<i>P. pinea</i>	0,61	0,56	0,01	-0,22	-0,25
<i>P. pinea</i>	6,90	6,26	0,06	0,84	0,80
<i>P. pinea</i>	4,47	4,14	0,04	0,65	0,62
<i>P. pinea</i>	4,05	4,15	0,04	0,61	0,62
<i>P. pinea</i>	4,33	4,07	0,04	0,64	0,61
<i>P. pinea</i>	1,39	1,21	0,01	0,14	0,08
<i>P. pinea</i>	2,25	1,94	0,02	0,35	0,29
<i>Pinus halepensis</i>	3,67	3,35	0,03	0,56	0,53
<i>Pinus halepensis</i>	2,36	3,20	0,03	0,37	0,50
<i>Pinus halepensis</i>	1,66	1,69	0,02	0,22	0,23
<i>Pinus halepensis</i>	6,62	6,78	0,07	0,82	0,83

**Tabla 3.** Promedio del índice de área foliar (LAI) corregido obtenido con el LAI-2000, precipitación (pp), índice de área de la planta (PAI), radiación fotosintéticamente activa (PAR) y índice de área foliar estimado con el ceptómetro (LAIcept) de las especies encontradas en las mediciones de primavera y verano del 2002 y 2003 en el transecto imaginario de la pinada del Guardamar del Segura.

Estación	Fecha	LAI	pp	PAI	PAR	LAIcept
Otoño	19/11/2001	1,74	7,00		600	1,79
Invierno	07/01/2002	2,31	7,00		669	2,38
Primavera	02/04/2002	3,67	50,00	3,32	888	3,79
Verano	01/07/2002	1,84	11,00	2,82	710	1,90
Otoño	08/10/2002	1,66	1,00		625	1,71
Invierno	07/01/2003	1,98	6,90		620	2,05
Primaver	16/04/2003	2,65	29,50	3,08	762	2,74
Verano	07/08/2003	2,00	0,00	2,80	692	2,07

Tabla 4. Recolección de acículas caídas en la parcela de toma de datos de Guardamar del Segura ( $\text{gr/m}^2$ ). La clase 1 representa a árboles de clase diamétrica menor (árbol pequeño) y clase 3, árboles de clase diamétrica mayor (árboles grandes).

DBH (cm)	Sp	Clase	Nombre del árbol	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Suma	
14.2	PP	2	46	6.6	19.1	0.0	0.0	7.6	73.7	25.7	0.0	18.8	20.4	0.0	15.8	187.6	
10	PP	1	N48	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	13.3
22	PP	3	42	31.7	52.4	0.0	29.2	41.3	169.0	105.7	6.3	119.0	96.0	0.0	66.8	717.6	
19.1	PP	2	35	8.2	14.8	0.0	0.0	0.0	49.2	10.3	0.0	24.8	0.0	0.0	3.3	110.5	
27.5	PP	3	23(1)	8.9	8.9	0.0	11.0	22.0	65.5	45.7	8.6	43.7	26.8	0.0	11.9	253.0	
9.4	PP	1	C	8.2	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.9	0.0	0.0	11.4	49.8	
9.3	PP	1	28	3.7	20.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	0.0	0.0	17.6	47.8	
10.5	PP	1	26	4.4	8.9	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	3.7	25.9	
33.5	PH	3	45	74.1	28.9	0.0	17.4	51.9	425.9	134.3	55.6	127.0	119.4	0.0	65.7	1100.2	
15.3	PH	2	P	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	20.7	17.5	0.0	20.9	0.0	4.3	0.4	68.4	
13.8	PH	2	QL	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	37.5	27.8	0.0	97.5	0.0	11.0	100.0	296.3	
37	PH	3	43	50.7	27.5	0.0	16.5	43.8	318.8	91.7	65.2	108.7	116.8	0.0	79.7	919.6	
14.1	PH	2	34	14.8	1.9	0.0	0.0	0.0	20.4	21.7	0.0	3.7	46.3	0.0	0.0	108.7	
12.5	PH	1	L1	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	0.0	0.0	15.1	
10	PH	1	X	16.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.8	0.0	34.9	
8.3	PH	1	Y	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.5	0.0	53.2	0.0	83.7	
<b>Promedio General</b>				17.0	12.9	0.2	4.6	10.4	73.8	30.0	8.5	38.6	26.6	5.5	23.9	21.0	

Prom. <i>P. pinea</i> L.	9.0	18.6	0.4	5.0	8.9	44.7	23.4	1.9	29.0	17.9	0.0	17.0
STDV. <i>P. pinea</i> L.	9.7	14.5	1.0	10.5	15.2	59.5	37.1	3.5	38.9	33.4	0.0	20.9
Prom. <i>P. halepensis</i> Miller	25.1	7.3	0.0	4.2	12.0	102.9	36.6	15.1	48.2	35.3	10.9	30.7
STDV. <i>P. halepensis</i> Miller	24.6	12.9	0.0	7.9	22.2	169.3	49.7	28.1	53.1	53.6	18.4	43.3

	Otoño	Primavera	Verano	Invierno
Prom. <i>P. pinea</i> L.	14.8	4.8	23.3	15.6
STDV. <i>P. pinea</i> L.	5.2	4.3	21.4	14.6
Prom. <i>P. halepensis</i> Miller	21.0	5.4	51.5	31.5
STDV. <i>P. halepensis</i> Miller	12.2	6.1	45.8	18.9

## Anexo 2.

Tabla 1. Base de datos de las características estructurales y de arquitectura de la copa en árboles de *Pinus pinea* (columna Especie 1) y *P. halepensis* (Especie 2). La especie 0 es un especie arbórea (eucalipto o ciprés).

n	X	Y	Código	Especie	Diámetro base del tronco	Diámetro a 1,3	Diam. Copa A	Diam. Copa B	Altura total	Altura tronco
1	706485	4219991	6980	1	20,1	14,8	1,7	1,7	4,5	2,8
2	706484	4219991	6961	2	24,2	22	3,4	6	5,6	2,3
3	706484	4219984	1800	1	14,05	12,2	3	1,8	1,5	1,5
4	706478	4219986	1781	1	21,9	18,3	3,2	3	6,29	1,8
5	706477	4219982	1799	1	32,45	16,89	4,05	4,05	5,64	2,8
6	706475	4219977	6960	1	30,6	18,36	3,8	4,05	4,3	1,05
7	706486	4219976	6941	1	21,05	18,09	4,05	4,05	6,77	1,8
8	706482	4219973	6962	1	13,15	3,3	3	1,8	1,2	1,2
9	706484	4219968	1798	1	34,05	10,34	4,05	4,05	5,69	1,05
10	706477	4219968	1782	1	18,07	14,09	3	3	4	1,05
11	706473	4219961	1783	1	26	14,09	3,6	3	3	1,05
13	706469	4219957	6979	1	19,01	18,15	1,7	3	6	2
14	706466	4219955	6943	2	27,1	15,13	3	2	3	1,05
15	706472	4219952	6959	1	15,02	12,04	2	3	4	1,05
17	706466	4219948	6957	1	21,07	18,06	3	3	5,48	1,05
18	706462	4219947	6963	2	30,07	15,15	3	3	4	1
21	706448	4219947	6944	1	14,2	11,8	1,5	1,8	3	1,2
22	706445	4219946	6945	1	16,6	14,4	3	2,8	3	1,2
23	706443	4219939	1784	1	17	11,2	2,8	3	3	1,5
25	706435	4219944	6964	1	15,1	10,5	3	3	3	2
26	706433	4219942	6965	1	16	14,34	3,5	3	4	1,5
28	706407	4219928	6967	2	26	17	5	4,5	4	2
29	706404	4219920	6968	2	17	6	4,5	3	3	1,8
31	706409	4219909	6970	1	19,7	15,9	4,5	4,5	4,5	2
32	706409	4219895	3236	2	36,8	29,1	4,5	6	5	2,25
33	706402	4219846	6971	1	20,3	15,9	5	6	5,5	3
35	706393	4219889	6973	1	23,4	20,4	4	5	5,5	2,3
36	706392	4219888	6974	2	25,5	20,7	5	4	5	2,15
37	706386	4219884	6975	1	31,1	28,9	6	9	7,2	3
39	706368	4219917	6977	1	22,7	21	6	5	5,33	2
40	706372	4219918	6945	2	18,3	14,9	4,5	4,3	4	1,9
41	706372	4219921	6954	2	19,5	15,8	4,5	4,5	4	2
43	706384	4219945	6946	1	24,4	21,9	4,5	4	4,88	1,8
44	706388	4219946	6952	2	14,3	9,5	3,5	2,8	3	1,6
45	706394	4219944	6951	2	13,8	10,4	3	2,5	3	1,1
46	<b>706399</b>	<b>4219948</b>	<b>6950</b>	<b>2</b>	<b>16,3</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1,7</b>
47	706399	4219953	1797	2	12,6	9,4	2,8	3	2,1	0,9
48	706394	4219955	1796	2	20,3	16	4,3	3,2	3	1
49	706400	4219958	1755	1	23,4	12,3	3,1	4,2	2,8	1
50	706400	4219985	1794	2	27,4	15,7	4,3	4,2	3,5	0,7
51	706418	4219967	1786	1	23,1	13,1	4,9	3,5	3	1,6
52	706419	4219967	1793	2	15,5	11,4	2,8	3	2,8	1,5
53	706427	4219974	1792	2	24,9	13	3	4	3,3	1
54	706434	4219977	1787	2	13	10,5	2	2,5	3	1,5
55	706450	4219995	1791	1	25,6	18,38	4,2	4	5,75	2,1
56	706451	4220000	1788	1	26	20,3	3,1	3	6,56	1,8
57	706454	4220002	1790	1	26,3	20,3	3,75	4,5	4,3	1,75
58	706454	4220009	1789	1	28,2	21	4,5	4,5	5,5	2
59	706458	4220019	5911	1	27,05	19,52	6,2	4,2	4,5	2,1
60	706459	4220021	5910	1	27,3	20,88	4,5	3,5	4,91	2,25
61	706463	4220039	5912	1	15,4	10,1	2	3	3	1,1
62	706466	4220049	5906	2	21,5	19	5	4,9	6,34	2,1
63	706450	4220050	5909	2	21,5	15,4	5	4	5,5	1,9
64	706447	4220050	5907	1	24,05	20,3	4	2,5	5,5	2,1
65	706446	4220047	5901	2	16	11,85	2	3	5,8	3
66	706442	4220045	5908	1	21,05	18,4	6	4,5	6	3,8
67	706442	4220044	5905	1	19,95	14,92	4,5	3	5	3
68	706435	4220029	5913	1	18,3	14,1	3,5	3	3,2	1,5
69	706429	4220020	5914	1	16,8	13,7	3,2	3	2,8	0,8
70	706374	4219978	5915	1	12,1	9,1	3	3	1,75	0,8
71	706374	4219972	5916	1	14	11,2	2,8	3,1	2	1
72	706373	4219968	5904	1	9,1	7,3	1	2,8	1,5	0,5
73	706362	4219952	5917	1	15,3	5	2,5	3	2	0,4
74	706357	4219952	5920	1	11	5,5	2,2	2	2	0,7
75	706355	4219950	5919	1	12,4	8,7	2	2,3	2,8	0,9
76	706354	4219946	5918	1	14,6	9,2	1	1	2,6	1
77	706351	4219946	5902	1	22,02	18,2	3	4	4	1,6

78	706342	4219937	5903	1	18,95	17,7	4,5	4	4,5	1,1
79	706334	4219931	2210	1	20,9	16,75	4,5	3,6	5	1,65
80	706337	4219932	2211	1	22,5	18,45	2,2	4,5	6	1,8
81	706336	4219931	2212	1	21	16,5	3,8	4,3	5	1,8
82	706332	4219930	2213	1	37	31,5	4,5	6	7	1,8
83	706332	4219930	2231	1	23,5	16,75	4,5	5	4,5	1,2
84	706327	4219925	2229	1	19,5	16,15	4	4,5	4	1,6
85	706330	4219917	2232	1	19	16,15	3,7	3,2	3,7	1,5
86	706324	4219920	2233	1	17,1	14,9	3,3	3,7	3,2	1,7
87	706319	4219922	2230	1	15,7	8,9	3	2	3,5	1,6
88	706316	4219923	2234	1	23,2	18,55	4	3	5,53	1,4
89	706311	4219930	2228	1	15,4	10,7	3	3	2,8	1,3
90	706310	4219932	2235	1	13	5,25	3	2,8	2,2	0,9
91	706307	4219933	2227	1	18,8	12,6	3,7	3,2	3	1,4
92	706305	4219935	2226	1	18,5	14,8	4,6	4	2,8	1,4
93	706305	4219938	2236	1	21	10,3	3	3,2	2,8	1,3
94	706301	4219949	2225	1	12	6,5	1,5	2	1,7	0,5
95	706305	4219955	2240	2	25,5	11,05	2,8	3	3	1,4
96	706306	4219955	2221	1	22,35	15,75	2	4	5	2
97	706309	4219957	2222	1	11	5,9	2,9	3	3,2	1,2
98	706313	4219954	2223	2	23,7	12,3	3,2	4,5	4	1,5
99	706326	4219950	2224	2	22,3	13,9	3,75	2,8	3	1,3
100	706326	4219972	2239	2	25,7	11,05	3	4	3,6	1,2
101	<b>706329</b>	<b>4219974</b>	<b>2238</b>	<b>2</b>	<b>20,6</b>	<b>14,1</b>	<b>3</b>	<b>4,5</b>	<b>4,6</b>	<b>1,5</b>
102	706334	4219982	2237	2	25,05	17	4,8	4,5	5	1,5
103	706338	4219985	2241	2	16,15	10,25	3,2	3	4,3	1,2
104	706344	4219984	2242	1	15,4	10,43	2	2,5	4,5	1,5
105	706342	4219985	2260	1	20	15,65	3	3	6	1,75
106	706344	4219987	2243	1	15,95	9	2	1,9	5	1,9
107	706344	4219989	2244	2	24,85	16,7	3,2	3	5,5	1,8
108	706347	4219992	2245	2	15,9	10,15	2,8	3,6	3,6	1,6
109	706351	4219995	2246	2	20,7	12	3	3,2	4	1,4
110	706352	4219997	2247	2	18,6	11,35	2,8	3	3,2	1,4
111	706356	4219993	2259	2	19,5	14,2	3	3	3,5	1
112	706355	4220004	2258	2	20	15,2	3	3,2	4,5	1,8
113	706354	4220009	2257	2	29,2	18	4,5	3	5	1,8
114	706353	4220013	2256	2	30,4	20,88	1,8	1,8	4,82	2
115	706375	4220025	2255	1	9,1	7	2	1	1,5	0,7
116	706377	4220027	2248	1	14	11,7	2	1,5	2	1
117	706383	4220030	2254	1	15	12,7	2	1	1,5	0,5
118	706386	4220042	2253	1	20,9	18,5	3	4	4,8	2
119	706385	4220045	2249	2	29,3	15,51	4	3	2,68	2,25
120	706400	4220050	2250	1	15	12	3	3,5	2,8	1,5
121	706416	4220085	2252	1	17,9	16,6	2,5	3	3	0,5
122	706417	4220089	2251	1	25	18,5	4,5	4	5	2
123	706400	4220100	2481	2	23	12,2	3,5	3	3	1,5
124	706406	4220093	2482	1	9,9	8,4	1	1,5	2	0,7
125	706398	4220089	2483	2	23,9	13,5	1	3	3,3	1,5
126	706400	4220086	2484	2	26,2	18	3	3	3,5	2,63
127	706392	4220077	2485	1	17,2	11,5	2	2	4,5	2
128	706390	4220077	2486	1	24,9	19,24	1	2	4,7	2
129	706380	4220072	2487	2	21,7	16,6	4	3,8	4	1,5
130	706375	4220075	2488	1	19,7	14,7	3	2,5	3,5	1,5
131	706368	4220069	2500	1	21,7	18,7	3,4	4,5	6,45	1,5
132	706368	4220066	2499	1	6,7	5	1	1	1,5	0,7
133	706364	4220065	2496	1	17,1	12,9	3,5	3	2,8	1,5
134	706362	4220061	2497	1	20,4	14,6	2	1	4	1,5
135	706361	4220061	2498	1	23,8	17,7	3,5	4	4,5	1,5
136	706358	4220058	2491	1	9,6	7,5	1	2	1,5	0,9
137	706350	4220050	2493	2	17	12	2	3	2	0,8
138	706351	4220044	2474	2	29	21	4	4,5	5,81	1,5
139	706345	4220039	2468	2	23,5	17,59	3,5	4,9	3,39	1
140	706344	4220035	2469	1	14,4	12	2,5	2	3,5	1
141	706342	4220032	2479	1	7,2	5,5	1,3	1	1,7	0,5
142	706341	4220031	2465	1	10,4	8,5	1,5	1	2	0,5
143	706341	4220034	2476	2	25,5	14,34	4,5	2	2	0,8
144	706355	4220033	2470	2	22	16,14	3	3	2,8	1,3
145	706327	4220030	2452	2	13	10,5	2	1,8	2	0,8
146	706326	4220031	2466	2	11,5	10,4	3	3,5	3	1,3
147	706325	4220025	2472	2	15,3	14	3	3	3	1,2
148	706322	4220027	2471	2	8,8	7	2	1	2	0,5
149	706317	4220025	2473	2	13	9,5	2	1	2	0,5
150	706316	4220024	2489	2	11,6	8,5	1,2	1,5	2	0,7
151	706315	4220022	2467	2	17,5	13,8	3	4,5	3,5	1,5
152	706311	4220018	2460	2	12,3	9,8	3	2,5	3	1,2
153	706313	4220014	2462	2	19,2	14,3	3	3,5	3,2	1
154	706314	4220015	2458	2	13,2	10,2	3	2	2	0,8

155	706310	4220012	2475	2	15,2	9,9	2,3	2	3,2	1,1
156	<b>706307</b>	<b>4220009</b>	<b>2456</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>8,7</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0,5</b>
157	706306	4220002	2442	2	12,1	8,5	3	2	1,6	0,5
158	706305	4220003	2490	2	11,5	7	2	1,8	1,5	0,4
159	706304	4220001	2447	2	19	9,11	2	1,3	1,67	0,4
160	706291	4219993	2495	2	24,4	17,4	3	4	3,8	1,5
161	706290	4219991	2495,1	0	26,2	18,53	4,5	4,5	6,74	1,2
162	706288	4219982	2477	1	12,5	8,5	2	4	3	1,1
163	706289	4219980	2443	1	11,2	8,7	1	1	2,7	1
164	706280	4219977	2443,1	0	7,8	5,4	2	3	3,2	1,7
165	706277	4219972	2443,2	0	16,6	11	3	3,5	4,5	1,9
166	706277	4219969	2443,3	0	37	35,2	5	7	8	1,5
167	706275	4219975	2443,4	0	29,9	18,4	5	4	7,58	1,6
168	706267	4219973	2444	1	16,5	12	3	2	3,2	1,7
169	706264	4219979	2445	2	29,3	21,5	4,5	4	6,5	2
170	706265	4219979	2457	1	26,9	21,9	4	4	7	2,5
171	706205	4220000	2480	1	7,5	3,25	1	1	1	0,1
172	706259	4219996	2453	2	30	21	4,5	3	5,44	2
173	706258	4219999	2451	2	47,3	55	1,3	2	9,5	6,5
174	706262	4220008	2451,1	0	21	8	4	3	3,5	0,8
175	706268	4220010	2451,2	0	10	3,63	2	1	2	0,22
176	706272	4220014	2451,3	0	7	3,74	2	2	2,5	0,61
177	706288	4220036	2451,4	0	17	12	2	3	3	0,8
178	706296	4220043	2451,5	0	32	24,2	4,3	5	6,8	1,5
179	706298	4220044	2451,6	0	32	15,4	4	3,5	6	2
180	706311	4220055	2464	2	15	10,7	1,5	2	2	1,7
181	706313	4220059	2492	2	27,6	17,2	4,5	3	3,8	1
182	706317	4220059	2459	2	18,7	11,7	3	1	3,5	2
183	706319	4220066	2461	2	25,5	14,8	1	2	3,5	1,8
184	706324	4220069	2449	2	29,5	22,1	3,5	4	5,68	1,7
185	706320	4220075	2454	2	18	11,2	2,5	3	3	1,5
186	706325	4220075	2494	1	13,4	9,8	3	2,5	5	1,8
187	706326	4220077	2478	2	30,5	14,8	3	4,5	5	1,9
188	706325	4220080	2463	1	13,6	8,2	2	2	4,5	2,3
189	706325	4220078	2446	1	18,2	14,4	3	2	5	2,5
190	706327	4220078	2441	1	12,2	7,5	3	2	4,5	2
191	706327	4220079	2406	1	15,6	8,8	1,7	2	4	2
192	706329	4220080	2455	2	9	5,5	1,5	1,5	2,8	0,8
193	706333	4220083	2448	2	27	13,4	3	3,5	2,8	0,5
194	706337	4220091	2450	2	19,2	15,2	3	3,5	4	0,5
195	706338	4220094	2416	1	14	9,7	2,8	2,5	4	1,5
196	706341	4220095	2420	1	26,3	21,9	5	6	5,5	2
197	706342	4220098	2419	2	25	17,24	4	5	4,5	2
198	706345	4220098	2401	1	15,3	10,2	2	3	3,5	2
199	706344	4220099	2418	2	22	16,5	4	3,5	4	1,5
200	706346	4220097	2402	2	16,2	12,8	2	3	4	1,7
201	706351	4220095	2415	2	24,2	18,73	3	6	4	2
202	706359	4220107	2407	2	29	19,38	6	5	5	2
203	706362	4220107	2411	1	9,2	5	1	1	1,7	0,8
204	706362	4220110	2403	1	12,5	8	2	2,1	3	1,7
205	706362	4220112	2405	1	18,4	14,2	3	4,5	4	1,7
206	706371	4220123	2404	1	10,5	9,8	3	2	2	1
207	<b>706369</b>	<b>4220139</b>	<b>2384</b>	<b>1</b>	<b>14</b>	<b>11,2</b>	<b>2</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>1,1</b>
208	706367	4220149	2328	1	17,9	12,8	3	3	3	1,5
209	706364	4220142	2389	2	45,3	33,2	6	6	5,4	2,5
210	706363	4220145	2362	2	19,4	14,8	3	3	5,5	2
211	706359	4220145	2414	2	21	15,7	3	4	5,3	2
212	706359	4220146	2413	2	18	10,9	3	2,5	4	2
213	706356	4220146	2376	2	31	19,79	4	5	4,5	2
214	706354	4220144	2344	2	28,7	20,5	4	5	5	2
215	706349	4220147	2409	1	15,5	12,8	3	4	4	1,5
216	706345	4220151	2364	1	17,6	14,42	3	4	4	1,8
217	706345	4220148	2369	1	12	7,2	2	3	3	1,5
218	706341	4220149	2377	2	33,85	24,4	5	7	6	3
219	706345	4220149	2356	2	15,2	10	4	3	4	2
220	706343	4220148	2361	2	27,4	21,6	5	5	5,5	2
221	706341	4220150	2417	1	16,15	12	2	4	4,5	1,8
222	706337	4220142	2359	1	17	12,15	4	4	4,5	2,2
223	706334	4220135	2412	1	17	13,5	3	3	3,5	1,8
224	706333	4220134	2374	1	19,9	14,4	3	4,5	5	2,4
225	706330	4220130	2395	2	40,8	31,8	8	7	6,5	2,5
226	706330	4220132	2347	2	17,5	14,8	3	4	5	2
227	706329	4220132	2343	2	21	18,5	3	3	4,5	2,3
228	706322	4220126	2387	2	32,9	26,7	6	5	5,5	2,5
229	706317	4220121	2358	1	10,5	7	1,5	2	2,8	1
230	706316	4220119	2408	2	34	26	6	5	5,5	2
231	706314	4220116	2367	1	12,2	8,7	2	1	2	0,8



