

## **Análisis espacio-temporal de la regeneración en el pinsapar de Grazalema: factores implicados**

Abellanas, B.<sup>1</sup>, Cuadros, S.<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Dpto. Ingeniería Forestal. ETSIAM. Universidad de Córdoba.  
Campus de Rabanales. Edif. Leonardo da Vinci. Ctra. N-IVa, km 396. 14071 Córdoba.  
e-mail (para correspondencia): irlaboab@uco.es*

---

### **Resumen**

Se estudia el comportamiento espacial y temporal de la regeneración en el pinsapar de Grazalema, considerando como componentes independientes la fase de plántula y la fase de regenerado consolidado o a la espera. Se analiza el comportamiento espacio-temporal de los diferentes componentes del regenerado en relación con las variables meteorológicas y la estructura del dosel arbóreo. Se estudian los datos de siete inventarios realizados entre los años 1997 y 2007 en parcelas permanentes del pinsapar. Como factores influyentes se analizan el comportamiento meteorológico de los años previos, las características estructurales de la masa adulta, y el efecto de la exclusión de los herbívoros en parcelas malladas. Los resultados ponen de manifiesto que la dinámica del regenerado en el pinsapar comprende sucesos con ritmos temporales y factores espaciales diferentes: las primeras etapas de la regeneración, desde la floración hasta el establecimiento inicial de las plántulas, presentan una gran variabilidad interanual y una alta dependencia de los factores meteorológicos, mientras el regenerado a la espera de mayor tamaño se presenta como un componente más estable en el tiempo y más ligado a las características del dosel arbóreo. El análisis de la exclusión del herbivorismo no ha arrojado resultados concluyentes.

**Palabras clave:** *Plántulas. Regenerado a la espera. Meteorología. Estructura del dosel arbóreo.*

---

### **1. Introducción**

La regeneración de especies arbóreas se asienta en elementos endógenos, pero sobre todo se ve influenciada por factores ambientales. La aparición y supervivencia de nuevas plantas está condicionada por diversidad de circunstancias entre las que,

ciertos meteoros y la estructura espacial de la vegetación, desempeñan un importante papel. Varios trabajos en el ámbito boreal, relacionan regeneración con luminosidad, a su vez función de la estructura del dosel arbóreo (Messier *et al.*, 1999; Van Pelt y Franklin, 2000; Chantal *et al.*, 2003; Newsome *et al.*, 2010; Lochhead y Comeau, 2012). En España, Matías *et al.*, (2012) estudiaron la influencia de las precipitaciones en el reclutamiento de 8 especies leñosas mediterráneas, mientras Castro *et al.*, (2005) simularon experimentalmente el efecto de la precipitación y la luminosidad en el estudio de la germinación, supervivencia y desarrollo de *Pinus sylvestris* L. en el límite meridional de la especie. Ruano *et al.*, (2009), hicieron lo propio con *Pinus pinaster* Ait. en Segovia.

El pinsapo como especie relíctica del montano mediterráneo en España, es especialmente interesante en este aspecto, dada su restringida área de distribución y las potenciales amenazas físicas y biológicas que se ciernen sobre la misma. El manejo de estos valiosos bosques requiere un conocimiento adecuado de los procesos implicados en su regeneración. La silvicultura se ha ocupado tradicionalmente de la regeneración poniendo especial énfasis en el manejo de la masa adulta para crear las condiciones adecuadas para la incorporación de nuevas plantas. Pero los procesos implicados son complejos y altamente dependientes de las estrategias vitales de las especies implicadas.

## 2. Objetivos

El objetivo del trabajo es contrastar la hipótesis de partida sobre la diferente implicación de la meteorología, como variable de alta frecuencia, y la estructura y dinámica del dosel arbóreo, como factor de baja frecuencia de cambio, sobre la dinámica de la regeneración del pinsapar.

## 3. Material y métodos

### 3.1. Inventarios de regeneración y dasométricos

Para el estudio se ha empleado un dispositivo experimental permanente establecido en el pinsapar de Grazalema el año 1997 (Coca *et al.*, 2001, Abellanas *et al.*, 2003; Cuadros *et al.*, 2003) consistente en 8 parcelas rectangulares de 2.100 m<sup>2</sup>. De este dispositivo se han seleccionado 16 subparcelas de 525 m<sup>2</sup> para constituir el dispositivo experimental del estudio que se presenta aquí, cuyo objetivo es analizar el proceso de regeneración del pinsapo. La mitad de estas parcelas se mallaron para evitar el acceso de los grandes herbívoros, permaneciendo la otra mitad abiertas, con el fin de investigar el efecto del herbivorismo en la regeneración. Las 16 parcelas empleadas en este estudio se encuentran ubicadas en el seno del pinsapar denso y monoespecífico de la Sierra del Pinar. Desde su establecimiento se han llevado a cabo en ellas un total de 7 inventarios de regeneración (noviembre 1997, julio 1998, octu-

bre 1998, julio 1999, julio 2000, mayo 2004 y julio 2007) y 2 inventarios de la masa adulta (julio 1998 y julio 2007). Para el presente estudio se han descartado los inventario de 1997 y de octubre de 1998 para homogeneizar la época de prospección en relación a la estación crítica del verano.