232	706308	4220115	2346	1	19,5	15,5	5	4	5	2
233	706304	4220114	2353	2	28,7	24,6	4	7	6	2
234	706304	4220111	2363	2	26,7	19	6	3	5,95	1,8
235	706301	4220109	2365	1	16,5	9,5	3	2	3	1,5
236	706303	4220108	2390	1	19,2	14,5	6	3	5	2
237	706302	4220107	2394	1	20,4	16,3	5	3	6	2,8
238	706297	4220104	2381	1	24,3	19,4	5	4	6,81	2,2
239	706297	4220103	2365	1	18,4	15,5	2	4	4	1,5
240	706302	4220098	2426	1	34,5	28,9	6	7,5	6	2,5
241	706289	4220084	2385	2	30,5	22,2	6	7	6	2
242	706287	4220081	2355	2	24,5	14,9	3	4	5	2,2
243	706293	4220081	2341	2	30,2	22,9	4	6	7	2,5
244	706282	4220074	2360	1	24,5	17,45	3	3	5,5	3
245	706282	4220073	2325	1	11,5	9,77	1	1	4,5	2,5
246	706280	4220074	2434	1	28,25	23,4	6	8	8,1	3
247	706281	4220071	2387	2	23,6	18,89	5	6	7,5	3
248	706279	4220071	2400	1	17,9	12,9	4	3	7,5	3
249	706278	4220067	2321	2	25	17	4	2	7	3
250	706276	4220069	2348	2	28,9	21,2	5	3	6,5	2,6
251	706276	4220066	2433	1	17,9	14,2	4	3	4,5	2
252	706270	4220069	2337	1	12,9	8,4	2	1,5	4	1,5
253	706276	4220054	2345	2	21,3	12,3	1,5	1,5	4,5	2
254	706275	4220054	2438	2	31,5	20,06	4	7	5	2,5
255	706273	4220055	2336	2	17,5	10,7	2,5	2	4,5	2
256	706267	4220053	2386	1	25,8	21	3	7	5,5	2,8
257	706270	4220057	2324	1	16	12,5	2	3	5	2
258	706268	4220056	2372	1	21,7	18,2	4,5	4	6	2,8
259	706248	4220041	2354	1	7,2	4,5	3	2	2,5	1,7
260	706241	4220039	2392	2	12,5	9	1	1	2	0,8
261	706241	4220038	2339	1	7,2	5	3,1	3,4	1,5	1
262	<b>706241</b>	<b>4220037</b>	<b>2357</b>	<b>2</b>	<b>15,2</b>	<b>11,1</b>	<b>4</b>	<b>4,5</b>	<b>2,5</b>	<b>2</b>
263	706237	4220038	2427	2	20,5	14,4	4	3	2,8	2,5
264	706239	4220036	2333	2	26	16,5	4	3	3	1
265	706239	4220036	2382	2	26,7	15,48	3	3	2,8	1,3
266	706236	4220032	2323	2	26	20,5	3	3	6	1,9
267	706212	4220032	2373	1	8,3	8	3	1,5	1,5	0,5
268	706211	4220034	2429	1	15,4	10,5	3	2	2,5	0,7
269	706211	4220037	2440	1	7,2	6	2	2	1,5	0,5
270	706212	4220049	2327	2	24,6	15,83	3	2,5	2,8	1,8
271	706211	4220045	2439	2	21,5	18,2	3,2	3	3,5	1,8
272	706201	4220059	2322	2	35,2	15,33	5,5	2	5,83	1,5
273	706230	4220074	2371	1	36,2	30,9	6,5	2	5,5	1,9
274	706224	4220068	2424	1	18,2	15,6	4	2	3	1,5
275	706248	4220092	2422	2	28,4	21	3	3	5,6	1,7
276	706245	4220091	2332	1	20	16,9	3	3	3,5	1,8
277	706245	4220092	2332,1	2	19,2	13,7	1	2	3,5	2
278	706249	4220097	2332,2	1	12	8,4	1	2	3	2
279	706248	4220096	2428	2	25,2	17,9	2	3	5	1,6
280	706252	4220097	2428,1	2	22,9	12,4	1,3	2	5	2
281	706250	4220098	2428,2	1	18,6	14,2	2	3	4,5	1,8
282	706254	4220098	2423	2	14,7	12,4	3	2,6	4	1,6
283	706257	4220100	2423,1	2	13,4	11,2	3	2	3	1,6
284	706261	4220098	2423,2	2	20,4	14,9	3	2	3,5	1,6
285	706261	4220100	2351	2	21,4	13,6	4	2	3	1,65
286	706261	4220101	2351,1	1	14,7	12,1	3	3	3,5	1,7
287	706262	4220102	2351,2	2	20,6	11,1	3	3	3,5	2
288	706265	4220106	2342	2	20,6	15,7	4	4	4	2
289	706266	4220107	2342,1	2	15,4	10,5	3	2	3,8	2
290	706266	4220110	2342,2	1	18	13,7	3	4	2,3	2,5
291	706265	4220110	2342,3	1	13	8,2	2	1	3	2
292	706264	4220111	2342,4	2	13	7,7	2	2,5	3	2
293	706265	4220114	2391	2	20	13,1	4	3	3	1,5
294	706273	4220118	2391,1	2	17,2	14,2	4	3	3,5	0,7
295	706272	4220120	2391,2	2	18,2	11,3	3	3	3	1,5
296	706269	4220122	2340	2	22,4	16,4	3	3	3	1,5
297	706271	4220127	2340,1	1	10	6	2	2	1,7	0,5
298	706274	4220130	2340,2	1	22	17,6	3	3	4,5	2
299	706275	4220129	2340,3	1	11,5	8,7	2	3	3	1,8
300	706277	4220129	2340,4	1	9,4	4,6	2	1	2,5	1,7
301	706277	4220130	2432	1	12,4	8,5	3	2	3	1,5
302	706282	4220134	2330	2	25	13,5	2	3	2,5	2
303	706283	4220135	2330,1	2	16,5	12	2	2	2	1,8
304	706283	4220136	2330,2	2	10	8	2	1	2	1,8
305	706283	4220133	2330,3	1	9,1	4,7	1,2	1	3	2
306	706287	4220134	2350	2	20,2	14,5	3	4	3,2	1,5
307	706285	4220134	2350,1	1	14,2	9,4	2	2	3	1,4
308	706286	4220133	2350,2	2	14,2	9,4	2	2	3,5	2

309	706288	4220135	2394	2	18,9	11,9	2	3	3,5	2
310	706287	4220134	2394,1	2	16,6	9,6	2	2	3,5	1,8
311	706289	4220138	2435	1	8,3	4,5	1,5	1	1	0,4
312	706290	4220142	2425	1	5,5	4,4	1	1	0,8	0,2
313	706305	4220163	2431	1	28	21,2	4,5	4,5	4,5	2,5
314	706305	4220163	2431,1	1	14,2	9,7	1,8	2	1,8	0,4
315	706309	4220165	2430	1	11,2	9,2	2,2	1,5	2,2	0,6
316	706309	4220167	2396	1	18,6	12,9	2,5	3	3,3	1,6
317	706308	4220166	2378	1	12,5	9,2	2	2	3,5	2
318	<b>706312</b>	<b>4220168</b>	<b>2329</b>	<b>1</b>	<b>24,4</b>	<b>21,7</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4,5</b>	<b>2,1</b>
319	706311	4220167	2398	1	13,6	9,4	2	3	3	1,6
320	706313	4220167	2366	1	10,2	7,7	2	1	2	0,7
321	706318	4220173	2370	1	12,5	10,2	2	1	2,4	1,5
322	706320	4220171	2379	1	12,9	12,3	3	1,5	3	1,5
323	706318	4220192	2380	2	12	11	3	1	1,5	2
324	706315	4220192	2338	1	7,9	7,2	1	1,5	2,3	1,8
325	706314	4220194	2331	1	10,5	8,5	2	1,8	3,5	2,5
326	706315	4220192	2421	1	8,9	7,5	2	2	2,5	2
327	706315	4220193	2421,1	1	9	8,5	2	1,8	2	1,6
328	706313	4220195	2352	1	16,1	11,8	2	3	3,5	1,8
329	706312	4220196	2334	2	8	7	2	1	2	1,5
330	706314	4220195	2334,1	1	4,8	3,8	1	1	1	0,8
331	706304	4220201	2388	2	20,2	13,91	2	2	2,08	2
332	706298	4220195	2265	1	19	14,6	2,2	3	3	1,6
333	706295	4220199	3473	1	11	8,5	2	2	2,3	1,5
334	706290	4220194	3493	1	35,1	19,93	6	5	5,6	1,7
335	706292	4220188	3204	1	9,5	5,5	1	0,5	1,4	1
336	706285	4220182	4048	2	30,5	20,54	4	4,5	5,5	1,9
337	706277	4220175	3494	1	6	4,2	1,5	1	1,5	1
338	706267	4220168	1	2	30,3	20,7	5	4	5,81	1,8
339	706262	4220165	2	2	15,3	11	1	2	3,5	1,9
340	706260	4220159	3	2	25,8	18,91	4	4,5	5	2,3
341	706260	4220158	4	1	12,2	9	2	1,5	4	1,7
342	706261	4220160	5	1	21,2	17,2	5	6	5,5	1,5
343	706261	4220158	6	1	18	13,2	4	3,5	2,4	1,7
344	706255	4220156	7	1	9	6,2	1	1,5	1,5	0,8
345	706252	4220152	3196	2	18,5	11	4	4,5	5	1,8
346	706251	4220146	4033	1	8,2	6,4	1	1,5	2	1,3
347	706249	4220145	3383	2	33,7	19,72	4,4	3,2	4,5	2,3
348	706246	4220145	3413	2	28	16,3	3	2	5	3
349	706241	4220144	8	2	21,3	14,9	2	1	5	3,2
350	706242	4220142	3260	1	24,4	20,2	6	6,5	5,8	3
351	706244	4220140	9	2	20,2	13,4	2	2	2,1	2,2
352	706246	4220141	11	2	21,9	15,2	2	1,8	5	2,8
353	706249	4220143	3417	1	27,2	20,5	6	6	5,5	2,5
354	706245	4220139	3257	1	18	11,5	2	3	6	3
355	706242	4220141	10	1	25,3	20,3	7	6	6	3
356	706245	4220140	4138	1	34,6	30,5	6	5	6,5	2,8
357	706240	4220135	3292	1	16,6	12,8	3	2	5,5	3
358	706241	4220134	3407	2	15,5	11,4	2	3	3	2,5
359	706240	4220134	4127	1	29,4	20,7	4	2	4,5	2,8
360	706241	4220133	3232	1	22	18,4	3	5	5,5	2,5
361	706245	4220137	3187	2	30,2	17,44	4	4,3	4	2,3
362	706244	4220136	3305	1	22	18	4	3,5	4	1,9
363	706241	4220133	12	1	9	6,5	2	1,5	2,8	1,5
364	706240	4220132	3295	2	18	13	3	2	2,5	1,6
365	706238	4220129	3490	2	29,5	20,21	4	5	5,33	1,8
366	706236	4220124	3192	1	21,7	16,6	4	4	5,5	2,3
367	706225	4220110	4133	2	5	3,25	3	2	1	0,07
368	706214	4220103	13	1	31,2	12,17	7	6	5,22	2
369	706206	4220107	3206	2	28,6	15,32	4,5	4	3,94	1,5
370	706193	4220092	15	1	27,3	22,3	7	5	4,8	2,3
371	706178	4220082	14	2	31,8	22,2	3,8	3	5,35	1,6
372	706169	4220076	3181	1	31	15,36	2,5	5	5,5	2,2
373	706170	4220075	16	1	27,5	20,2	4,5	5	5,5	2,4
374	706163	4220072	328	1	19,6	18,5	4	2,8	4,5	1,7
375	706158	4220079	2266	2	17,7	13,2	2	2	3,5	1,7
376	706160	4220081	3251	1	6,7	5	1	1,5	2,3	1,5
377	706158	4220079	17	2	17,9	11	2	2	3,4	1,5
378	<b>706158</b>	<b>4220082</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>19,5</b>	<b>12,3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1,8</b>
379	706155	4220084	19	2	20,9	15	5	5	4,5	2,2
380	706153	4220084	3258	2	12,2	8,3	2	1	3	1,5
381	706150	4220088	20	2	20,4	15,2	3	3	4,5	2
382	706143	4220095	21	2	21,5	14,8	3	2	2,8	1,5
383	706145	4220095	3242	1	14,5	10,2	2	3	3	1,5
384	706145	4220093	3287	2	15,7	12,3	2,5	3	2,8	1,5
385	706146	4220097	3261	2	26	17,52	4	4,5	5,77	2

386	706152	4220101	22	1	33,2	13,21	5	6	5	2,2
387	706151	4220104	4032	1	12,5	8,7	1	0,5	4,3	1,7
388	706154	4220106	3253	2	30,6	12,85	4	4,5	5,6	1,5
389	706152	4220106	24	2	9,2	4,9	1	1,5	3	1,5
390	706162	4220106	23	2	29	18,63	6	3	4,3	1,8
391	706158	4220108	25	2	18,2	15	2	4	4	2,5
392	706161	4220112	3199	2	28	17,7	4	3	4,5	2,4
393	706160	4220112	28	2	16,7	12,7	2	2,5	4	2,3
394	706161	4220112	3299	2	21	13	3	3,5	2,03	2,3
395	706163	4220113	29	1	34,7	25,7	5	4	6	3
396	706164	4220118	3236	1	22,2	16,7	4	3	5,7	2,5
397	706163	4220117	31	2	21,2	18,5	3	3	5	3
398	706165	4220117	3428	2	18,7	13,05	3	3	4,5	2,4
399	706166	4220115	2257	2	35,2	23,9	4	5	6	3,1
400	706165	4220115	3314	1	26,2	20,2	4	5	6	3
401	706172	4220128	32	2	16,2	9,6	3	2	5	2,5
402	706174	4220129	3987	1	19,3	15	3	2	5	2,5
403	706177	4220129	3987,1	2	22,2	16,1	4	5	4	2,8
404	706180	4220130	3987,2	2	20,6	14,9	3	2	3,8	2,3
405	706181	4220133	3987,3	2	10,3	5,9	1,5	2	1,5	1,3
406	706181	4220135	3975	2	19	11,5	3	2	6	2
407	706182	4220136	3975,1	2	20,19	16,4	3	2	6	1,7
408	706186	4220135	3183	2	19,6	16,5	3	4	5	2,2
409	706194	4220137	3183,1	2	15,9	10,9	3	2	2,8	1,5
410	706203	4220148	3968,1	1	12,2	9	2	2	3	1,9
411	706205	4220151	3968,2	1	15,8	12,9	3	3	3,5	2
412	706206	4220152	3968	1	19,3	15,9	3	2	3,5	1,5
413	706214	4220162	3191	2	13,9	8,2	1,7	2	1,5	0,8
414	706216	4220163	3191,1	2	13	8	2	2	1,5	0,8
415	706218	4220162	3191,2	2	18,4	12,5	2,9	2,5	2,8	1,5
416	706217	4220164	3191,3	1	8,9	5,7	1	2	2	1,5
417	706218	4220169	33	1	20,4	14,2	3	3	2,8	1,2
418	706218	4220170	33,1	1	11,2	7,5	2	1	2,1	1,4
419	706220	4220172	33,2	1	7,5	5,2	1	1,5	1,9	1
420	706222	4220175	33,3	1	9,7	7,4	2	1	2	1
421	706228	4220175	3297	2	15,9	11	3	4	3	1,5
422	706236	4220187	3965	1	8,9	6,1	1,5	1,5	2,1	1,3
423	706237	4220184	3965,1	1	11,2	7,9	2	2	2,4	1,5
424	706237	4220186	3965,2	1	11,9	6,2	2	1,5	2,4	1,5
425	706238	4220187	3965,3	1	14,2	8,4	3	3	3	1,7
426	706239	4220188	3990	1	10,2	7,5	2	2	2	1,5
427	706245	4220193	3990,1	1	13,8	9,6	2	1	4	1,7
428	706246	4220192	3990,2	2	24	18,6	3	3	4,5	2
429	706248	4220194	3990,3	1	8,1	9,9	1	1	3,5	1,5
430	706248	4220195	3979	1	10,2	7,2	1	2	3	1,8
431	706251	4220198	3979,1	1	11,9	7,9	2	1,8	2,5	1,8
432	706253	4220203	3976	2	14	12	3	2,8	1,5	0,8
433	<b>706264</b>	<b>4220207</b>	<b>3222</b>	<b>2</b>	<b>21,2</b>	<b>17,5</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
434	706266	4220215	3310	1	7,1	6,2	1	1,5	1,8	1
435	706266	4220216	3310,1	1	5,7	3,5	1	1,3	1,8	1
436	706269	4220216	3310,2	1	8,7	5,9	2	1,5	2	1,5
437	706271	4220215	3316	2	21,4	13,6	3	3	3	1,5
438	706276	4220222	3973	2	24,5	17	2	3	2,8	1,5
439	706277	4220226	3262	1	6	5,2	1	1,2	1,5	0,8
440	706277	4220223	3262,1	1	8	6,4	2	1	2,2	1,6
441	706277	4220224	3262,2	1	10,27	10	2	2	2,2	1,5
442	706270	4220227	3488	2	12,9	12	2	2	2,7	1,5
443	706269	4220227	3488,1	2	14,2	9	2	2,5	3	1,5
444	706268	4220235	3983	1	18,5	14,6	3	4	3,5	1,7
445	706268	4220236	3983,1	1	9,2	8,7	2	1	3,4	1,8
446	706258	4220245	3962	2	20,3	13,2	4	3	3	1,5
447	706251	4220248	2437	2	23	20,2	3	4	6,32	1,7
448	706243	4220248	3972	2	26,1	16,2	3	4	5	3
449	706240	4220247	3972,1	2	18,7	11,7	2	2	4	3
450	706241	4220247	3972,2	1	14	11,1	1	2	5	2,7
451	706240	4220246	3972,3	1	14,2	10,7	1	1,5	5	2,7
452	706241	4220246	3972,4	1	17,7	11,4	2	2	5	2,5
453	706241	4220248	3972,5	1	14,8	10,7	2	1	5	2,5
454	706230	4220241	3283	1	23,5	18,1	5,5	5	7,35	3
455	706219	4220234	3283,1	1	16,2	11,2	1,6	1,5	4	1,8
456	706220	4220234	3283,2	1	13,6	8,6	1,5	1,6	4	1,9
457	706221	4220232	3283,3	1	17,9	11,5	3	2	5	2
458	706220	4220233	3283,4	1	24	17,5	3,5	4	5,5	2,3
459	706222	4220231	3996	2	36	24,2	3	6	5,5	2,1
460	706220	4220220	35	1	19	14,2	4	2	4,5	2
461	706219	4220219	35,1	2	11,2	7	1	1,2	2	1,7
462	706219	4220218	34	2	15,9	12,5	2	1	3,5	1,8

463	706215	4220216	3981	1	22,5	16	5	4	4	1,9
464	706214	4220215	34,1	1	5	3,9	1	0,8	1,7	0,8
465	706204	4220204	3981,1	2	13,2	9,9	3	4	4	1,8
466	706205	4220202	3981,2	1	3,9	3,48	0,5	0,6	1,6	0,3
467	706198	4220196	3195	2	28,2	20,28	6	3,8	4,5	2,1
468	706193	4220192	2368	2	18,75	14,2	3	3,5	1,5	0,8
469	706190	4220184	3980	2	18,2	13,2	3	2	3	1,5
470	706186	4220178	4120	1	18,5	9,5	3	2	1,7	0,8
471	706145	4220161	3993	1	23,7	20,2	4,5	4	5,8	2,5
472	706145	4220157	3984	1	38,2	33,4	7	8	7	3
473	706141	4220146	35	1	14,6	10,5	2	2,5	3,2	1,6
474	706135	4220135	3994	1	46,2	38,34	8	9	7,5	4
475	706133	4220129	36	1	20,9	18	4,5	4	4,8	2,1
476	<b>706120</b>	<b>4220129</b>	<b>2304,1</b>	<b>2</b>	<b>26,3</b>	<b>21,2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>2</b>
477	706116	4220128	2304	2	14	10,7	3	2	4	2,1
478	706115	4220129	2304,2	2	13,9	10,7	2	2	4	2
479	706114	4220132	2304,3	2	11,4	5,4	2	1,1	1	0,8
480	706113	4220139	2304,4	2	18	12,5	2	3	5	2,4
481	706114	4220140	2304,5	2	13,5	10,8	2	2	5	2,4
482	706112	4220139	3177	2	36,6	27,3	6	7	7,5	2,5
483	706100	4220134	3177,1	2	16,7	14,1	4	2	4	3
484	706107	4220138	3177,2	2	18,9	13,9	2,5	3,1	4,8	1,8
485	706107	4220133	3177,3	1	4,2	3,21	0,5	0,3	1	0,7
486	706097	4220152	2306,1	2	20,2	17	3	4,5	3,5	0,5
487	706102	4220155	2306,2	2	20,2	15	4	3,5	3,5	0,5
488	706106	4220158	2306	1	27,5	21,06	4,5	4	5	2,3
489	706117	4220169	3999,1	1	36,5	31,7	6	5,5	6,5	3
490	706124	4220180	3999	1	19,7	15,4	3	3,5	4,7	1,9
491	706122	4220181	3999,1	2	19,8	14,4	2	2	4,5	2,1
492	706128	4220182	3988	2	27,5	18,34	5,1	4,2	4,8	2,8
493	706130	4220188	3988,1	2	35,4	34,2	5,2	5	6	3
494	706134	4220188	3988,2	2	8,4	5,3	2,1	2,2	3	1,5
495	706144	4220192	3966	2	31,2	22,2	4,5	4,8	7,5	3
496	706144	4220194	3966,1	1	16,9	9,7	2,1	2,5	5	2
497	706145	4220193	3966,2	1	17,6	16,03	2	2,1	5	2
498	706146	4220197	3966,3	2	23	13,7	4	2	4,5	2
499	706149	4220196	3966,4	2	16,6	11,6	2	2	4,5	2,2
500	706150	4220202	37	2	19,5	15,13	3,5	2	2,8	1,5
501	706163	4220218	4000	1	43,5	24,4	7,1	6,8	8	3,8
502	706169	4220228	3978	1	42,7	34,7	6,5	6,8	7,8	3,2
503	706170	4220231	3978,1	2	30,9	19,84	6	3,5	4,8	2,6
504	706171	4220233	3499	2	24,6	14,9	3	2	4,3	2
505	706179	4220240	3961	2	16,4	11,5	4,5	3	3,6	1,6
506	706181	4220242	38	2	34,45	16,09	4,5	4	4,77	1,5
507	706190	4220245	3998	1	14,2	9,7	1,9	3	3,5	2
508	706194	4220245	3998,1	1	18	13,2	2	3	1,78	1,8
509	706194	4220246	3998,2	1	12,2	9,9	2	2	3	1,5
510	706195	4220245	3998,3	1	12,5	8,15	1	2	3	1,8
511	706192	4220247	2319	2	23,3	15,2	3	2	5	2,4
512	706191	4220247	2319,1	1	15	10,4	3	1,8	4,5	2,5
513	706193	4220243	2319,2	1	15,2	10	2	3	4	2,3
514	706194	4220249	2319,3	1	12	6,9	1	1	4	2,2
515	706197	4220249	2319,4	1	15,7	9	1,2	1	4,2	2,5
516	706198	4220249	3995	1	18,9	14,5	2	3,2	4,8	2,6
517	706200	4220251	3995,1	1	8,7	6	1	1	3	1,7
518	706204	4220252	3995,2	1	10,2	8,2	2	2,3	3	1,8
519	<b>706204</b>	<b>4220251</b>	<b>39</b>	<b>1</b>	<b>10,4</b>	<b>8,5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1,5</b>
520	706205	4220254	3992	1	15,4	10,5	2	2,1	4	2,2
521	706207	4220259	3992,1	1	9,6	6,7	1,5	1	3,2	2,1
522	706206	4220256	3992,2	1	21,5	17,3	3,1	3,2	5,5	2,6
523	706208	4220258	3992,3	1	19,2	12,6	2,3	2,8	4,5	2,3
524	706206	4220259	40	1	18,4	12,2	1,5	1,4	4,8	2,5
525	706206	4220258	40,1	1	22,7	17,9	1	2,2	4,5	2,5
526	706206	4220257	40,2	1	17,4	11,6	2	1,2	4,6	2,5
527	706219	4220270	3986	1	15,4	11,1	3	2	4	2,1
528	706218	4220268	3986,1	1	24,7	17,2	2	3	4,3	2,4
529	706220	4220286	3986,2	1	10,15	6,8	1	1	3,5	2,2
530	706219	4220269	3986,3	1	20	13,3	1,5	1,8	3,8	2,5
531	706218	4220268	3986,4	1	14	9,2	1	1,2	3,5	2,4
532	706218	4220270	3986,5	1	8	5,6	0,5	0,8	2	1,8
533	706224	4220273	41	2	20,7	21,6	5	3,2	4,5	2,3
534	706220	4220276	42	2	10,8	9,2	2,8	3,2	1,8	0,8
535	706213	4220281	43	2	34,2	16,4	3,5	3,2	5,99	2
536	706212	4220285	44	1	18	15,4	2,5	3	4,6	2,8
537	706211	4220284	45	2	28,5	20,05	3	3,2	4,4	2
538	706210	4220284	46	1	14,6	10,2	2	2,1	4	2
539	706211	4220290	47	2	21	14,1	2,1	3,2	4,3	2,1

540	706206	4220292	48	1	8	4,55	1,3	0,8	3	2
541	706204	4220293	49	1	4,7	7	0,8	0,5	3	2
542	706209	4220290	50	2	18,7	12,2	4	3,5	4,2	1,8
543	706206	4220292	51	2	17,7	11,6	1	2,3	3,8	2
544	706205	4220294	52	1	15,4	11,6	3,5	2,1	4,8	2,1
545	706210	4220286	53	1	9	8,1	2	1,2	4	2
546	706200	4220298	54	2	19,2	12,5	2,5	1,3	5	3
547	706199	4220297	55	2	20,5	14,6	2,3	3	5,1	3
548	706198	4220294	56	1	14,7	9,45	2	3	4,8	2,4
549	706196	4220290	57	2	23,5	16,9	3,8	2,8	4,8	2,7
550	706193	4220288	58	2	35,7	30,6	7	6,5	6	3
551	706190	4220285	59	1	18,5	14	3	3	3	1,5
552	706188	4220284	60	1	11,2	7,65	2	2	2,8	1
553	706186	4220283	61	2	13,2	5,22	2	1	1,8	2
554	706185	4220282	62	1	8	4,8	1,2	1,3	3	2
555	706184	4220282	63	2	25	17,1	2,3	3,3	3,5	1,8
556	706181	4220279	64	2	22,7	16,77	3	3,5	3	1,8
557	706174	4220275	65	1	11,6	8,4	2,5	2	1,5	1,8
558	706200	4220297	66	1	22,3	17,3	2,3	3,1	5,8	3,1
559	706198	4220293	67	1	22,7	14,97	2,5	3	4,5	2,8
560	706149	4220251	68	2	9,5	5,8	2	1	1,8	1,2
561	706148	4220256	69	2	21	12,9	3	2,1	3,5	1,6
562	706153	4220257	70	2	8,9	4,7	1,2	1,5	1,7	0,8
563	706150	4220259	71	2	17	8,6	2	2,8	2,8	1,4
564	706155	4220260	72	2	18,5	14,6	3	2	3,5	1,7
565	706153	4220258	73	2	6,5	4,6	1,2	1,1	1,2	1
566	706156	4220259	74	2	11,7	8,6	1,5	1,5	2,4	1,6
567	706164	4220262	75	2	32	19,21	3	4,5	5,04	2
568	706124	4220225	76	2	20,5	12,6	3,1	2,3	3	1,5
569	706125	4220231	77	2	14,5	12,2	3	2,1	2	0,8
570	706127	4220231	78	2	7	3,9	1	0,4	1,5	0,5
571	706127	4220232	79	2	16,2	9,6	1,5	1,2	3,5	1,5
572	706129	4220233	80	1	25,2	21,2	5	4,3	4,5	1,8
573	706130	4220233	81	2	16	14,62	2	3,5	4	1,7
574	706131	4220233	82	1	7,4	3,44	1,5	1,5	1,4	0,5
575	706133	4220237	83	2	28	21	4	3,1	5,77	1,7
576	706136	4220238	84	2	9	6,2	1,2	0,5	1,5	0,7
577	706136	4220246	85	2	13	9,2	2	1,8	2,8	1,3
578	706136	4220243	86	2	13,9	7,9	1,2	1,1	2,8	1,4
579	706127	4220229	89	2	20,2	14,5	2	3,5	3,7	1,6
580	706138	4220246	88	2	20,7	13,1	1,2	3,5	3	1,5
581	706137	4220245	87	2	15,1	9,2	3	3,5	4	1,5
582	<b>706117</b>	<b>4220221</b>	<b>90</b>	<b>2</b>	<b>17,2</b>	<b>11,2</b>	<b>2</b>	<b>2,2</b>	<b>2,8</b>	<b>1,5</b>
583	706115	4220222	91	2	5,2	3,5	1	1,2	1,8	0,7
584	706114	4220219	92	2	18	11,7	2	2	2,6	1,5
585	706112	4220217	93	1	6,5	4,2	1	1,1	0,8	0,4
586	706113	4220217	94	2	16,9	10,6	3	3,1	3	1,6
587	706109	4220215	95	2	12	9,8	2	2,5	1,7	0,8
588	706103	4220207	96	2	19,8	16,1	2,5	4,4	4,5	1,6
589	706097	4220198	97	1	23,3	18,22	3	3,1	3,5	1,9
590	706098	4220196	98	2	16,2	10,8	3	2,1	3	1,6
591	706096	4220199	99	2	13,2	14,1	3	2,8	3,2	1,5
592	706097	4220199	100	2	8,8	7,2	1,5	1,8	1,8	0,3
593	706096	4220197	101	2	26,2	17,9	3,5	3,8	4	1,8
594	706092	4220194	102	1	15,5	10,1	2,3	2,5	3,6	2,1
595	706089	4220192	103	2	21,7	15,9	4	4,8	4,5	2,2
596	706089	4220191	104	1	17,7	15,09	5	5,3	4,5	2,3
597	706087	4220188	105	1	19,3	15,2	2,5	3,5	4	2,5
598	706080	4220172	106	1	16,7	13,4	4	3,5	2,71	1,8
599	706077	4220169	107	1	17,9	10,7	3,4	4,5	4,8	2
600	706071	4220168	108	1	10,6	8,7	2	1,5	3,9	1,8
601	706064	4220179	109	1	12,6	10,9	2,2	2	2,2	1,5
602	706061	4220181	110	1	12,6	11,2	1,7	1,9	2,1	1,3
603	706054	4220188	111	1	13,2	11,1	2,5	2,5	2,4	1,4
604	706051	4220194	112	1	9	7,2	2,1	1,8	1,5	0,7
605	706045	4220210	113	1	43,4	39,4	9	9,2	9	4
606	706055	4220213	114	1	11,5	9,2	1,5	1,8	1,9	1,3
607	706057	4220213	115	1	7,1	6,9	1,2	1,3	1,5	1,3
608	706060	4220219	116	1	16,6	15,2	4	4,2	3,5	1,6
609	706065	4220221	117	1	13	10	2	2,5	3	1,5
610	706069	4220228	118	1	18	14,6	4	4,1	4	2,1
611	706041	4220207	119	1	9,6	7,4	2	1,1	2,8	1,8
612	706104	4220253	120	2	21,3	15	3	2,5	4,5	1,9
613	706101	4220248	121	2	25	18,1	4	3,1	3,8	1,8
614	706091	4220244	122	2	14,9	12,4	4	1,8	1,9	1,1
615	706087	4220238	123	2	13	9,6	1,5	1,6	2,2	1,4
616	706085	4220237	124	2	22,2	14,4	3	4	3	1,5

617	706086	4220235	125	2	22,2	17,7	3	4	3,5	1,7
618	706084	4220234	126	2	16,7	12,5	3	3,2	3,3	1,7
619	706085	4220234	127	2	24,2	17,9	4	3,1	3,5	1,6
620	706079	4220228	129	2	30,6	22	4,3	4	5,35	1,5
621	706106	4220255	3964	1	25	21,7	4,3	4,5	5,2	2,8
622	706111	4220259	128	2	20,8	15,5	3	3	4,5	2
623	706109	4220260	130	2	21	17	3,5	2,2	3	1,8
624	706111	4220260	131	2	20	15,2	3,2	2,1	2,8	1,7
625	706120	4220272	132	2	29,2	22,2	3,1	3,2	5,13	2,2
626	706121	4220269	133	2	16,2	9,5	3	2,4	2,3	1,3
627	706122	4220274	134	2	21,5	17,4	3,3	3,5	4,2	2,2
628	706106	4220255	135	1	22	17,2	6	4,5	6,5	3,5
629	706106	4220254	136	1	25,4	21,5	3,6	4,8	6	3
630	706134	4220287	137	1	29,6	16,32	6,2	5	5	2,4
631	706142	4220292	138	2	18,5	16,1	3	2,6	2,9	1,5
632	706145	4220295	139	2	23,1	16,5	3	3,2	2,8	1,5
633	706145	4220297	140	2	4,7	3,4	1	0,5	1,4	1
634	706149	4220300	141	2	24,3	16,03	4	2,8	2,8	1,6
635	<b>706158</b>	<b>4220311</b>	<b>142</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>10,6</b>	<b>2</b>	<b>2,3</b>	<b>2,2</b>	<b>1,4</b>
636	706160	4220310	143	2	18,8	8,5	2	2	3	1,5
637	706163	4220311	144	2	20,4	13,9	3,2	2,5	2,8	1,6
638	706161	4220312	145	2	21,2	15,6	2,5	2,4	4	2,1
639	706164	4220314	146	2	16,2	13,4	4,2	4,8	4,2	2,1
640	706165	4220315	147	1	21,5	16,6	3	3,2	4,2	2
641	706165	4220314	148	1	16	12,4	2,5	2,3	4	2
642	706169	4220318	149	2	21,8	12,5	3	2,8	3	1,4
643	706169	4220319	150	2	13,3	9,2	3	3	3,3	1,5
644	706168	4220320	151	2	9,7	6,1	1,2	1,5	1,5	0,8
645	706175	4220323	152	2	8	6,7	3	3	2,5	1,4
646	706175	4220325	153	2	20,3	16,5	3	2,8	3,3	1,5
647	706181	4220325	154	2	28,2	20,65	3	2	6,17	1,4
648	706174	4220327	155	2	15	12	2	2	3	1,5
649	706174	4220326	156	1	13	9,8	1	1,8	3	1,3
650	706173	4220328	157	1	15,2	11,2	2,3	2,2	3	1,5
651	706169	4220331	158	2	21,2	16,7	2	1,4	3	1,6
652	706168	4220330	159	2	11,2	8,1	3	2,5	3,5	1,6
653	706167	4220333	160	2	12	7,4	2	2	3	1,5
654	706165	4220334	161	2	24,1	17,6	3	3	3	1,5
655	706167	4220337	162	1	16,6	14	4	4,2	4	1,5
656	706162	4220333	163	2	7,8	5,6	2	2	2,3	1,4
657	706159	4220340	164	2	21	15,2	3,8	3,5	4	1,7
658	706154	4220335	165	2	12,6	11,9	2	1,8	2	1,4
659	706154	4220340	166	2	16,2	11,7	4	3	3,5	1,5
660	706149	4220344	167	2	11,5	9,7	1,8	1,3	3	1,5
661	706148	4220343	168	2	19,9	17,63	4	3,5	3,5	1,8
662	706139	4220341	169	2	21	16,9	3,5	3,2	3	2
663	706133	4220340	170	2	16,5	11,6	1,2	1,2	1,5	1,2
664	706132	4220335	171	2	10,5	8,5	3	3,5	1,5	1,2
665	706127	4220331	172	2	26,7	22	6	5,3	4,5	2
666	706123	4220327	173	2	26	18,61	4,5	5,2	4	2,1
667	706124	4220317	174	2	18,1	17,2	3	3,5	3,2	2
668	706116	4220312	175	1	21	17,9	3	3	3,5	2,1
669	706118	4220311	176	2	28,6	19,57	3	3,5	5,3	2,2
670	706086	4220284	177	2	23	14,46	3	3	2,5	1,5
671	706071	4220271	178	1	26	20,2	4	4,2	4	2,5
672	706061	4220268	179	2	32,3	19,21	4	4,2	4,5	1,8
673	706056	4220265	181	2	16,5	10,3	2,5	2,5	4	1,6
674	706059	4220264	180	2	23	18,85	2,5	3,5	4,5	2,5
675	706053	4220260	182	2	20	12,5	3	3	4,6	2,1
676	706043	4220254	183	2	28,2	19,7	6	5	6,65	3
677	706042	4220251	184	1	13,1	9	2	1,8	2	1,5
678	706040	4220249	185	2	29,5	22	2	4	4,5	3
679	706037	4220244	186	1	17,4	14,2	2,8	3	3,5	2
680	706030	4220225	187	1	15,1	12,4	3	2,8	3	1,5
681	706025	4220230	188	2	15,5	15,36	4	2,9	5	3,2
682	706039	4220253	189	1	47,3	42,7	8,5	9	9,5	6,5
683	706020	4220238	190	1	29,2	26,7	6	5,3	5,2	3,2
684	706016	4220242	191	1	21,7	18	5	5,2	5,5	2,7
685	706014	4220245	192	1	15,7	13,68	3	3,4	4	1,9
686	706013	4220256	193	1	5,8	4,3	2	1,5	1,7	1,5
687	706008	4220251	194	2	25,1	20,5	7	2,5	4,5	2,5
688	706008	4220248	195	2	40,2	36,1	7	6,5	7,5	5
689	706005	4220249	196	2	19,1	13,48	3	2	4	3
690	706000	4220248	197	2	15,3	9,7	3,5	2	4,8	2,8
691	706004	4220251	198	1	24,2	17,6	3	3	5,6	3,2
692	706005	4220250	199	1	26,3	21	3,5	2	5,8	3,3
693	706011	4220250	200	1	23	19,3	4,2	3,5	6,97	3,48

**Tabla 2.** Corrección del LAI obtenido con el LAI-2000 en las mediciones en el transecto imaginario de la pinada del Guardamar del Segura. P1 y V1 son Primavera y Verano del 2002 (02-04-2002 y 29-07-2002 respectivamente); P2 y V2 son Primavera y Verano del 2003 (13-04-2003 y 01-08-2003). F es el factor de corrección.

	Coordenadas		F	LAI				LAI corregido			
	x	y		P1	V1	P2	V2	P1	V1	P2	V2
1	4219850	706400	0,64	3,05	1,52	2,11	1,59	1,95	0,975	1,35	1,02
	4219875	706425	0,68	1,46	0,75	1,10	0,88	0,99	0,51	0,75	0,6
	4219900	706450	0,51	4,24	2,12	3,03	2,26	2,16	1,08	1,545	1,155
	4219925	706475	0,79	2,05	1,03	1,42	1,12	1,62	0,81	1,125	0,885
	4219950	706500	0,88	0,51	0,27	0,51	0,51	0,45	0,24	0,45	0,45
2	4219975	706525	0,86	0,56	0,28	0,52	0,35	0,48	0,24	0,45	0,3
	4220000	706500	0,88	1,06	0,53	0,77	0,43	0,93	0,465	0,675	0,375
	4219975	706475	0,71	1,23	0,63	0,89	0,65	0,87	0,45	0,63	0,465
	4219950	706450	0,77	1,13	0,56	0,84	0,64	0,87	0,435	0,645	0,495
	4219925	706425	0,7	1,80	0,90	1,31	0,94	1,26	0,63	0,915	0,66
3	4219900	706400	0,89	2,36	1,20	1,82	1,25	2,1	1,065	1,62	1,11
	4219875	706375	0,95	0,88	0,44	0,65	0,46	0,84	0,42	0,615	0,435
	4219900	706350	0,63	2,33	1,14	1,69	1,24	1,47	0,72	1,065	0,78
	4219925	706375	0,79	1,86	0,93	1,42	1,12	1,47	0,735	1,125	0,885
	4219950	706400	0,51	2,53	1,26	1,94	1,32	1,29	0,645	0,99	0,675
4	4219975	706425	0,79	1,52	0,80	1,08	0,84	1,2	0,63	0,855	0,66
	4220000	706450	0,88	1,53	0,77	1,06	0,80	1,35	0,675	0,93	0,705
	4220025	706475	0,86	1,47	0,73	1,19	0,82	1,26	0,63	1,02	0,705
	4220050	706450	0,88	1,19	0,63	0,85	0,66	1,05	0,555	0,75	0,585
	4220025	706425	0,71	1,23	0,61	0,87	0,65	0,87	0,435	0,615	0,465
5	4220000	706400	0,77	1,79	0,90	1,29	0,95	1,38	0,69	0,99	0,735
	4219975	706375	0,88	1,40	0,70	0,99	0,73	1,23	0,615	0,87	0,645
	4219950	706350	0,71	1,52	0,74	1,08	0,80	1,08	0,525	0,765	0,57
	4219925	706325	0,77	2,06	1,03	1,48	1,09	1,59	0,795	1,14	0,84
	4219950	706300	0,7	8,49	4,24	6,17	4,48	5,94	2,97	4,32	3,135
6	4219975	706325	0,89	6,64	3,32	4,74	3,37	5,91	2,955	4,215	3
	4220000	706350	0,95	4,77	2,43	3,39	2,67	4,53	2,31	3,225	2,535
	4220025	706375	0,63	5,19	2,60	3,76	2,98	3,27	1,635	2,37	1,875
	4220050	706400	0,95	6,25	3,13	4,47	3,30	5,94	2,97	4,245	3,135
	4220075	706425	0,63	8,62	4,36	6,19	4,55	5,43	2,745	3,9	2,865
7	4220100	706400	0,79	4,90	2,45	3,49	2,58	3,87	1,935	2,76	2,04
	4220075	706375	0,51	8,82	4,53	6,29	5,59	4,5	2,31	3,21	2,85
	4220050	706350	0,79	6,04	3,02	4,22	3,17	4,77	2,385	3,33	2,505
	4220025	706325	0,88	5,11	2,56	3,65	2,71	4,5	2,25	3,21	2,385
	4220000	706300	0,86	1,81	1,01	1,40	1,66	1,56	0,87	1,2	1,425
8	4219975	706275	0,88	1,74	0,87	1,24	0,97	1,53	0,765	1,095	0,855
	4220000	706250	0,71	4,01	1,99	2,92	4,01	2,85	1,41	2,07	2,85
	4220025	706275	0,77	3,08	1,54	2,32	1,62	2,37	1,185	1,785	1,245
	4220050	706300	0,7	4,16	1,97	3,19	2,34	2,91	1,38	2,235	1,635
	4220075	706325	0,63	5,67	2,83	4,05	2,98	3,57	1,785	2,55	1,875
9	4220100	706350	0,79	4,71	2,28	3,36	2,58	3,72	1,8	2,655	2,04
	4220125	706375	0,51	6,76	3,53	4,82	3,79	3,45	1,8	2,46	1,935
	4220150	706350	0,79	6,57	3,28	4,71	3,55	5,19	2,595	3,72	2,805
	4220125	706325	0,88	6,24	3,09	4,57	3,29	5,49	2,715	4,02	2,895
	4220100	706300	0,86	10,12	5,06	7,22	5,32	8,7	4,35	6,21	4,575
9	4220075	706275	0,88	9,92	4,96	7,09	6,48	8,73	4,365	6,24	5,7
	4220050	706250	0,95	9,85	4,96	7,04	5,18	9,36	4,71	6,69	4,92
	4220025	706225	0,63	12,33	6,17	9,05	6,64	7,77	3,885	5,7	4,185
	4220050	706200	0,95	1,29	0,65	0,93	1,11	1,23	0,615	0,885	1,05
	4220075	706225	0,63	1,81	0,95	1,29	1,19	1,14	0,6	0,81	0,75
9	4220100	706250	0,79	1,18	0,59	0,85	0,72	0,93	0,465	0,675	0,57
	4220125	706275	0,51	2,06	1,03	1,74	1,47	1,05	0,525	0,885	0,75
	4220150	706300	0,79	1,52	0,78	1,08	0,80	1,2	0,615	0,855	0,63
	4220175	706325	0,88	1,30	0,65	0,92	0,72	1,14	0,57	0,81	0,63



**Tabla 2.** Corrección del LAI obtenido con el LAI-2000 en las mediciones en el transecto imaginario de la pinada del Guardamar del Segura. P1 y V1 son Primavera y Verano del 2002 (02-04-2002 y 29-07-2002 respectivamente); P2 y V2 son Primavera y Verano del 2003 (13-04-2003 y 01-08-2003). F es el factor de corrección (Continua...).

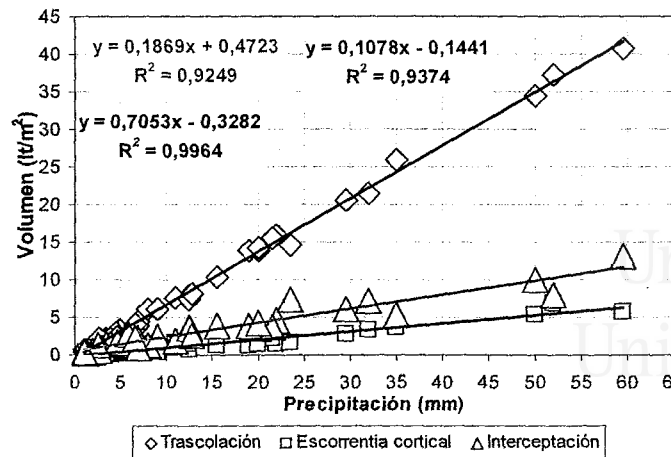
	Coordenadas		F	LAI				LAI corregido			
	x	y		P1	V1	P2	V2	P1	V1	P2	V2
10	4220200	706300	0,86	4,40	2,20	3,17	2,35	3,78	1,89	2,73	2,025
	4220175	706275	0,63	9,43	4,71	6,74	4,98	5,94	2,97	4,245	3,135
	4220150	706250	0,79	12,04	6,02	8,60	6,34	9,51	4,755	6,795	5,01
	4220125	706225	0,51	7,12	3,56	5,24	3,74	3,63	1,815	2,67	1,905
	4220100	706200	0,95	4,93	2,48	3,52	2,67	4,68	2,355	3,345	2,535
	4220075	706175	0,63	8,33	4,17	5,98	4,38	5,25	2,625	3,765	2,76
11	4220100	706150	0,95	3,03	1,52	2,19	1,75	2,88	1,44	2,085	1,665
	4220125	706175	0,63	9,19	4,60	6,57	4,90	5,79	2,895	4,14	3,09
	4220150	706200	0,79	5,81	2,91	4,12	3,06	4,59	2,295	3,255	2,415
	4220175	706225	0,51	7,24	3,62	5,91	4,06	3,69	1,845	3,015	2,07
	4220200	706250	0,79	3,95	2,16	2,83	2,22	3,12	1,71	2,235	1,755
	4220225	706275	0,88	4,30	2,15	3,07	2,37	3,78	1,89	2,7	2,085
12	4220250	706250	0,63	6,10	3,05	4,36	3,21	3,84	1,92	2,745	2,025
	4220225	706225	0,79	4,25	2,13	3,04	2,43	3,36	1,68	2,4	1,92
	4220200	706200	0,51	10,47	5,24	7,50	5,79	5,34	2,67	3,825	2,955
	4220175	706175	0,79	4,37	2,18	3,11	2,30	3,45	1,725	2,46	1,815
	4220150	706150	0,88	0,55	0,43	0,39	0,48	0,48	0,375	0,345	0,42
	4220125	706125	0,86	3,80	1,90	2,72	2,01	3,27	1,635	2,34	1,725
13	4220150	706100	0,88	2,90	1,45	2,13	1,41	2,55	1,275	1,875	1,245
	4220175	706125	0,95	2,87	1,44	2,08	1,52	2,73	1,365	1,98	1,44
	4220200	706150	0,63	3,62	1,81	2,60	1,90	2,28	1,14	1,635	1,2
	4220225	706175	0,95	2,40	1,20	1,75	1,28	2,28	1,14	1,665	1,215
	4220250	706200	0,63	1,90	1,07	1,29	1,00	1,2	0,675	0,81	0,63
	4220275	706225	0,79	1,71	0,85	1,22	0,89	1,35	0,675	0,96	0,705
14	4220300	706200	0,51	6,88	3,44	4,82	3,68	3,51	1,755	2,46	1,875
	4220275	706175	0,79	5,13	2,56	3,74	2,70	4,05	2,025	2,955	2,13
	4220250	706150	0,88	3,58	1,79	2,64	1,89	3,15	1,575	2,325	1,665
	4220225	706125	0,86	3,98	1,99	2,90	2,25	3,42	1,71	2,49	1,935
	4220200	706100	0,63	6,33	3,17	4,62	3,33	3,99	1,995	2,91	2,1
	4220175	706075	0,79	4,94	2,47	3,56	2,60	3,9	1,95	2,8095	2,055
15	4220200	706050	0,51	8,18	4,09	5,85	4,29	4,17	2,085	2,985	2,19
	4220225	706075	0,95	3,92	1,96	2,79	2,07	3,72	1,86	2,655	1,965
	4220250	706100	0,63	6,33	3,17	4,52	3,36	3,99	1,995	2,85	2,115
	4220275	706125	0,95	3,85	1,93	2,81	2,02	3,66	1,83	2,67	1,92
	4220300	706150	0,71	6,93	3,46	4,96	3,65	4,92	2,46	3,525	2,595
	4220325	706175	0,77	6,12	3,06	4,64	3,21	4,71	2,355	3,57	2,475
16	4220350	706150	0,88	4,36	2,18	3,19	2,30	3,84	1,92	2,805	2,025
	4220325	706125	0,71	6,68	3,34	4,84	3,51	4,74	2,37	3,435	2,49
	4220300	706100	0,77	2,26	1,13	1,99	1,34	1,74	0,87	1,53	1,035
	4220275	706075	0,7	1,89	0,94	1,35	1,24	1,32	0,66	0,945	0,87
	4220250	706050	0,89	3,44	1,72	2,46	1,80	3,06	1,53	2,19	1,605
	4220225	706025	0,95	3,19	1,59	2,27	1,67	3,03	1,515	2,16	1,59
17	4220250	706000	0,63	5,19	2,60	3,93	2,74	3,27	1,635	2,475	1,725
	4220275	706025	0,95	8,27	4,14	5,48	4,36	7,86	3,93	5,205	4,14
	4220300	706050	0,63	6,62	3,31	4,52	3,48	4,17	2,085	2,85	2,19
	4220325	706075	0,79	3,72	1,80	2,66	3,59	2,94	1,425	2,1	2,835
	4220350	706100	0,51	4,59	2,29	3,26	2,88	2,34	1,17	1,665	1,47
	4220375	706125	0,71	4,10	2,05	2,94	2,15	2,91	1,455	2,085	1,53



**Tabla 2.** Corrección del LAI obtenido con el LAI-2000 en las mediciones en el transecto imaginario de la pinada del Guardamar del Segura. P1 y V1 son Primavera y Verano del 2002 (02-04-2002 y 29-07-2002 respectivamente); P2 y V2 son Primavera y Verano del 2003 (13-04-2003 y 01-08-2003). F es el factor de corrección (Continua...).

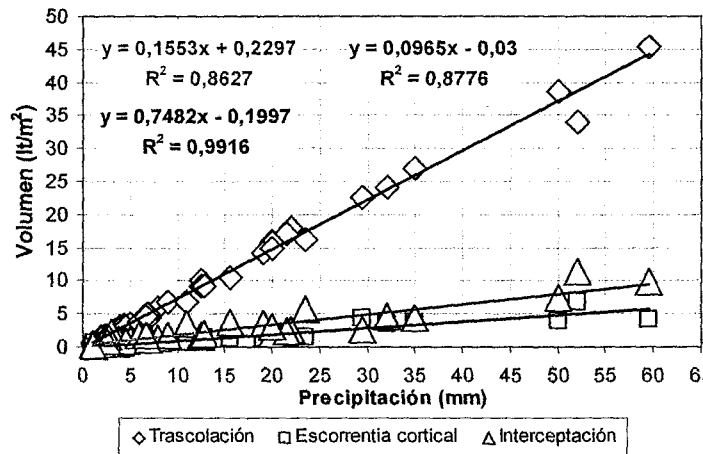
	Coordenadas		F	LAI				LAI corregido			
	x	y		P1	V1	P2	V2	P1	V1	P2	V2
18	4220400	706100	0,77	4,79	2,40	3,43	2,51	3,69	1,845	2,64	1,935
	4220375	706075	0,88	3,65	1,82	2,61	1,93	3,21	1,605	2,295	1,695
	4220350	706050	0,71	4,65	2,32	3,32	2,51	3,3	1,65	2,355	1,785
	4220325	706025	0,77	4,17	2,08	2,98	2,36	3,21	1,605	2,295	1,815
	4220300	706000	0,7	4,93	2,46	3,51	2,68	3,45	1,725	2,46	1,875
	4220275	705975	0,89	1,28	0,64	0,91	0,76	1,14	0,57	0,81	0,675
19	4220300	705950	0,95	5,75	2,87	4,11	3,03	5,46	2,73	3,9	2,88
	4220325	705975	0,63	8,33	4,17	5,95	4,40	5,25	2,625	3,75	2,775
	4220350	706000	0,95	4,23	2,12	3,11	2,29	4,02	2,01	2,955	2,175
	4220375	706025	0,63	5,38	2,69	3,83	2,83	3,39	1,695	2,415	1,785
	4220400	706050	0,79	4,56	2,28	3,25	2,41	3,6	1,8	2,565	1,905
	4220425	706075	0,51	7,47	3,74	5,35	3,82	3,81	1,905	2,73	1,95
20	4220450	706050	0,7	5,06	2,53	3,62	2,72	3,54	1,77	2,535	1,905
	4220425	706025	0,89	4,89	2,51	3,49	2,53	4,35	2,235	3,105	2,25
	4220400	706000	0,95	4,52	2,26	3,25	2,42	4,29	2,145	3,09	2,295
	4220375	705975	0,63	6,00	3,00	4,50	3,17	3,78	1,89	2,835	1,995
	4220350	705950	0,95	4,14	2,07	2,84	2,19	3,93	1,965	2,7	2,085
	4220325	705925	0,63	5,52	2,76	3,95	2,95	3,48	1,74	2,49	1,86
21	4220350	705900	0,79	4,86	2,47	3,42	2,56	3,84	1,95	2,7	2,025
	4220375	705925	0,51	7,88	3,94	5,85	4,12	4,02	2,01	2,985	2,1
	4220400	705950	0,71	5,41	2,70	3,87	2,85	3,84	1,92	2,745	2,025
	4220425	705975	0,77	9,74	4,87	6,95	5,24	7,5	3,75	5,355	4,035
	4220450	706000	0,88	10,74	5,37	7,76	5,69	9,45	4,725	6,825	5,01
	4220475	706025	0,71	13,35	6,68	9,63	7,04	9,48	4,74	6,84	4,995
22	4220500	706000	0,77	12,70	6,35	9,35	6,80	9,78	4,89	7,2	5,235
	4220475	705975	0,7	13,59	6,79	9,71	7,26	9,51	4,755	6,795	5,085
	4220450	705950	0,89	8,46	4,23	6,07	4,45	7,53	3,765	5,4	3,96
	4220425	705925	0,95	9,41	4,75	6,73	4,96	8,94	4,515	6,39	4,71
	4220400	705900	0,89	10,11	5,09	7,69	5,33	9	4,53	6,84	4,74
	4220375	705875	0,95	5,97	2,98	4,26	3,11	5,67	2,835	4,05	2,955

**Anexo 3:** Figuras y tablas de la dinámica de aguas en *Pinus pinea* y *P. halepensis*



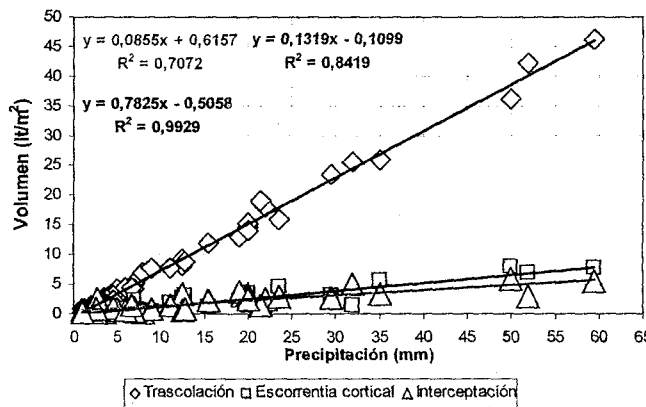
		Pp (l/m2)	Tr (l/m2)	Ec (l/m2)	Int (l/m2)
2001	otoño	175,0	122,4	17,7	34,9
2002	invierno	36,0	23,2	3,1	9,7
2002	primavera	142,3	97,9	14,7	29,6
2002	verano	33,5	23,7	3,1	6,7
2002	otoño	37,0	22,0	2,5	12,4
2003	invierno	44,8	29,0	3,7	12,0
2003	primavera	103,8	70,8	10,5	22,4

Figura 1. Relación entre la precipitación (P) y el volumen de los parámetros medidos de la dinámica de aguas: trascolación (Tr-◇), escorrentía cortical (Ec-□) y la interceptación (Int-△) para *P. pinea*.



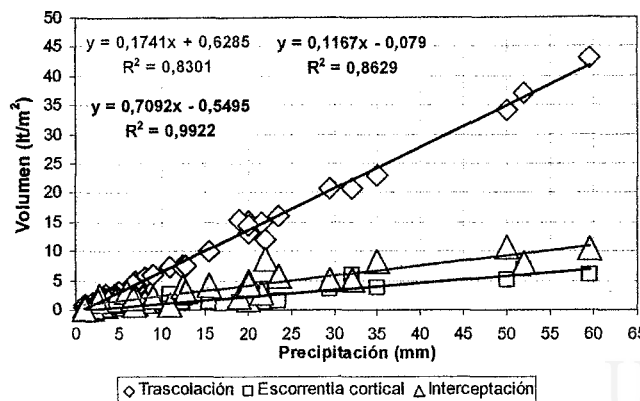
		Pp (l/m2)	Tr (l/m2)	Ec (l/m2)	Int (l/m2)
2001	otoño	175,0	126,6	17,7	30,7
2002	invierno	36,0	26,6	3,5	6,0
2002	primavera	142,3	108,8	13,7	19,8
2002	verano	33,5	23,2	2,2	8,1
2002	otoño	37,0	24,7	2,9	9,3
2003	invierno	44,8	31,0	3,8	10,0
2003	primavera	103,8	78,4	10,2	15,2

Figura 2. Relación entre la precipitación (pp) y el volumen de los parámetros medidos de la dinámica de aguas: trascolación (Tr-◇), escorrentía cortical (Ec-□) y la interceptación (Int-△) para *P. halepensis*.



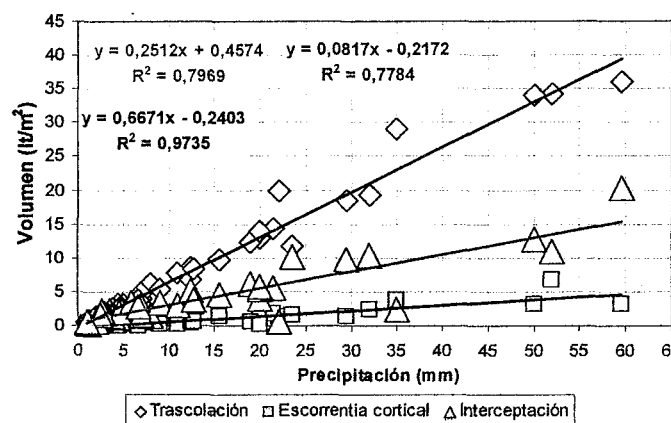
		Pp (l/m2)	Tr (l/m2)	Ec (l/m2)	Int (l/m2)
2001	otoño	175,0	133,7	22,7	18,6
2002	invierno	36,0	27,3	3,3	5,4
2002	primavera	142,3	110,4	13,9	17,9
2002	verano	33,5	22,5	4,2	6,8
2002	otoño	37,0	23,0	4,5	9,5
2003	invierno	44,8	28,7	7,9	8,2
2003	primavera	103,8	80,0	14,2	9,6

Figura 3. Relación entre la precipitación (pp) y el volumen de los parámetros medidos de la dinámica de aguas: trascolación (Tr-◇), escorrentía cortical (Ec-□) y la interceptación (Int-△) para *P. pinea* y de diámetro menor.



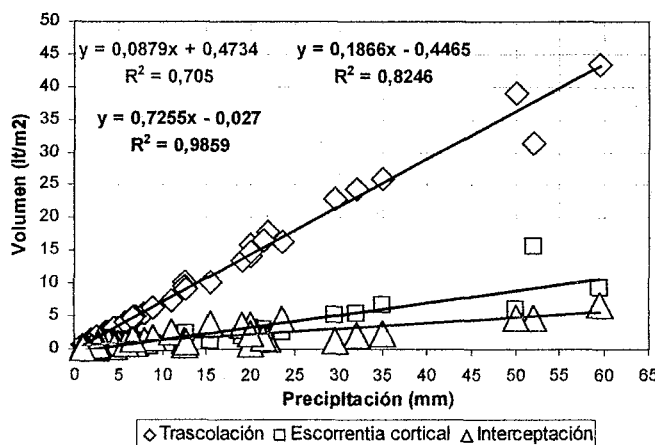
		Pp (lt/m <sup>2</sup> )	Tr (lt/m <sup>2</sup> )	Ec (lt/m <sup>2</sup> )	Int (lt/m <sup>2</sup> )
2001	otoño	175,0	116,3	17,7	41,0
2002	invierno	36,0	21,7	3,9	10,3
2002	primavera	142,3	96,8	20,1	25,3
2002	verano	33,5	25,5	4,3	3,7
2002	otoño	37,0	20,9	2,3	13,7
2003	invierno	44,8	27,1	3,2	14,4
2003	primavera	103,8	73,2	11,7	18,9

Figura 4. Relación entre la precipitación (pp) y el volumen de los parámetros medidos de la dinámica de aguas: trascología (Tr-◇), escorrentía cortical (Ec-□) y la interceptación (Int-△) para *P. pinea* y de diámetro medio.



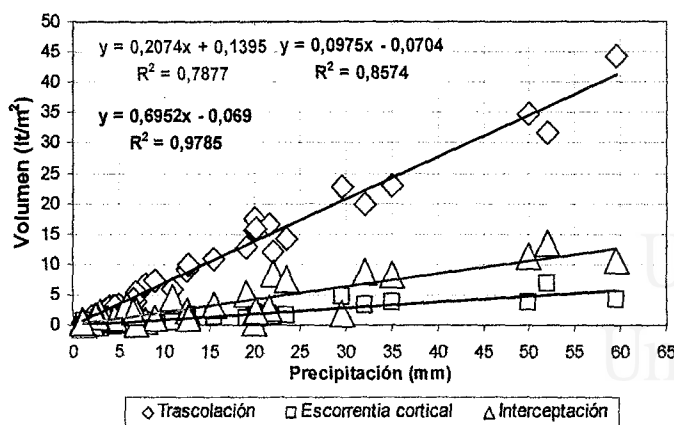
		Pp (lt/m <sup>2</sup> )	Tr (lt/m <sup>2</sup> )	Ec (lt/m <sup>2</sup> )	Int (lt/m <sup>2</sup> )
2001	otoño	175,0	122,7	17,7	34,6
2002	invierno	36,0	22,3	2,0	11,6
2002	primavera	142,3	91,9	9,8	40,5
2002	verano	33,5	22,4	0,9	10,3
2002	otoño	37,0	21,6	0,9	14,5
2003	invierno	44,8	26,5	0,9	17,4
2003	primavera	103,8	63,8	5,0	34,9

Figura 5. Relación entre la precipitación (pp) y el volumen de los parámetros medidos de la dinámica de aguas: trascología (Tr-◇), escorrentía cortical (Ec-□) y la interceptación (Int-△) para *P. pinea* y de diámetro mayor.



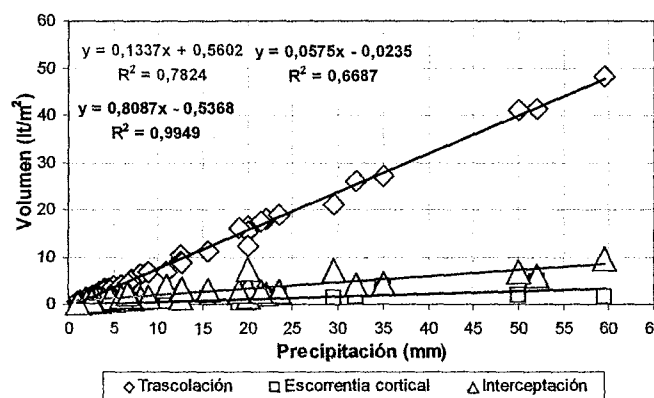
		Pp (lt/m <sup>2</sup> )	Tr (lt/m <sup>2</sup> )	Ec (lt/m <sup>2</sup> )	Int (lt/m <sup>2</sup> )
2001	otoño	175,0	121,2	31,7	22,2
2002	invierno	36,0	26,2	4,7	5,1
2002	primavera	142,3	108,9	20,4	13,0
2002	verano	33,5	22,8	3,3	7,4
2002	otoño	37,0	25,1	4,7	7,1
2003	invierno	44,8	32,5	5,2	7,0
2003	primavera	103,8	77,1	17,2	9,4

Figura 6. Relación entre la precipitación (pp) y el volumen de los parámetros medidos de la dinámica de aguas: trascología (Tr-◇), escorrentía cortical (Ec-□) y la interceptación (Int-△) para *P. halepensis* y de diámetro menor.



		Pp (lt/m <sup>2</sup> )	Tr (lt/m <sup>2</sup> )	Ec (lt/m <sup>2</sup> )	Int (lt/m <sup>2</sup> )
2001	otoño	175,0	114,5	17,7	42,8
2002	invierno	36,0	25,4	3,5	7,1
2002	primavera	142,3	101,1	12,9	28,3
2002	verano	33,5	20,9	1,8	10,7
2002	otoño	37,0	24,3	2,2	10,4
2003	invierno	44,8	30,2	3,7	10,8
2003	primavera	103,8	78,2	10,9	14,6

Figura 7. Relación entre la precipitación (pp) y el volumen de los parámetros medidos de la dinámica de aguas: trascolación (Tr- $\diamond$ ), escorrentía cortical (Ec- $\square$ ) y la interceptación (Int- $\Delta$ ) para *P. halepensis* y de diámetro medio.



		Pp (lt/m <sup>2</sup> )	Tr (lt/m <sup>2</sup> )	Ec (lt/m <sup>2</sup> )	Int (lt/m <sup>2</sup> )
2001	otoño	175,0	137,7	16,3	21,0
2002	invierno	36,0	28,3	2,8	4,9
2002	primavera	142,3	113,8	7,0	21,5
2002	verano	33,5	25,2	0,7	7,5
2002	otoño	37,0	25,4	0,8	10,8
2003	invierno	44,8	29,2	0,8	14,7
2003	primavera	103,8	79,5	3,4	20,8

Figura 8. Relación entre la precipitación (pp) y el volumen de los parámetros medidos de la dinámica de aguas: trascolación (Tr- $\diamond$ ), escorrentía cortical (Ec- $\square$ ) y la interceptación (Int- $\Delta$ ) para *P. halepensis* y de diámetro mayor.

#### Anexo 4: Tablas de análisis de varianza de las regresiones múltiples y comparación de medias de las variables en la dinámica de aguas del árbol

**Tabla 1.** Análisis de varianza de la regresión múltiple de la trascolación (Tr) en tres diferentes clases diamétricas (DE=diámetro menor, DM=Diámetro medio; DY=Diámetro mayor) de *Pinus halepensis* agrupado por los factores de análisis.

VARIABLES	COEFICIENTE	STD ERROR	T STUDENT	P	VIF
CONSTANT	0.53487	0.18111	2.95	0.0052	
PHTRDE	0.22963	0.09318	2.46	0.0181	49.7
PHTRDM	0.17901	0.11474	1.56	0.1266	81.4
PHTRDY	0.87428	0.08885	9.84	0.0000	60.1
R-SQUARED	0.9965	RESID. MEDIA SQUARE (MSE)		0.76555	
ADJUSTED R-SQUARED	0.9963	STANDARD DEVIATION		0.87496	
ORIGEN	DF	SS	MS	F	P
REGRESSION	3	8838.72	2946.24	3848.51	0.0000
RESIDUAL	40	30.6221	0.76555		
TOTAL	43	8869.34			

**Tabla 2.** Comparación de medias utilizando Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la trascolación (Tr) en tres diferentes clases diamétricas (DE=diámetro menor, DM= Diámetro medio; DY=Diámetro mayor) de *Pinus halepensis* agrupado por los factores de análisis.

VARIABLES	MEDIAS	GRUPOS HOMOGÉNEOS			
PHTRDY	9.9802	I			
PHTRDM	9.4081	I			
PHTRDE	8.9712	I			
VALOR Q CRITICO			3.314	NIVEL DE SIGNIFICANCIA	0.050
VALOR CRITICO DE COMPARACIÓN			4.5323		
ERROR STANDARD DE COMPARACIÓN			1.9339		

**Tabla 3.** Análisis de varianza de la regresión múltiple de la trascolación (Tr) en tres diferentes clases diamétricas (DE=diámetro menor, DM= Diámetro medio; DY=Diámetro mayor) de *Pinus pinea* agrupado por los factores de análisis.

VARIABLES	COEFICIENTE	STD ERROR	T STUDENT	P	VIF
CONSTANT	0.68813	0.15629	4.40	0.0001	
PPTRDE	0.65079	0.09645	6.75	0.0000	69.0
PPTRDM	0.45562	0.10265	4.44	0.0001	95.1
PPTRDY	0.26862	0.06843	3.93	0.0003	31.3
R-SQUARED	0.9973	RESID. MEDIA SQUARE (MSE)		0.60608	
ADJUSTED R-SQUARED	0.9971	STANDARD DEVIATION		0.77851	
ORIGEN	DF	SS	MS	F	P
REGRESSION	3	8845.10	2948.37	4864.68	0.0000
RESIDUAL	40	24.2430	0.60608		
TOTAL	43	8869.34			

**Tabla 4.** Comparación de medias utilizando Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la trascolación (Tr) en tres diferentes clases diamétricas de *Pinus pinea* agrupado por los factores de análisis.

VARIABLES	MEDIAS	GRUPOS HOMOGÉNEOS		
PPTRDM	9.6709	I		
PPTRDE	8.6732	I		
PPTRDY	8.4349	I		
VALOR Q CRITICO		3.314	NIVEL DE SIGNIFICANCIA	0.050
VALOR CRITICO DE COMPARACIÓN		4.7924		
ERROR STANDARD DE COMPARACIÓN		2.0449		

**Tabla 5.** Análisis de varianza de la regresión múltiple de la interceptación (Int) en tres diferentes clases diamétricas de *Pinus halepensis* agrupado por los factores de análisis.

VARIABLES	COEFICIENTE	STD ERROR	T STUDENT	P	VIF
CONSTANT	-1.79771	0.90911	-1.98	0.0549	
PHINTDE	1.87062	0.30281	6.18	0.0000	2.9
PHINTDM	1.55213	0.70004	2.22	0.0324	3.1
PHINTDY	3.03907	0.42121	7.22	0.0000	2.3
R-SQUARED	0.9307	RESID. MEDIA SQUARE (MSE)		15.3568	
ADJUSTED R-SQUARED	0.9255	STANDARD DEVIATION		3.91878	
ORIGEN	DF	SS	MS	F	P
REGRESSION	3	8255.07	2751.69	179.18	0.0000
RESIDUAL	40	614.272	15.3568		
TOTAL	43	8869.34			

**Tabla 6.** Comparación de medias utilizando Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la interceptación (Int) en tres diferentes clases diamétricas de *Pinus halepensis* agrupado por los factores de análisis.

VARIABLES	MEDIAS	GRUPOS HOMOGÉNEOS		
PHINTDE	2.8362	I		
PHINTDY	2.2995	I		
PHINTDM	1.6161	I		
VALOR Q CRITICO		3.314	NIVEL DE SIGNIFICANCIA	0.050
VALOR CRITICO DE COMPARACIÓN		1.5111		
ERROR STANDARD DE COMPARACIÓN		0.6448		

**Tabla 7.** Análisis de varianza de la regresión múltiple de la interceptación (Int) en tres diferentes clases diamétricas (DE=diámetro menor, DM= Diámetro medio; DY=Diámetro mayor) de *Pinus pinea* agrupado por los factores de análisis.

VARIABLES	COEFICIENTE	STD ERROR	T STUDENT	P	VIF
CONSTANT	-2.00489	0.96340	-2.08	0.0439	
PPINTDE	2.62313	0.40263	6.51	0.0000	3.2
PPINTDM	1.02273	0.79223	1.29	0.2041	3.5
PPINTDY	1.51818	0.26778	5.67	0.0000	3.1
R-SQUARED	0.9256	RESID. MEDIA SQUARE (MSE)		16.5023	
ADJUSTED R-SQUARED	0.9200	STANDARD DEVIATION		4.06230	
ORIGEN	DF	SS	MS	F	P
REGRESSION	3	8209.25	2736.42	165.82	0.0000
RESIDUAL	40	660.091	16.5023		
TOTAL	43	8869.34			

**Tabla 8.** Comparación de medias utilizando Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la interceptación (Int) en tres diferentes clases diamétricas (DE=diámetro menor, DM= Diámetro medio; DY=Diámetro mayor) de *Pinus pinea* agrupado por los factores de análisis.

VARIABLES	MEDIAS	GRUPOS HOMOGÉNEOS			
PPINTDY	3.7247	I			
PPINTDE	2.8925	I I			
PPINTDM	1.7280	.. I			
VALOR Q CRITICO			3.314	NIVEL DE SIGNIFICANCIA	0.050
VALOR CRITICO DE COMPARACIÓN			1.1066		
ERROR STANDARD DE COMPARACIÓN			0.4722		

**Tabla 9.** Comparación de medias utilizando Tukey ( $\alpha=0.01$ ) de la Escorrenría cortical (Ec) en tres diferentes clases diamétricas (DE=diámetro menor, DM= Diámetro medio; DY=Diámetro mayor) de *Pinus halepensis* y *P. pinea* agrupado por los factores de análisis.

VARIABLES	MEDIAS	GRUPOS HOMOGÉNEOS			
PHECDM	1.9804	I			
PPECDM	1.6057	I I			
PPECDE	1.4388	I I			
PHECDE	1.1972	I I			
PPEC DY	0.8450	I I			
PHECDY	0.7249	.. I			
VALOR Q CRITICO			4.029	NIVEL DE SIGNIFICANCIA	0.050
VALOR CRITICO DE COMPARACIÓN			1.1445		
ERROR STANDARD DE COMPARACIÓN			0.4018		

**Tabla 10.** Análisis de varianza de la regresión múltiple de la trascolación (Tr) para la mayor clase diamétrica de *Pinus pinea* y *Pinus halepensis* agrupado por los factores de análisis.

VARIABLES	COEFICIENTE	STD ERROR	T STUDENT	P	VIF
CONSTANT	0.66243	0.18852	3.51	0.0011	
PHTRDY	1.02118	0.06803	15.01	0.0000	30.6
PPTRDY	0.25496	0.08157	3.13	0.0033	30.6
R-SQUARED	0.9959	RESID. MEDIA SQUARE (MSE)		0.88230	
ADJUSTED R-SQUARED	0.9957	STANDARD DEVIATION		0.93931	

ORIGEN	DF	SS	MS	F	P
REGRESSION	2	8833.17	4416.58	5005.79	0.0000
RESIDUAL	41	36.1741	0.88230		
TOTAL	43	8869.34			

**Tabla 11.** Análisis de varianza de la regresión múltiple de la trascolación (Tr) para la clase diamétrica media en *Pinus pinea* y *Pinus halepensis* agrupado por los factores de análisis.

VARIABLES	COEFICIENTE	STD ERROR	T STUDENT	P	VIF
CONSTANT	0.75579	0.25731	2.94	0.0054	
PHTRDE	0.22921	0.13254	1.73	0.0913	49.1
PPTRDE	1.17517	0.13083	8.98	0.0000	49.1
R-SQUARED	0.9928	RESID. MEDIA SQUARE (MSE)		1.56756	
ADJUSTED R-SQUARED	0.9924	STANDARD DEVIATION		1.25202	

ORIGEN	DF	SS	MS	F	P
REGRESSION	2	8805.07	4402.54	2808.52	0.0000
RESIDUAL	41	64.2701	1.56756		
TOTAL	43	8869.34			

**Tabla 12.** Análisis de varianza de la regresión múltiple de la trascolación (Tr) para la clase diamétrica menor en *Pinus pinea* y *Pinus halepensis* agrupado por los factores de análisis.

VARIABLES	COEFICIENTE	STD ERROR	T STUDENT	P	VIF
CONSTANT	0.47529	0.18649	2.55	0.0147	
PHTRDM	0.49372	0.08342	5.92	0.0000	39.9
PPTRDM	0.81526	0.07761	10.50	0.0000	39.9
R-SQUARED	0.9962	RESID. MEDIA SQUARE (MSE)		0.82540	
ADJUSTED R-SQUARED	0.9960	STANDARD DEVIATION		0.90851	

ORIGEN	DF	SS	MS	F	P
REGRESSION	2	8835.50	4417.75	5352.26	0.0000
RESIDUAL	41	33.8414	0.82540		
TOTAL	43	8869.34			

**Leyenda:**

**STD:** Desviación standard; **VIF:** Factores de varianza ampliada (Variance inflation factors); **PHTRDE:** Trascología en *Pinus halepensis* de diámetro de tronco de clase media; **PHTRDM:** Trascología en *P. halepensis* de diámetro de tronco de clase menor; **PHTRDY:** Trascología en *P. halepensis* de diámetro de tronco de clase mayor; **DF:** Grados de libertad; **SS:** Suma de cuadrados; **MS:** Cuadrados medios; **F:** factor Fisher; **P:** factor de probabilidad



### Tablas de análisis de varianza de las comparaciones de humedad de los sitios y profundidades en estudio

**Tabla 13.** Análisis de varianza One-way de la comparación del Contenido Volumétrico de Agua (CVA) a 20 cm de profundidad en una población de 31 muestras procedentes de 7 sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

ORIGEN	DF	SS	MS	F	P
ENTRE	6	46.3932	7.73220	0.44	0.8539
DENTRO	210	3707.86	17.6565		
TOTAL	216	3754.25			

SITIO STD DEV	MEDIA	TAMAÑO DE MUESTRA	GRUPO
1	4.1411	31	3.2770
2	5.1895	31	4.0705
3	5.3764	31	4.0578
4	5.7294	31	3.7887
5	5.1586	31	4.7975
6	5.4550	31	4.1123
7	5.2061	31	5.0538
TOTAL	5.1794	217	4.2020

**Tabla 14.** Comparación de medias a través del diferencia mínima significativa LSD de la comparación del promedio de Contenido Volumétrico de Agua (CVA) a 20 cm de profundidad en una población de 31 muestras procedentes de 7 sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

SITIO	MEDIA	HOMOGENEOUS GRUPOS
4	5.7294	I
6	5.4550	I
3	5.3764	I
7	5.2061	I
2	5.1895	I
5	5.1586	I
1	4.1411	I

**Tabla 15.** Análisis de varianza One-way de la comparación del Contenido Volumétrico de Agua (CVA) a 60 cm de profundidad en una población de 31 muestras procedentes de 7 sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

ORIGEN	DF	SS	MS	F	P
ENTRE	6	21.4799	3.57998	0.25	0.9582
DENTRO	210	3023.15	14.3960		
TOTAL	216	3044.63			

SITIO STD DEV	MEDIA	TAMAÑO DE MUESTRA	GRUPO
1	4.1257	31	3.1576
2	4.2493	31	4.0708
3	4.1167	31	3.6178
4	4.5441	31	3.0623
5	4.9882	31	4.3989
6	4.2024	31	3.9959
7	4.0064	31	4.0553
TOTAL	4.3190	217	3.7942

**Tabla 16.** Comparación de medias a través del diferencia mínima significativa LSD de la comparación del promedio de Contenido Volumétrico de Agua (CVA) a 60 cm de profundidad en una población de 31 muestras procedentes de 7 sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

SITIO	MEDIA	HOMOGENEOUS GRUPOS
5	4.9882	I
4	4.5441	I
2	4.2493	I
6	4.2024	I
1	4.1257	I
3	4.1167	I
7	4.0064	I

**Tabla 17.** Análisis de varianza One-way de la comparación del Contenido Volumétrico de Agua (CVA) a 100 cm de profundidad en una población de 31 muestras procedentes de 7 sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

ORIGEN	DF	SS	MS	F	P
ENTRE	6	50.8096	8.46827	0.67	0.6784
DENTRO	210	2665.64	12.6935		
TOTAL	216	2716.45			

SITIO	MEDIA	TAMAÑO DE MUESTRA	GRUPO STD DEV
1	4.4852	31	3.4813
2	4.0932	31	3.5632
3	3.8513	31	3.5965
4	4.9947	31	3.2707
5	3.7499	31	3.4987
6	3.3996	31	3.2070
7	4.2287	31	4.2286
TOTAL	4.1147	217	3.5628

**Tabla 18.** Comparación de medias a través del diferencia mínima significativa LSD de la comparación del promedio de Contenido Volumétrico de Agua (CVA) a 100 cm de profundidad en una población de 31 muestras procedentes de 7 sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

SITIO	MEDIA	HOMOGENEOUS GRUPOS
4	4.9947	I
1	4.4852	I
7	4.2287	I
2	4.0932	I
3	3.8513	I
5	3.7499	I
6	3.3996	I

**Tabla 19.** Análisis de varianza One-way de la comparación del Contenido Volumétrico de Agua (CVA) en todo el perfil del sustrato en el DOY 363 del 2001 en una población de 5 muestras procedentes de 7 sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

ORIGEN	DF	SS	MS	F	P
ENTRE	6	78.5922	13.0987	4.69	0.0020
DENTRO	28	78.1957	2.79270		
TOTAL	34	156.788			

SITIO	MEDIA	TAMAÑO DE MUESTRA	GRUPO STD DEV
1	14.865	5	3.0920
2	16.701	5	1.0439
3	17.463	5	1.3148
4	16.327	5	1.3241
5	19.808	5	1.2760
6	18.584	5	0.9373
7	16.514	5	1.7059
TOTAL	17.180	35	1.6711

**Tabla 20.** Comparación de medias a través del diferencia mínima significativa LSD de la comparación del promedio de Contenido Volumétrico de Agua (CVA) en todo el perfil del sustrato en el DOY 363 del 2001 en una población de 5 muestras procedentes de 7 sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

SITIO	MEDIA	HOMOGENEOUS GRUPOS
5	19.808	I
6	18.584	I I
3	17.463	.. I I
2	16.701	.. I I I
7	16.514	.. I I I
4	16.327	.... I I
1	14.865	..... I

**Tabla 21.** Comparación de medias a través de la diferencia mínima significativa LSD ( $\alpha=0,05$ ) de la comparación del promedio de Contenido Volumétrico de Agua (CVA) en todo el perfil del sustrato en el DOY 105 del 2002 en una población de 5 muestras procedentes de 7 sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

SITIO	MEDIA	HOMOGENEOUS GRUPOS
7	11.115	I
5	9.8389	I I
4	8.8295	I I I
3	8.5686	.. I I
6	7.9381	.. I I I
1	6.7008	.... I I
2	5.9558	..... I

**Tabla 22.** Comparación de medias a través de la diferencia mínima significativa LSD ( $\alpha=0,05$ ) de la comparación del promedio de Contenido Volumétrico de Agua (CVA) en todo el perfil del sustrato en el DOY 116 del 2002 en una población de 5 muestras procedentes de 7 sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

SITIO	MEDIA	HOMOGENEOUS
		GRUPOS
7	7.6669	I
4	7.5192	I
5	6.6627	I I
2	6.6049	I I
6	6.4152	I I
3	5.5592	I I
1	5.2072	.. I

**Tabla 23.** Comparación de medias a través de la diferencia mínima significativa LSD ( $\alpha=0,05$ ) de la comparación del promedio de Contenido Volumétrico de Agua (CVA) en todo el perfil del sustrato en el DOY 166 del 2002 en una población de 5 muestras procedentes de 7 sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

SITIO	MEDIA	HOMOGENEOUS
		GRUPOS
2	3.5917	I
4	3.4151	I I
1	3.2420	I I
7	3.1024	I I
6	2.4924	I I
5	2.0857	.. I
3	1.9644	.. I

**Tabla 24.** Comparación de medias a través de la diferencia mínima significativa LSD ( $\alpha=0,05$ ) de los promedios de Contenido Volumétrico de Agua (CVA) en todo el perfil del sustrato y en diferentes sitios en el DOY 192 del 2003 en una población de 5 muestras procedentes de 7 sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

SITIO	MEDIA	HOMOGENEOUS
		GRUPOS
4	3.2636	I
7	2.7320	I I
5	1.9903	.. I I
2	1.8053	.... I
1	1.7906	.... I
3	1.2911	.... I
6	1.1300	.... I
PROFUNDIDAD	MEDIA	HOMOGENEOS
100	2.4970	I
80	2.3572	I
60	2.2146	I
40	1.7823	I I
20	1.1509	.. I

**Tabla 25.** Análisis de varianza y comparación de medias del Contenido Volumétrico de Agua (CVA) en todo el perfil del sustrato en el DOY 210 del 2003 en una población de 5 muestras procedentes de 7 sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

ORIGEN	gl	SS	MS	F	P
ENTRE	6	20.9944	3.49907	6.16	0.0003
DENTRO	28	15.9050	0.56804		
TOTAL	34	36.8994			

SITIO	TAMAÑO		DESVIACION
	MEDIA	DE MUESTRA	STANDARD
1	1.3817	5	0.7252
2	1.4209	5	0.5937
3	1.0029	5	0.2560
4	3.2598	5	0.8999
5	1.6584	5	0.9617
6	1.0469	5	0.1653
7	2.5342	5	1.1271
TOTAL	1.7578	35	0.7537

**Tabla 26.** Comparación de medias a través de la diferencia mínima significativa LSD ( $\alpha=0,05$ ) de los promedios de Contenido Volumétrico de Agua (CVA) en todo el perfil del sustrato en el DOY 210 del 2003 en una población de 5 muestras procedentes de 7 sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

SITIO	GRUPOS	
	MEDIA	HOMOGENEOS
4	3.2598	I
7	2.5342	I I
5	1.6584	.. I I
2	1.4209	.... I
1	1.3817	.... I
6	1.0469	.... I
3	1.0029	.... I

PROFUNDIDAD	GRUPOS	
	MEDIA	HOMOGENEOS
80	2.3737	I
100	2.2836	I I
60	1.9317	I I
40	1.3281	.. I I
20	0.8721	.... I

**Tabla 27.** Comparación de medias a través de la diferencia mínima significativa LSD ( $\alpha=0,05$ ) de los promedios de Contenido Volumétrico de Agua (CVA) en todo el perfil del sustrato en el DOY 219 (verano) del 2003 en una población de 5 muestras procedentes de 7 sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

SITIO	MEDIA	GRUPOS
		HOMOGENEOS
4	2.9696	I
3	2.1704	.. I
7	1.7020	.. I I
2	1.4778	.. I I
5	1.3644	.... I
1	1.3083	.... I
6	1.2227	.... I

PROFUNDIDAD	MEDIA	GRUPOS
		HOMOGENEOS
100	2.0106	I
60	2.0097	I
80	1.9426	I I
40	1.6095	I I
20	1.1529	.. I

**Tabla 28.** Análisis de varianza y comparación de medias de la fotosíntesis entre especies, sitios y estación en la pinada de Guardamar del Segura.

ORIGEN	DF	SS	MS	F	P
ESPECIE (A)	1	0.05989	0.05989	0.34	0.5699
ESTACION (B)	3	48.8023	16.2674	91.02	0.0000
SITIO (C)	6	2.22807	0.37134	2.08	0.1072
A*B	3	1.97212	0.65737	3.68	0.0316
A*C	6	2.77145	0.46191	2.58	0.0552
B*C	18	8.79530	0.48863	2.73	0.0196
A*B*C	18	3.21720	0.17873		
TOTAL	55	67.8463			

LSD (T) COMPARISON OF MEDIAS OF PHOTO BY ESTACION

ESTACION	MEDIA	HOMOGENEOUS
		GRUPOS
2	3.0292	I
3	1.8306	.. I
4	0.8727	.... I
1	0.6720	.... I

LSD (T) COMPARISON OF MEDIAS OF PHOTO BY SITIO

SITIO	MEDIA	GRUPOS
		HOMOGENEOS
S6	1.8920	I
S3	1.7898	I
S4	1.7799	I
S2	1.5138	I
S1	1.4767	I
S7	1.4195	I
S5	1.3361	I

Tabla 29. Cuadros de análisis de contraste para fotosíntesis en la pinada de Guardamar del Segura.

CONTRASTE AOV PRINCIPAL PARA FOTOSÍNTESIS: ESPECIExSITIO, AGRUPADOS POR ESTACION

CONTRAST COEFFICIENTS: 13 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1			
FOR ESTACION = (1) VERANO			
CONTRAST	-2.3551	SS (CONTRAST)	0.0305
FOR ESTACION = (2) PRIMAVERA			
CONTRAST	-2.1407	SS (CONTRAST)	0.0252
FOR ESTACION = (3) INVIERNO			
CONTRAST	-1.4432	SS (CONTRAST)	0.0114
FOR ESTACION = (4) OTOÑO			
CONTRAST	1.9271	SS (CONTRAST)	0.0204

CONTRASTE AOV PRINCIPAL PARA FOTOSÍNTESIS: ESTACION, AGRUPADOS POR SITIO

CONTRAST COEFFICIENTS: 3 -1 -1 -1			
FOR SITIO = S1			
CONTRAST	-3.4822	SS (CONTRAST)	2.0209
SCHEFFE'S F	0.63	P (SCHEFFE'S F)	0.8336
T-STATISTIC	-3.36	P (T-STATISTIC)	0.0035
SE (CONTRAST)	1.0356		
FOR SITIO = S2			
CONTRAST	-0.3595	SS (CONTRAST)	0.0215
SCHEFFE'S F	0.01	P (SCHEFFE'S F)	1.0000
T-STATISTIC	-0.35	P (T-STATISTIC)	0.7325
SE (CONTRAST)	1.0356		
FOR SITIO = S3			
CONTRAST	-6.1324	SS (CONTRAST)	6.2677
SCHEFFE'S F	1.95	P (SCHEFFE'S F)	0.0834
T-STATISTIC	-5.92	P (T-STATISTIC)	0.0000
SE (CONTRAST)	1.0356		
FOR SITIO = S4			
CONTRAST	-2.5850	SS (CONTRAST)	1.1137
SCHEFFE'S F	0.35	P (SCHEFFE'S F)	0.9850
T-STATISTIC	-2.50	P (T-STATISTIC)	0.0225
SE (CONTRAST)	1.0356		
FOR SITIO = S5			
CONTRAST	-2.6819	SS (CONTRAST)	1.1988
SCHEFFE'S F	0.37	P (SCHEFFE'S F)	0.9786
T-STATISTIC	-2.59	P (T-STATISTIC)	0.0185
SE (CONTRAST)	1.0356		
FOR SITIO = S6			
CONTRAST	-5.6658	SS (CONTRAST)	5.3503
SCHEFFE'S F	1.66	P (SCHEFFE'S F)	0.1449
T-STATISTIC	-5.47	P (T-STATISTIC)	0.0000
SE (CONTRAST)	1.0356		
FOR SITIO = S7			
CONTRAST	-5.1088	SS (CONTRAST)	4.3499
SCHEFFE'S F	1.35	P (SCHEFFE'S F)	0.2644
T-STATISTIC	-4.93	P (T-STATISTIC)	0.0001
SE (CONTRAST)	1.0356		

ERROR TERM USED: ESPECIE\*ESTACION\*SITIO, 18 DF

**Tabla 30.** Cuadro análisis de contraste para fotosíntesis tomando como principal factor de contraste especie x estación, y agrupado por sitios en la pinada de Guardamar del Segura.

CONTRAST COEFFICIENTS: 7 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1			
FOR SITIO = S1			
CONTRAST	-7.7833	SS (CONTRAST)	1.0818
FOR SITIO = S2			
CONTRAST	2.2961	SS (CONTRAST)	0.0941
FOR SITIO = S3			
CONTRAST	-11.950	SS (CONTRAST)	2.5502
FOR SITIO = S4			
CONTRAST	-7.1140	SS (CONTRAST)	0.9037
FOR SITIO = S5			
CONTRAST	-9.0780	SS (CONTRAST)	1.4716
FOR SITIO = S6			
CONTRAST	-8.8983	SS (CONTRAST)	1.4139
FOR SITIO = S7			
CONTRAST	-10.707	SS (CONTRAST)	2.0470

**Tabla 31.** Cuadro análisis de contraste para fotosíntesis tomando como principal factor de contraste sitio, y agrupado por estaciones.

CONTRAST COEFFICIENTS: 6 -1 -1 -1 -1 -1 -1			
FOR ESTACION = VERANO			
CONTRAST	-0.4609	SS (CONTRAST)	0.0101
SCHEFFE'S F	0.00	P (SCHEFFE'S F)	1.0000
T-STATISTIC	-0.24	P (T-STATISTIC)	0.8146
SE (CONTRAST)	1.9374		
FOR ESTACION = PRIMAVERA			
CONTRAST	-2.3561	SS (CONTRAST)	0.2643
SCHEFFE'S F	0.08	P (SCHEFFE'S F)	1.0000
T-STATISTIC	-1.22	P (T-STATISTIC)	0.2396
SE (CONTRAST)	1.9374		
FOR ESTACION = INVIERNO			
CONTRAST	0.5160	SS (CONTRAST)	0.0127
SCHEFFE'S F	0.00	P (SCHEFFE'S F)	1.0000
T-STATISTIC	0.27	P (T-STATISTIC)	0.7930
SE (CONTRAST)	1.9374		
FOR ESTACION = OTOÑO			
CONTRAST	-1.1831	SS (CONTRAST)	0.0667
SCHEFFE'S F	0.02	P (SCHEFFE'S F)	1.0000
T-STATISTIC	-0.61	P (T-STATISTIC)	0.5490
SE (CONTRAST)	1.9374		

ERROR TERM USED: ESPECIE\*ESTACION\*SITIO, 18 DF



**Tabla 32.** Estadística descriptiva del flujo de CO<sub>2</sub> en los dos árboles predominantes del pinar de Guardamar del Segura: HAL= *Pinus halepensis* Miller y PINEA= *Pinus pinea* L.

MEDIA GENERAL	1.9643	SE	0.0120
---------------	--------	----	--------

## VALORES DE LAS MEDIAS AGRUPADOS POR ESPECIE

SPECIE	MEDIA	SS (MEDIA)
HAL	2.2041	68.557
PINEA	1.7246	41.975
OBSERVATIONS PER CELL		28
STD ERROR OF AN AVERAGE		0.0169
STD ERROR (DIFF OF 2 AVE'S)		0.0239
ERROR TERM USED: SPECIE*SEASON*SITE, 18 DF		

## VALORES DE LAS MEDIAS AGRUPADOS POR ESTACION

ESTACION	MEDIA	SS (MEDIA)
VERANO	1.4003	13.660
PRIMAVERA	1.2414	1.8229
NVIERNO	3.9192	18.802
OTOÑO	1.2964	7.9479
OBSERVATIONS PER CELL		14
STD ERROR OF AN AVERAGE		0.0239
STD ERROR (DIFF OF 2 AVE'S)		0.0339
ERROR TERM USED: SPECIE*SEASON*SITE, 18 DF		

## VALORES DE LAS MEDIAS AGRUPADOS POR SITIO

SITIO	MEDIA	SS (MEDIA)
1	2.2995	17.392
2	1.5825	12.129
3	1.2372	3.9206
4	3.4042	16.034
5	1.2557	4.4464
6	1.7634	18.252
7	2.2080	13.881
OBSERVATIONS PER CELL		8
STD ERROR OF AN AVERAGE		0.0317
STD ERROR (DIFF OF 2 AVE'S)		0.0448
ERROR TERM USED: SPECIE*SEASON*SITE, 18 DF		

**Tabla 33.** Análisis de contrastes del flujo de CO<sub>2</sub> en el suelo, tomando como principal factor de contraste la especie, agrupados por estación. Especie 1= *Pinus halepensis* Miller y Especie 2= *Pinus pinea* L.

CONTRAST COEFFICIENTS: 1 -1			
PARA OTOÑO			
CONTRAST	0.3418	SS (CONTRAST)	0.4089
SCHEFFE'S F	16.99	P (SCHEFFE'S F)	0.0000
T-STATISTIC	7.14	P (T-STATISTIC)	0.0000
SE (CONTRAST)	0.0479		
PARA INVIERNO			
CONTRAST	0.3030	SS (CONTRAST)	0.3213
SCHEFFE'S F	13.35	P (SCHEFFE'S F)	0.0001
T-STATISTIC	6.33	P (T-STATISTIC)	0.0000
SE (CONTRAST)	0.0479		
PARA PRIMAVERA			
CONTRAST	0.9566	SS (CONTRAST)	3.2027
SCHEFFE'S F	133.06	P (SCHEFFE'S F)	0.0000
T-STATISTIC	19.98	P (T-STATISTIC)	0.0000
SE (CONTRAST)	0.0479		
PARA VERANO			
CONTRAST	0.3164	SS (CONTRAST)	0.3504
SCHEFFE'S F	14.56	P (SCHEFFE'S F)	0.0000
T-STATISTIC	6.61	P (T-STATISTIC)	0.0000
SE (CONTRAST)	0.0479		

ERROR TERM USED: SPECIE\*SEASON\*SITE, 18 DF

**Tabla 34.** Análisis de contrastes del flujo de CO<sub>2</sub> en el suelo, tomando como principal factor de contraste la estación, agrupados por sitios. Especie 1= *Pinus halepensis* Miller y Especie 2= *Pinus pinea* L.

CONTRAST COEFFICIENTS: 3 -1 -1 -1			
FOR SITIO = 1			
CONTRAST	-4.9766	SS (CONTRAST)	2.0639
FOR SITIO = 2			
CONTRAST	-2.9867	SS (CONTRAST)	0.7434
FOR SITIO = 3			
CONTRAST	-1.0985	SS (CONTRAST)	0.1006
FOR SITIO = 4			
CONTRAST	1.2143	SS (CONTRAST)	0.1229
FOR SITIO = 5			
CONTRAST	-1.3185	SS (CONTRAST)	0.1449
FOR SITIO = 6			
CONTRAST	-3.7859	SS (CONTRAST)	1.1944
FOR SITIO = 7			
CONTRAST	-2.8410	SS (CONTRAST)	0.6726

**Tabla 35.** Estadística descriptiva de los flujos de CO<sub>2</sub> en las estaciones de referencia de la pinada de Guardamar del Segura.

ESTACION	MEDIA	SS (MEDIA)
OTOÑO	1.4003	6.5285
INVIERNO	1.2414	0.7398
PRIMAVERA	3.9192	7.6853
VERANO	1.2964	3.7430
MEDIA GENERAL	1.9643	SE 0.0981
OBSERVATIONS PER CELL		7
STD ERROR OF AN AVERAGE		0.1962
STD ERROR (DIFF OF 2 AVE'S)		0.2774
ERROR TERM USED: ESTACION*SITIO, 18 DF		

**Tabla 36.** Estadística descriptiva de los flujos de CO<sub>2</sub> en los sitios de referencia de la pinada de Guardamar del Segura.

ESTACION	MEDIA	SS (MEDIA)
1	2.2995	8.2579
2	1.5825	5.8284
3	1.2372	1.8417
4	3.4042	7.2190
5	1.2557	2.0980
6	1.7634	8.8093
7	2.2080	6.5526
OBSERVATIONS PER CELL		4
STD ERROR OF AN AVERAGE		0.2595
STD ERROR (DIFF OF 2 AVE'S)		0.3670
ERROR TERM USED: ESTACION*SITIO, 18 DF		

## Anexo 5: Tablas de análisis de varianzas de la comparación de medias del flujo de savia en árboles de pinos de Guardamar del Segura.

**Tabla 1.** Análisis de varianza ONE-WAY para dos grupos de flujo de savia en el año 2002 y 2003 en *Pinus halepensis* y *P. pinea* agrupado por los factores de análisis.

ORIGEN	gl	SC	MS	F	P
ENTRE	3	0.00493	0.00164	20.08	0.0000
DENTRO	752	0.06159	8.191E-05		
TOTAL	755	0.06653			

**Tabla 2.** Comparación de medias utilizando LSD (diferencia mínima significativa) ( $\alpha=0.05$ ) para dos grupos de flujo de savia en el año 2002 y 2003 en *Pinus halepensis* y *P. pinea* agrupado por los factores de análisis.

VARIABLES	MEDIAS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
P2002	0.0108	I
H2002	0.0101	I
P2003	5.909E-03	.. I
H2003	4.966E-03	.. I
CRITICAL T VALUE		2.582 REJECTION LEVEL
0.010		
CRITICAL VALUE FOR COMPARISON		2.404E-03
STANDARD ERROR FOR COMPARISON		9.310E-04

**Tabla 3.** Análisis de varianza múltiple para el flujo de savia en el año 2002 en *Pinus pinea* agrupado en los factores mes y tiempo.

ORIGEN	gl	SC	MS	F	P
MES (A)	6	0.00394	6.558E-04	111.28	0.0000
TIEMPO (B)	13	0.01538	0.00118	200.70	0.0000
A*B	78	0.00428	5.488E-05	9.31	0.0000
RESIDUAL	91	5.363E-04	5.894E-06		
TOTAL	188	0.02413			

**Tabla 4.** Comparación de medias utilizando LSD (diferencia mínima significativa) ( $\alpha=0.05$ ) del flujo de savia en los meses del año 2002 en *P. pinea*.

VARIABLES	MEDIAS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
may	0.0203	I
jun	0.0123	.. I
mar	0.0103	.... I
jul	9.34E-03	.... I
feb	7.57E-03	..... I
ago	7.07E-03	..... I I
ene	6.13E-03	..... I
CRITICAL T VALUE		1.986 REJECTION LEVEL
0.050		
CRITICAL VALUE FOR COMPARISON		1.288E-03
STANDARD ERROR FOR COMPARISON		6.488E-04

**Tabla 5.** Análisis de varianza múltiple para el flujo de savia en el año 2003 en *Pinus pinea* agrupado en los factores mes y tiempo.

ORIGEN	gl	SC	MS	F	P
MES (A)	6	0.00296	4.926E-04	79.55	0.0000
TIEMPO (B)	13	0.00495	3.804E-04	61.44	0.0000
A*B	78	0.00282	3.620E-05	5.85	0.0000
RESIDUAL	91	5.635E-04	6.192E-06		
TOTAL	188	0.01129			

**Tabla 6.** Comparación de medias utilizando LSD (diferencia mínima significativa) ( $\alpha=0.05$ ) del flujo de savia en los meses del año 2003 en *P. pinea*.

VARIABLES	MEDIAS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
may	0.0138	I
jun	7.81E-03	.. I
jul	6.74E-03	.. I
ene	4.04E-03	.... I
mar	3.35E-03	.... I I
ago	2.17E-03	..... I
feb	2.01E-03	..... I
CRITICAL T VALUE		2.631 REJECTION LEVEL
0.010		
CRITICAL VALUE FOR COMPARISON	1.750E-03	
STANDARD ERROR FOR COMPARISON	6.650E-04	

**Tabla 7.** Análisis de varianza múltiple para el flujo de savia en el año 2002 en *Pinus halepensis* agrupado en los factores mes y tiempo.

ORIGEN	gl	SC	MS	F	P
MES (A)	6	0.00112	1.862E-04	26.25	0.0000
TIEMPO (B)	13	0.01473	0.00113	159.64	0.0000
A*B	78	0.00426	5.464E-05	7.70	0.0000
RESIDUAL	91	6.458E-04	7.096E-06		
TOTAL	188	0.02075			

**Tabla 8.** Comparación de medias utilizando LSD (diferencia mínima significativa) ( $\alpha=0.05$ ) del flujo de savia en los meses del año 2002 en *P. halepensis*.

VARIABLES	MEDIAS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
jul	0.0138	I
may	0.0123	I I
feb	0.0108	.. I
ago	8.67E-03	.... I
jun	8.43E-03	.... I
ene	7.61E-03	.... I
mar	6.82E-03	.... I
CRITICAL T VALUE		2.631 REJECTION LEVEL
0.010		
CRITICAL VALUE FOR COMPARISON	1.873E-03	
STANDARD ERROR FOR COMPARISON	7.120E-04	

**Tabla 9.** Análisis de varianza múltiple para el flujo de savia en el año 2003 en *Pinus halepensis* agrupado en los factores mes y tiempo.

ORIGEN	gl	SC	MS	F	P
MES (A)	6	3.550E-04	5.917E-05	33.99	0.0000
TIEMPO (B)	13	0.00508	3.910E-04	224.58	0.0000
A*B	78	0.00169	2.161E-05	12.41	0.0000
RESIDUAL	91	1.584E-04	1.741E-06		
TOTAL	188	0.00728			

**Tabla 10.** Comparación de medias utilizando LSD (diferencia mínima significativa) ( $\alpha=0.05$ ) del flujo de savia en los meses del año 2003 en *P. halepensis*.

VARIABLES	MEDIAS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
ago	6.53E-03	I
may	6.01E-03	I I
ene	5.83E-03	I I
feb	5.23E-03	.. I
jul	3.74E-03	.... I
mar	3.19E-03	.... I
jun	3.00E-03	.... I
CRITICAL T VALUE		2.631
0.010		REJECTION LEVEL
CRITICAL VALUE FOR COMPARISON		9.278E-04
STANDARD ERROR FOR COMPARISON		3.526E-04

**Tabla 11.** Regresión lineal de mínimos cuadrados del área de la sección del tronco con relación a los componentes del árbol.

Variable predictor	Coficiente	Std error	t de student	p	VIF
Constante	10.6053	8.54214	1.24	0.2544	
Acículas	2.29235	2.60465	0.88	0.408	13
Ramas delgadas	-0.25329	2.79331	-0.09	0.9303	14.1
Ramas gruesas	2.27598	3.47239	0.66	0.5331	24.1
Tronco	4.52798	2.66614	1.7	0.1333	15.2
R2	0.9568	Desviación estándar		6.37852	
R2 ajustado	0.9321				
Origen	GL	SC	CM	F	P
Regresión	4	6308.14	1577.04	38.76	0.0001
Residual	7	284.798	40.6855		
Total	11	6592.94			

## Anexo 6.

Tabla 1. Base de datos de las variables del balance de aguas de Guardamar del Segura de los años 2001, 2002, 2003.

DOY	Fecha	P (mm)	Pe (mm)	R (mm)	Aq (mm)	ΔS (mm)	T (mm)	Ev (mm)	ETR (mm)	I (mm)
317	13/11/2001	35.0	30.0	0.80		18.9	4.7	1.3	6.0	10.89
323	19/11/2001	7.0	5.7	0.20	15.44	17.9	3.6	1.1	4.7	
327	23/11/2001	22.0	18.4	0.00		14.3	3.4	1.5	4.9	2.86
345	11/12/2001	20.0	16.8	0.00		11.3	3.3	1.5	4.8	3.90
353	19/12/2001	15.5	11.7	0.00	3.95	13.6	5.3	0.6	5.9	
358	23/12/2001	23.5	17.0	0.00		11.3	4.3	0.3	4.5	7.70
361	27/12/2001	52.0	42.4	0.00		28.7	3.1	1.1	4.2	19.14
363	29/12/2001	0.0	0.0	0.00	35.83	32.4	2.9	0.6	3.4	
6	06/01/2002	0.0	0.0	0.00	19.22	13.8	5.0	0.4	5.4	
7	07/01/2002	7.0	5.1	0.00	17.30	19.6	4.3	0.4	4.7	
15	15/01/2002	0.0	0.0	0.83	20.14	16.4	4.0	0.6	4.6	
21	21/01/2002	0.0	0.0	0.49	13.51	11.3	2.5	0.1	2.7	
22	22/01/2002	0.0	0.0	0.76	14.05	11.4	2.5	0.9	3.4	
23	23/01/2002	0.0	0.0	0.23	16.08	11.8	4.0	0.6	4.5	
29	29/01/2002	0.0	0.0	0.19	14.64	11.0	3.1	0.7	3.8	
30	30/01/2002	0.0	0.0	0.98	13.13	10.1	3.5	0.6	4.0	
31	31/01/2002	0.0	0.0	0.11	12.88	9.5	3.1	0.4	3.5	
32	01/02/2002	0.0	0.0	0.73	10.10	8.6	1.9	0.4	2.2	
34	03/02/2002	0.0	0.0	0.00	10.13	8.6	1.5	0.0	1.5	
35	04/02/2002	0.0	0.0	0.11	8.95	7.8	1.2	0.1	1.3	
36	05/02/2002	0.0	0.0	0.61	8.95	7.9	1.2	0.5	1.7	
37	06/02/2002	0.0	0.0	0.00	8.02	6.0	1.6	0.5	2.0	
38	07/02/2002	0.0	0.0	0.00	9.13	7.0	1.7	0.5	2.1	
39	08/02/2002	0.0	0.0	0.00	8.34	6.5	1.5	0.4	1.8	
40	09/02/2002	0.0	0.0	0.00	8.84	6.8	1.6	0.5	2.0	
41	10/02/2002	0.0	0.0	0.00	9.32	6.3	2.4	0.6	3.0	
43	12/02/2002	0.0	0.0	0.11	11.05	7.0	3.5	0.6	4.2	
45	14/02/2002	0.0	0.0	0.78	9.90	6.7	3.4	0.6	4.0	
51	20/02/2002	0.0	0.0	0.73	10.21	6.7	3.6	0.6	4.2	
53	22/02/2002	0.0	0.0	0.30	10.49	6.5	3.6	0.7	4.3	
56	25/02/2002	0.0	0.0	0.61	10.42	6.3	4.0	0.8	4.7	
64	04/03/2002	12.5	9.9	0.00		6.0	3.4	0.1	3.5	3.05
65	05/03/2002	5.0	3.9	0.00	7.68	8.9	3.4	0.4	3.8	
68	09/03/2002	3.5	2.6	0.00	9.90	10.1	3.2	0.1	3.3	
70	11/03/2002	0.0	0.0	0.52	13.16	9.2	4.1	0.3	4.5	
71	12/03/2002	0.0	0.0	0.73	12.09	9.3	3.2	0.4	3.5	
72	13/03/2002	0.0	0.0	0.61	8.95	6.8	2.5	0.3	2.8	
73	14/03/2002	0.0	0.0	0.52	12.59	8.7	4.1	0.3	4.4	

DOY	Fecha	P (mm)	Pe (mm)	R (mm)	Aq (mm)	ΔS (mm)	T (mm)	Ev (mm)	ETR (mm)	I (mm)
77	18/03/2002	0.0	0.0	0.00	15.81	11.0	4.4	0.4	4.8	
79	20/03/2002	0.0	0.0	0.76	14.11	10.3	3.6	0.9	4.6	
80	21/03/2002	0.0	0.0	0.00	14.85	10.0	4.3	0.5	4.8	
81	22/03/2002	0.0	0.0	0	13.73	9.8	3.1	0.8	3.9	
82	23/03/2002	0.0	0.0	0.00	12.92	9.6	3.1	0.3	3.3	
83	24/03/2002	0.0	0.0	0.00	14.77	9.7	4.4	0.7	5.1	
86	27/03/2002	0.0	0.0	0.02	14.19	9.6	3.7	0.9	4.6	
87	28/03/2002	0.0	0.0	0.00	15.10	10.3	4.5	0.3	4.8	
88	29/03/2002	0.0	0.0	0.00	12.30	9.1	2.8	0.4	3.2	
89	30/03/2002	8.0	6.7	0	4.83	8.6	3.5	0.7	4.2	
92	02/04/2002	50.0	41.3	0.00		33.1	4.1	0.5	4.6	12.32
98	08/04/2002	4.0	3.0	0	40.16	38.5	4.7	1.0	5.7	
100	10/04/2002	0.0	0.0	0.4	31.38	25.2	5.8	0.8	6.6	
103	13/04/2002	9.0	7.0	0	19.39	21.1	6.0	1.3	7.3	
107	17/04/2002	0.0	0.0	0.6	22.96	15.0	6.8	1.7	8.5	
108	18/04/2002	20.0	17.4	0		12.8	5.8	1.1	6.8	0.37
112	22/04/2002	0.0	0.0	0.42	43.19	36.4	6.3	0.9	7.2	
113	23/04/2002	0.0	0.0	0.89	30.89	25.3	5.2	1.3	6.5	
115	25/04/2002	0.0	0.0	0.73	23.90	16.3	7.0	1.3	8.3	
120	30/04/2002	0.0	0.0	0.30	22.44	15.0	6.5	1.2	7.8	
122	02/05/2002	21.5	18.5	0	6.20	19.2	6.4	2.1	8.5	
127	07/05/2002	32.0	26.3	0		20.8	6.9	2.6	9.5	1.65
131	11/05/2002	1.3	1.0	0	23.68	16.3	5.9	2.7	8.6	
148	28/05/2002	0.0	0.0	0.41	19.45	13.3	3.9	2.6	6.5	
149	29/05/2002	0.0	0.0	0.45	14.16	8.9	3.0	2.7	5.7	
154	03/06/2002	0.0	0.0	0.11	10.92	6.6	1.7	2.7	4.4	
162	04/06/2002	0.0	0.0	0.34	9.87	6.4	1.0	2.9	3.8	
169	05/06/2002	0.0	0.0	0.52	9.63	6.4	0.7	3.0	3.7	
155	11/06/2002	2.0	1.6	0.00	9.13	5.7	2.4	3.0	5.4	
156	18/06/2002	2.5	1.9	0.00	8.23	4.5	3.3	2.9	6.2	
173	22/06/2002	0.0	0.0	0.00	8.47	3.9	1.4	3.2	4.6	
182	01/07/2002	11.0	8.4	0.00	2.17	9.3	0.8	3.0	3.9	
183	02/07/2002	0.0	0.0	0.11	17.41	12.3	1.9	3.3	5.2	
184	03/07/2002	0.0	0.0	0.30	11.92	8.3	0.8	3.1	3.9	
185	04/07/2002	0.0	0.0	0.73	13.18	9.6	1.0	3.2	4.3	
189	08/07/2002	0.0	0.0	0.39	11.66	8.3	0.5	3.3	3.8	
200	19/08/2002	0.0	0.0	0.70	8.45	5.3	0.0	3.8	3.8	
238	26/08/2002	19.0	15.3	0.00		9.9	0.8	3.8	4.6	4.51
241	29/08/2002	3.5	2.4	0.00	13.23	12.6	0.2	4.0	4.1	
242	30/08/2002	0.0	0.0	0.20	10.72	6.6	0.9	3.4	4.3	
252	09/09/2002	0.0	0.0	0.57	10.56	8.9	0.0	2.2	2.2	
253	10/09/2002	0.0	0.0	0.36	10.91	8.3	0.0	3.0	3.0	
255	12/09/2002	0.0	0.0	0.52	8.41	6.3	0.0	2.6	2.6	

DOY	Fecha	P (mm)	Pe (mm)	R (mm)	Aq (mm)	$\Delta S$ (mm)	T (mm)	Ev (mm)	ETR (mm)	I (mm)
261	18/09/2002	0.0	0.0	0.30	8.08	5.3	0.8	2.3	3.1	
263	20/09/2002	0.0	0.0	0.64	7.26	4.3	1.2	2.4	3.6	
266	23/09/2002	0.0	0.0	0.20	8.45	5.1	1.3	2.2	3.6	
275	02/10/2002	2.0	1.5	0	7.93	6.2	1.5	2.2	3.7	
276	03/10/2002	4.5	3.3	0	8.00	8.6	1.8	2.1	3.9	
281	08/10/2002	1.0	0.5	0	7.74	4.6	1.9	2.2	4.1	
315	12/11/2002	0.0	0.0	0	8.11	4.2	1.9	2.0	3.9	
318	14/11/2002	3.5	2.3	0	6.90	6.9	1.9	1.6	3.5	
319	15/11/2002	3.9	2.5	0	10.10	9.0	3.8	1.1	5.0	
324	20/11/2002	3.0	1.1	0	9.33	8.0	2.4	1.9	4.3	
329	25/11/2002	4.6	3.3	0	8.79	9.6	2.7	1.1	3.8	
333	29/11/2002	2.0	1.4	0	14.72	11.4	3.8	1.5	5.4	
336	02/12/2002	0.0	0.0	0.76	13.45	10.2	2.9	1.1	4.0	
343	09/12/2002	0.0	0.0	0.52	14.82	9.2	4.9	1.2	6.1	
344	10/12/2002	0.0	0.0	0.30	14.03	7.6	5.2	1.5	6.7	
353	19/12/2002	12.5	9.8	0.00	10.76	16.6	5.8	0.9	6.6	
357	23/12/2002	0.0	0.0	0.11	19.63	13.8	5.5	0.5	5.9	
360	26/12/2002	0.0	0.0	0.52	15.91	11.3	4.5	0.7	5.1	
364	30/12/2002	0.0	0.0	0.15	14.22	8.9	4.5	1.0	5.5	
7	07/01/2003	6.9	5.9	0	5.41	7.0	4.9	0.4	5.3	
10	10/01/2003	20.1	16.4	0		9.2	4.1	0.8	4.9	5.97
13	13/01/2003	5.9	3.7	0	13.95	15.8	3.3	0.8	4.1	
30	30/01/2003	0.0	0.0	0	14.75	11.1	3.1	0.6	3.6	
43	12/02/2003	2.7	0.7	0	9.77	9.5	2.3	0.6	3.0	
57	26/02/2003	6.7	4.7	0.76	1.12	5.7	2.2	0.6	2.8	
59	28/02/2003	2.6	1.4	0.52	5.86	5.2	2.8	0.9	3.7	
64	05/03/2003	0.0	0.0	0.03	11.05	7.6	3.0	0.5	3.5	
86	27/03/2003	0.0	0.0	0.00	10.28	6.1	3.3	0.9	4.2	
106	16/04/2003	29.5	25.5	0.14	3.83	28.3	3.7	1.5	5.2	
107	17/04/2003	1.0	0.7	0.52	25.43	21.8	3.4	1.8	5.1	
118	28/04/2003	1.0	0.7	0.15	15.65	12.6	3.2	1.0	4.2	
126	06/05/2003	59.5	48.2	0		32.7	3.6	1.9	5.5	21.26
128	08/05/2003	12.8	10.5	0		6.1	3.8	1.3	5.0	1.63
156	05/06/2003	0.0	0.0	0	10.29	3.6	4.4	2.3	6.7	
191	10/07/2003	0.0	0.0	1.01	9.29	2.3	5.0	3.0	8.0	
209	28/07/2003	0.0	0.0	1.02	9.93	2.9	4.8	3.2	8.0	
210	29/07/2003	0.0	0.0	2.02	7.54	1.7	4.8	3.0	7.8	
219	07/08/2003	0.0	0.0	2.01	8.42	2.3	4.3	3.8	8.1	
230	18/08/2003	0.0	0.0	1.52	9.12	2.5	4.4	3.8	8.1	
	Suma	572.2	458.6	33.9	1379.6	1330.5	390.3	169.6	559.9	95.3
	Entradas	1890.4		1985.7					559.9	
	Salidas	-1890.4		1985.7						



**Anexo 7:** Figuras de contenido de humedad gravimétrica según USDA 1988.

**Figura 1.** Capacidad de campo y punto de marchitez permanente en un suelo de textura arenoso a franco arenoso

USDA SOIL TEXTURE

Sands

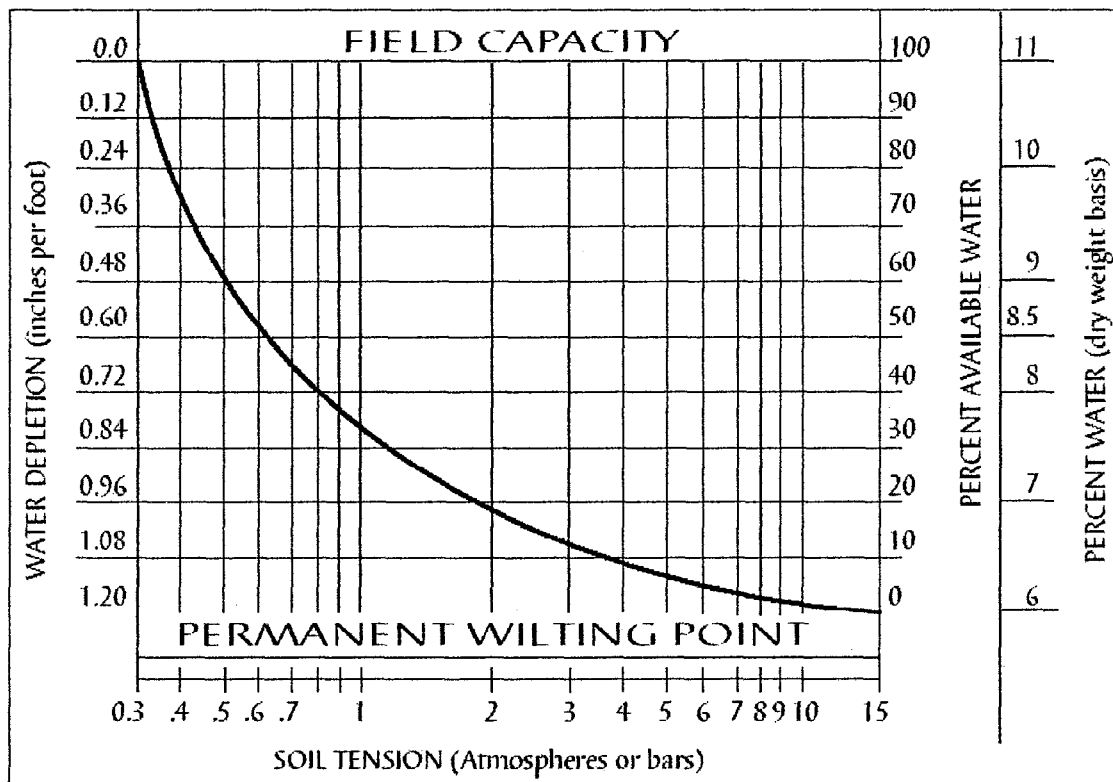
Loamy Sands

\_\_\_\_\_

BULK DENSITY (g/cm )

Range 1.6 - 1.8

Average 1.7



**Figura 2.** Capacidad de campo y punto de marchitez permanente en un suelo de textura arcillo arenoso a arcillo limoso

USDA SOIL TEXTURE

Sandy Clay

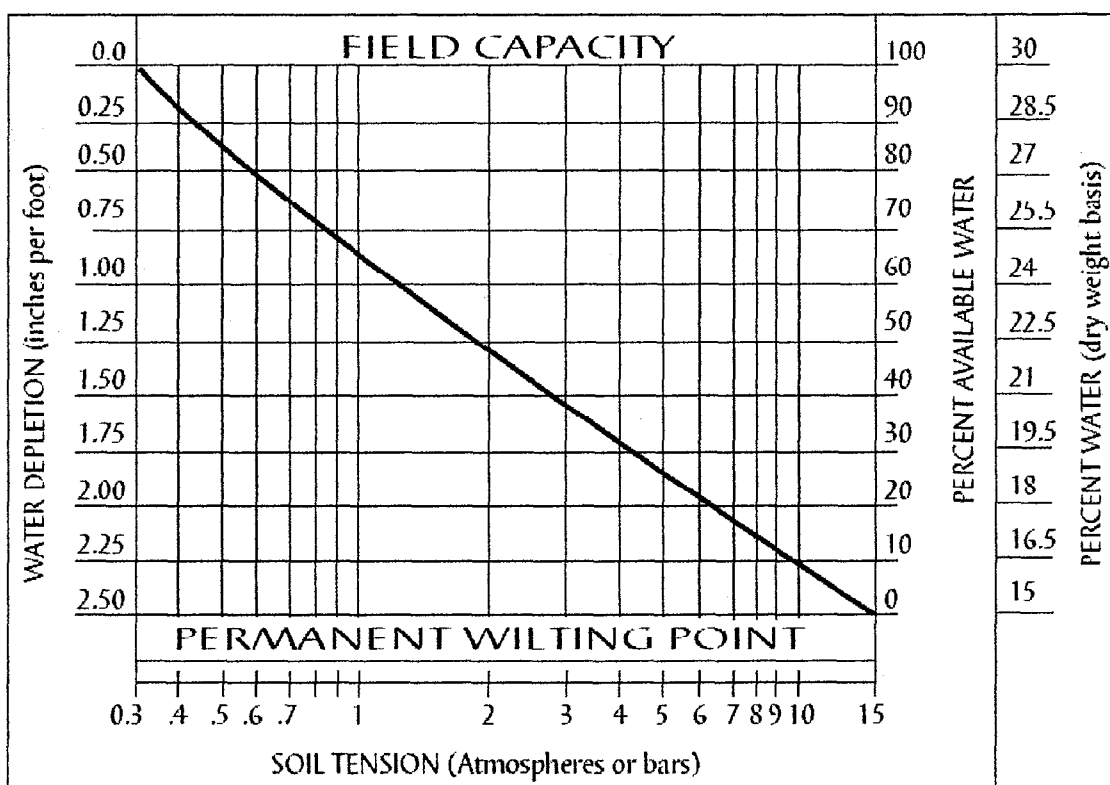
Silty Clay

\_\_\_\_\_

BULK DENSITY (g/cm )

Range 1.25 - 1.35

Average 1.3



**Figura 3.** Capacidad de campo y punto de marchitez permanente en un suelo de textura arenoso margoso

USDA SOIL TEXTURE

Sandy Loam

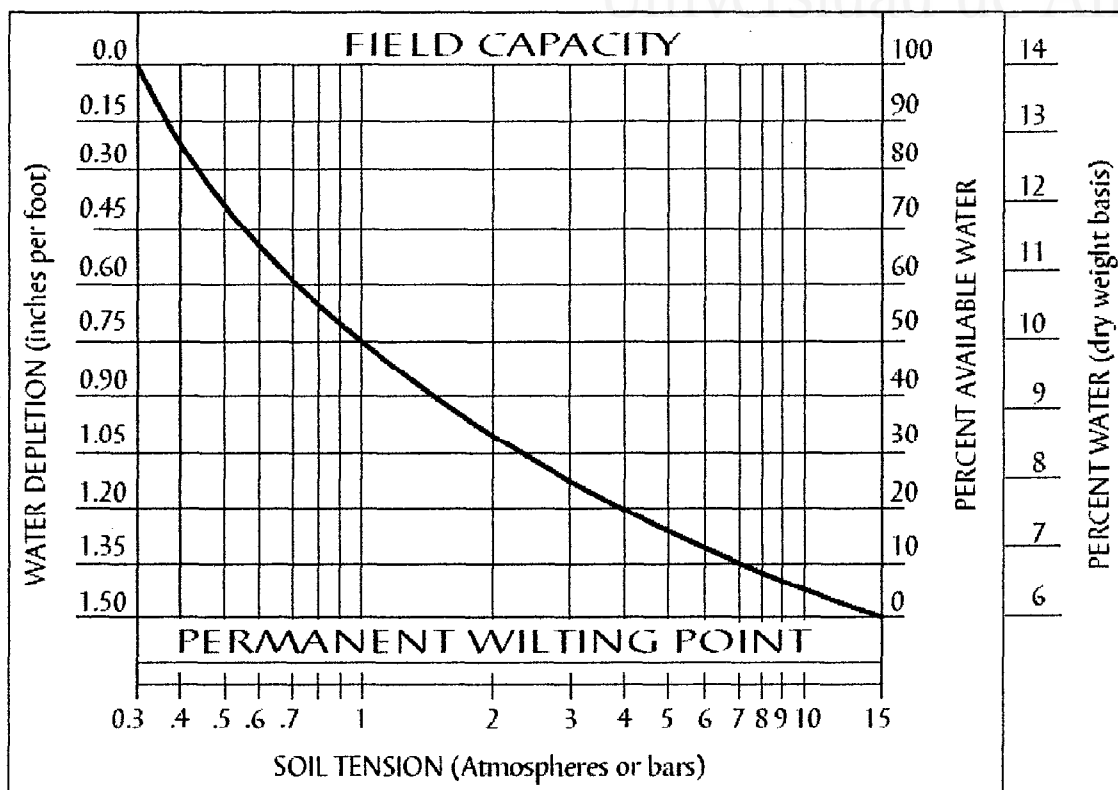
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

BULK DENSITY (g/cm )

Range 1.4 - 1.6

Average 1.5



Anexo 8: Figuras de contenido de humedad gravimétrica

Figura 1. Curvas de retención de agua en sucesivos días en el sitio 1 (S1) que es el punto cero, o de referencia. Este está ubicado a 100 metros perpendicular a la línea de la costa.

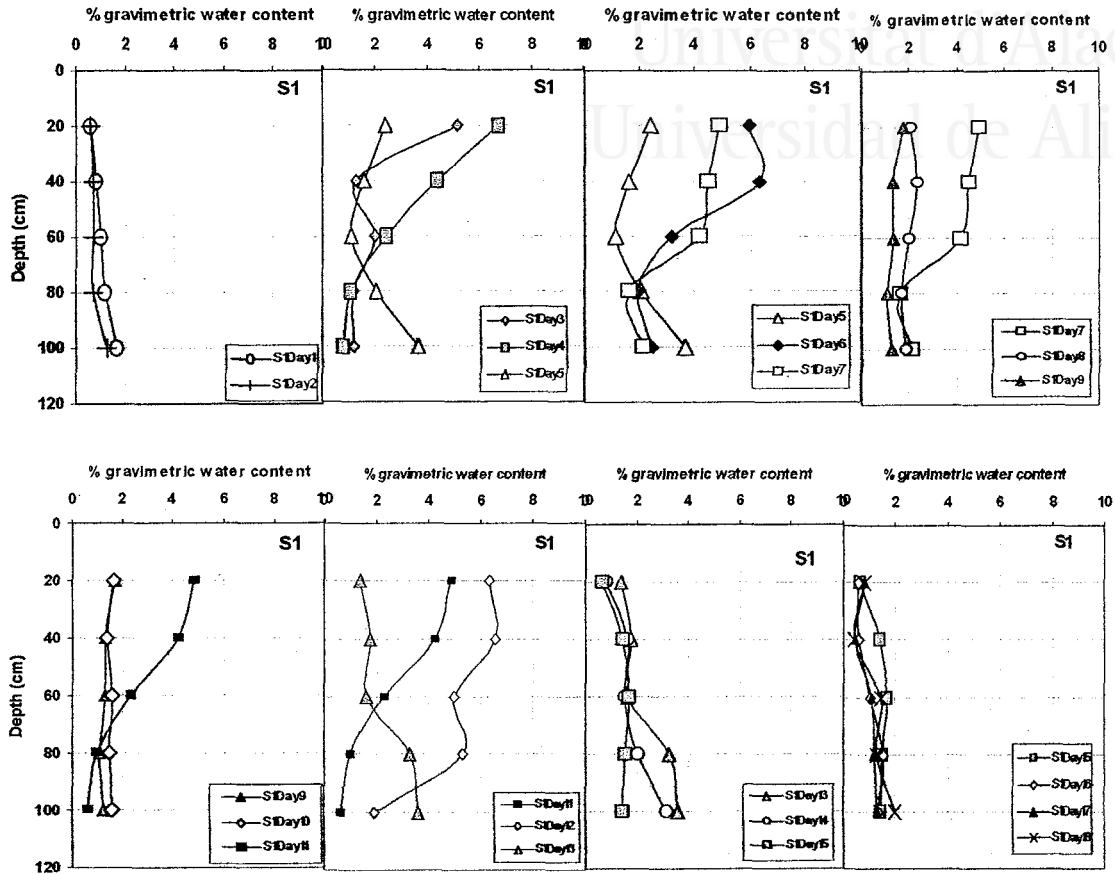
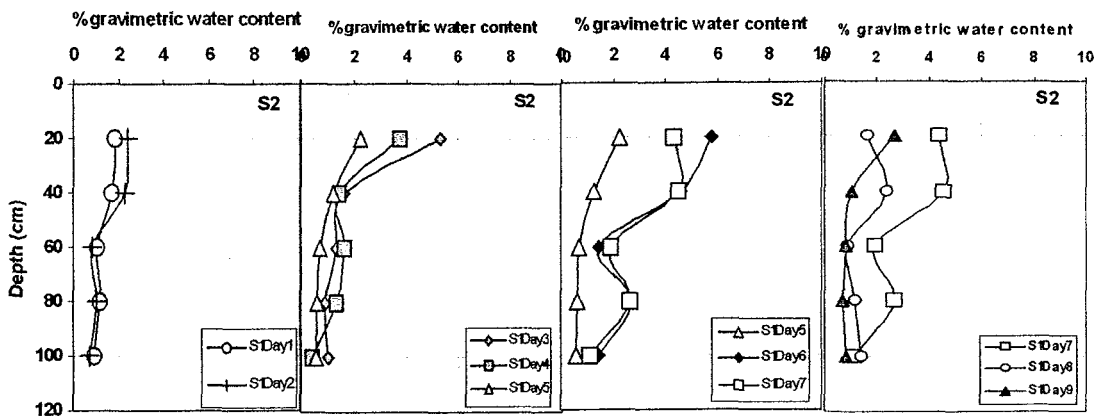


Figura 2. Curvas de retención de agua en sucesivos días en el sitio 2 (S2) que es un punto a 141 m a partir del punto de referencia.



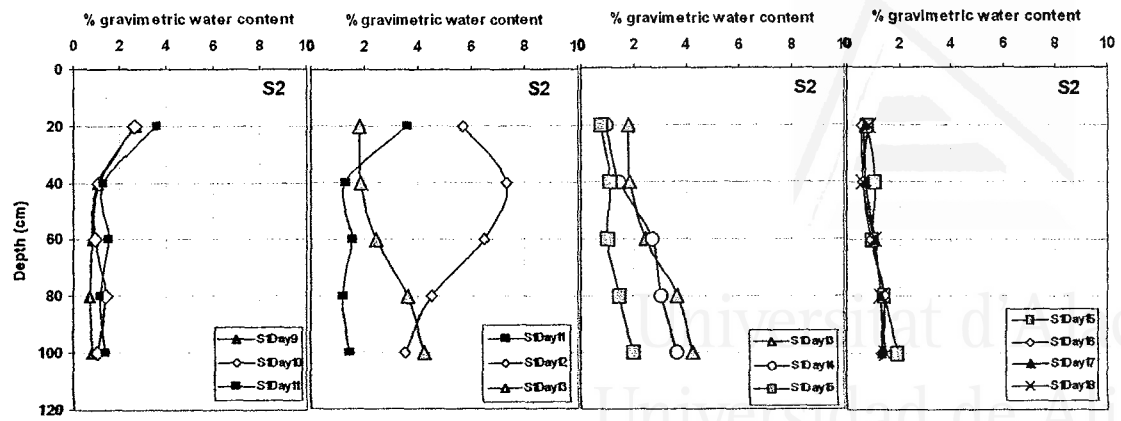


Figura 3. Curvas de retención de agua en sucesivos días en el sitio 3 (S3) que es un punto a 182 m a partir del punto de referencia.

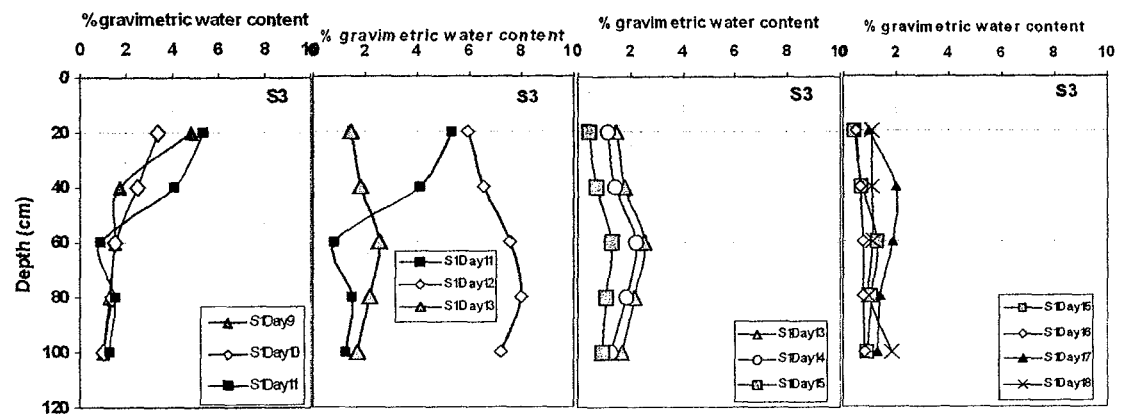
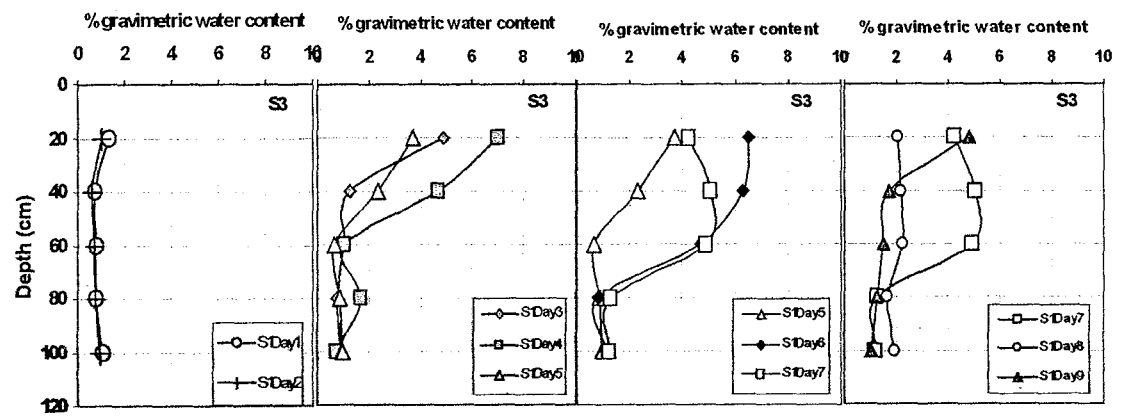


Figura 4. Curvas de retención de agua en sucesivos días en el sitio 4 (S4) que es un punto a 223 m a partir del punto de referencia.

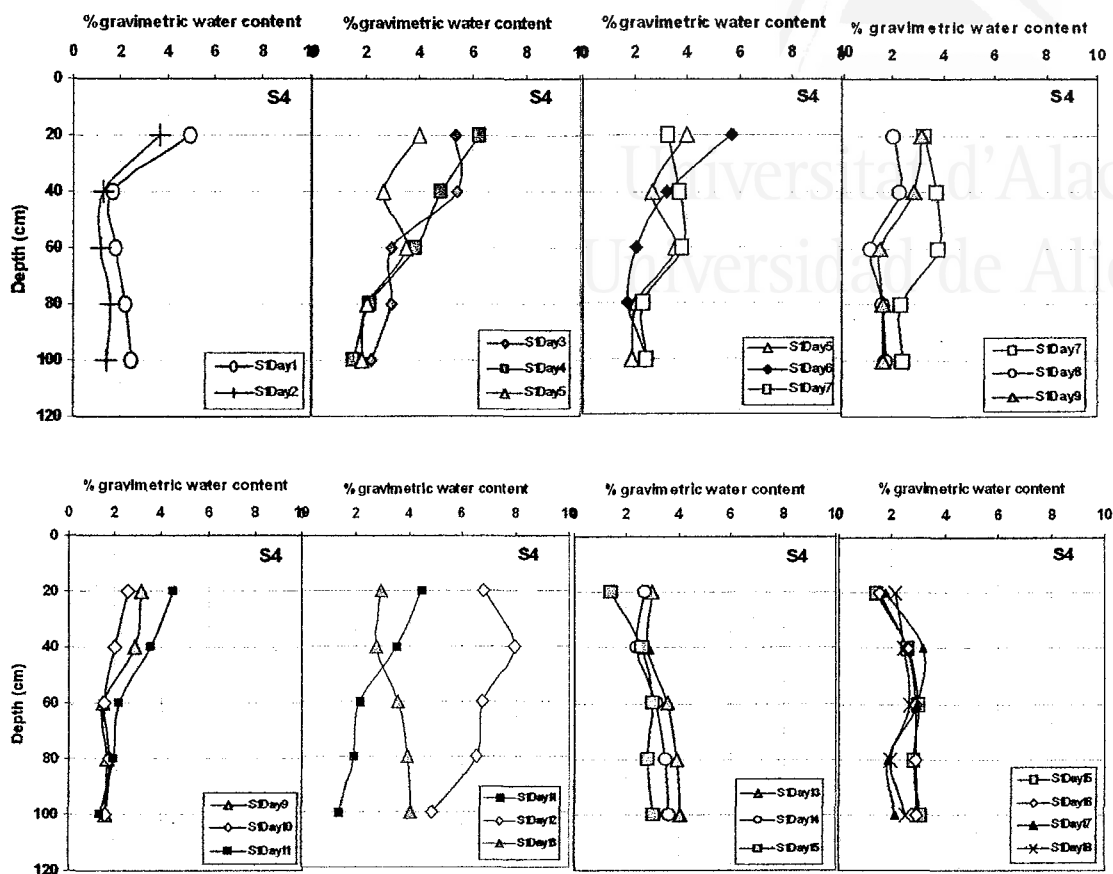
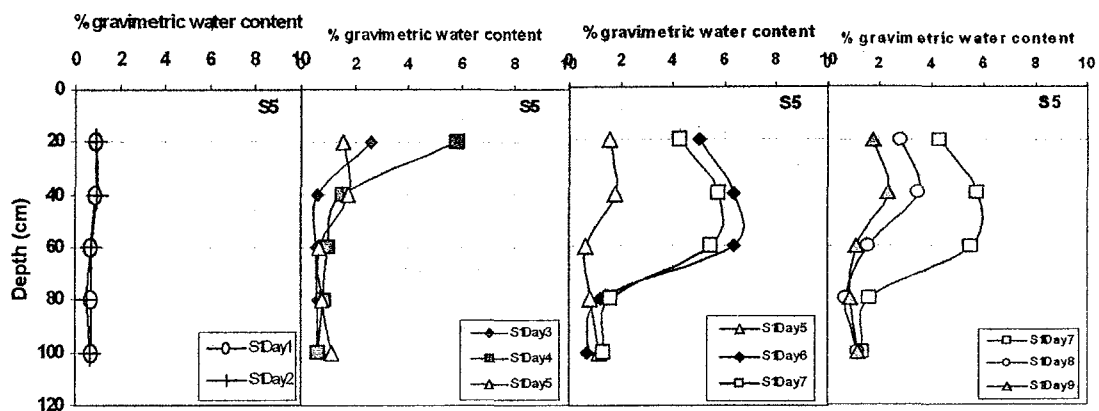


Figura 5. Curvas de retención de agua en sucesivos días en el sitio 5 (S5) que es un punto a 268 m a partir del punto de referencia.



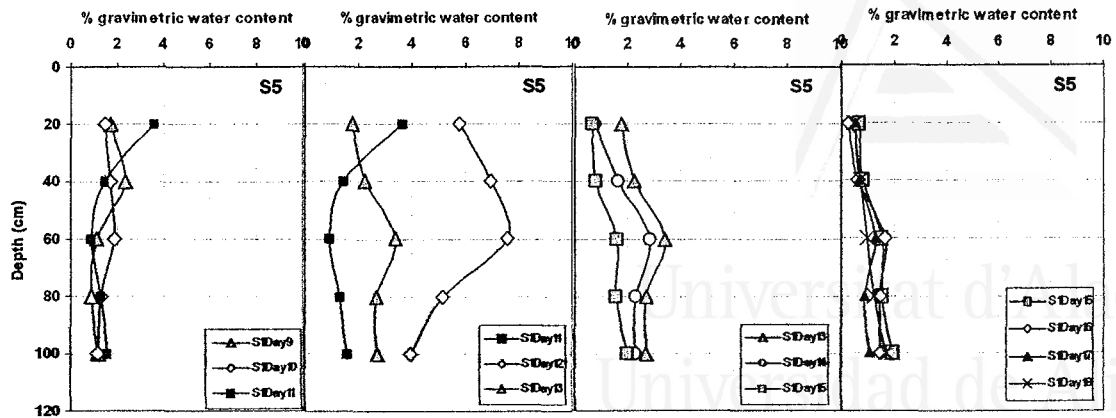


Figura 6. Curvas de retención de agua en sucesivos días en el sitio 6 (S6) que es un punto a 315 m a partir del punto de referencia.

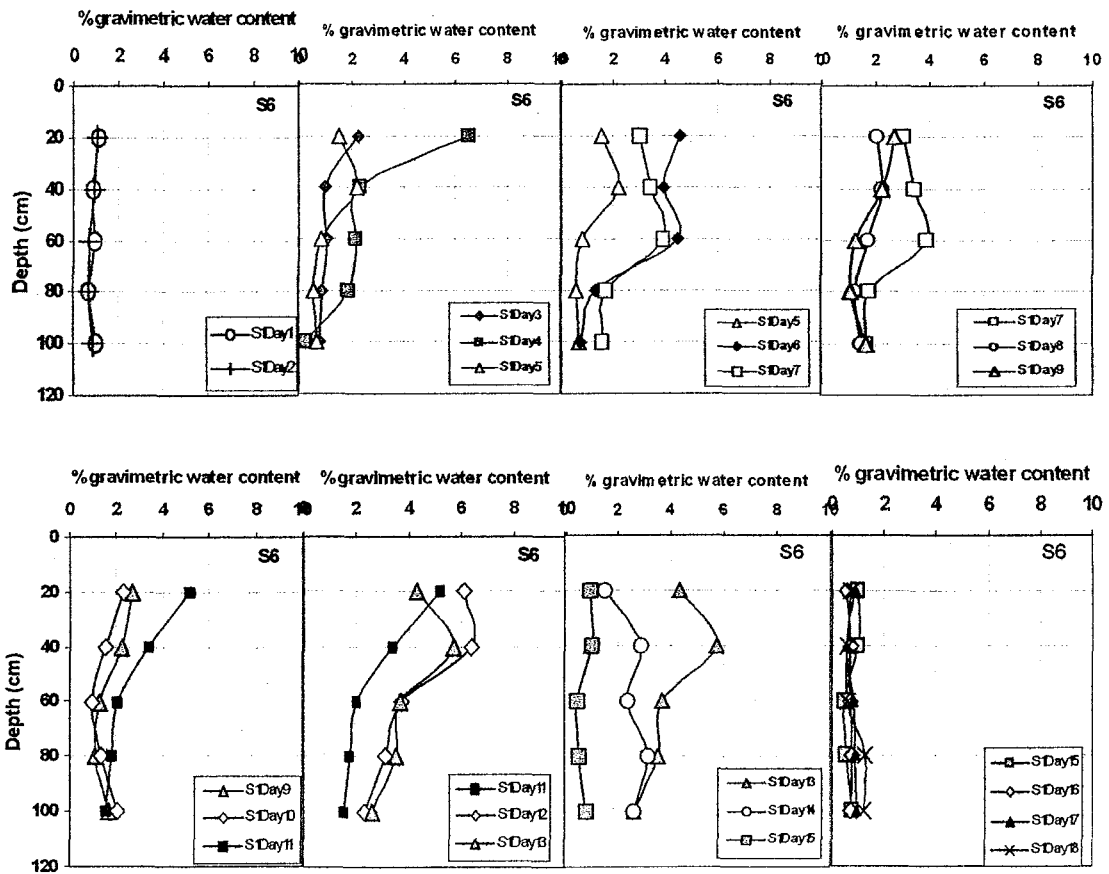


Figura 7. Curvas de retención de agua en sucesivos días en el sitio 7 (S7) que es un punto a 365 m a partir del punto de referencia.