Los inventarios de la regeneración se realizaron, en cada una de las 16 parcelas mediante muestreo, usando una malla de muestreo con parcelas circulares de 50 cm de radio dispuestas de forma sistemática, con intensidad adaptada a cada parcela para obtener aproximadamente el mismo error de muestreo en todas ellas. Para ello se realizó un premuestreo que permitió estimar la variabilidad (varianza) de la variable *densidad de regenerado de pinsapo*, que se empleó para determinar la intensidad de muestreo necesaria, en cada parcela, para mantener el error por debajo del 15% en todos los casos. De esta forma se determinó el número de puntos de muestreo (círculos de 50 cm de radio) a muestrear en cada parcela. La época de medición de los inventarios considerados en este estudio ha sido el inicio de verano, momento en que ya ha finalizado la germinación de las semillas del año y aún no ha tenido lugar la mortalidad estival (Arista *et al.*, 1997; Abellanas *et al.*, 2003); (ver Tabla 3).

En el inventario se ha considerado como regenerado el conjunto de plantas de menos de 150 cm de altura, clasificadas en dos grandes categorías: Plántulas (PPV): plantas de menos de un año de edad, establecidas el año en que se realiza el inventario y Regenerado consolidado o a la espera (CONS), el cual, a su vez, se ha registrado por categorías de altura:

CONS\_0\_15: <15 cm de altura

CONS\_15\_50: entre 15 y 50 cm de altura

CONS\_50\_100: entre 50 y 100 cm de altura

CONS\_100\_150: entre 100 y 150 cm de altura.

De estudios previos (Coca *et al.*, 2001, Abellanas *et al.*, 2003; Cuadros *et al.*, 2003) se conocen las altas tasas de extinción existentes en el regenerado, siendo prácticamente inexistente en la actualidad la última de las categorías establecidas, estando en términos generales bloqueadas las incorporaciones debido a la elevada espesura de la masa adulta.

Los inventarios de la masa adulta han consistido en la identificación y la medición de todos los pies mayores de cada parcela, considerando un diámetro mínimo inventariable de 5 cm. Se han contabilizado también los pies menores existentes en cada parcela (altura superior a 150cm y diámetro normal inferior a 5 cm). Las variables medidas en cada árbol fueron: diámetro normal (DN), altura (H), altura de fuste (Hf), diámetros de copa perpendiculares (Dc). (DN en cm, el resto de las medidas en m).

En el primer inventario (1998) se realizaron los mapas de árboles de todas las parcelas mediante la utilización de un teodolito (coordenadas locales, con origen en la estación del aparato), adquiriendo así la posibilidad de obtener estimaciones de características espaciales de la masa, como los índices de diversidad estructural que se derivaron posteriormente. Para cada una de las variables dimensionales de los árboles se calcularon los índices de diferenciación de Von Gadow para los tres vecinos más

próximos (Von Gadow *et al.*, 2001; Kint *et al.*, 2003; Rio *et al.*, 2003): TD3, TH3, TSc3, TLc3, THf3 (siendo Lc la longitud de copa, calculada por diferencia entre H y Hf, y Sc la superficie de proyección de la copa, calculada como el área de una elipse con diámetros iguales a los medidos).

La georreferenciación local de las parcelas de muestreo de regeneración en el último inventario (2007), ha permitido realizar el análisis local de los procesos de regeneración e investigar su relación con las características de la masa adulta a pequeña escala.

### 3.2. Datos meteorológicos localizados para los años de inventario

Se pretende analizar la incidencia de las principales variables meteorológicas (precipitación y temperatura) sobre las diferentes etapas de la dinámica de la regeneración analizadas, para lo cual se requiere disponer de datos termopluviométricos de las parcelas.

Al no existir información pluviométrica disponible en el entorno de la zona de estudio dentro del pinsapar para los años en los que se han llevado a cabo inventarios de regeneración, se ha recurrido a extraer los valores de precipitación mensual para cada parcela y año de interés, a partir de los *grids* elaborados, por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, mediante un proceso de espacialización utilizando el método de interpolación IDW (*Inverse Distance Weighted*) sobre las series de datos de precipitación diaria mensualizados de las estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Dado que las diferencias en los valores de precipitación mensual entre parcelas obtenidas de este modo son muy escasas, debido a la proximidad relativa entre parcelas y la resolución espacial de los *grids* (1000 x 1000 m), se ha optado por utilizar el valor medio de los obtenidos para todas ellas

### 3.3. Fenología

El ciclo fenológico del pinsapo que conduce a la aparición de nuevas plántulas se extiende aproximadamente hasta 20 meses antes de la germinación (Arista *et al.*, 1997), iniciándose con la formación de yemas indiferenciadas a mediados de julio del año antepenúltimo (A-2) y culminando con la dispersión de las semillas en el otoño del año anterior (A-1), las cuales germinarán en primavera del año corriente (A). A lo largo de ese período, hay distintos estados que potencialmente podrían verse influidos por variables meteorológicas, de las cuales, por su efecto acumulativo, las precipitaciones podrían jugar un papel destacado. Para investigar, este posible efecto se estudió la correlación entre los valores de densidad de plántulas de pinsapo vivas (PPV) obtenidas en los distintos inventarios comparables y los valores mensuales y valores medios acumulados de precipitación en las distintas estaciones del año, considerando como valores representativos de las mismas las medias aritméticas de los valores del trimestre correspondiente (Inv: Ene, Feb, Mar; Pri: Abr, May, Jun; Ver: Jul, Ago, Sep; Oto: Oct, Nov, Dic).

Igualmente se han estimado valores de temperatura mensuales aproximados a partir de la estación geográficamente más cercana de la que se dispone de datos (Villamartín) y aplicando un gradiente termométrico altitudinal de 0,5°C/100m. Se han investigado valores medios, máximos y mínimos mensuales así como las correspondientes medias estacionales.

### 3.4. Análisis de los datos

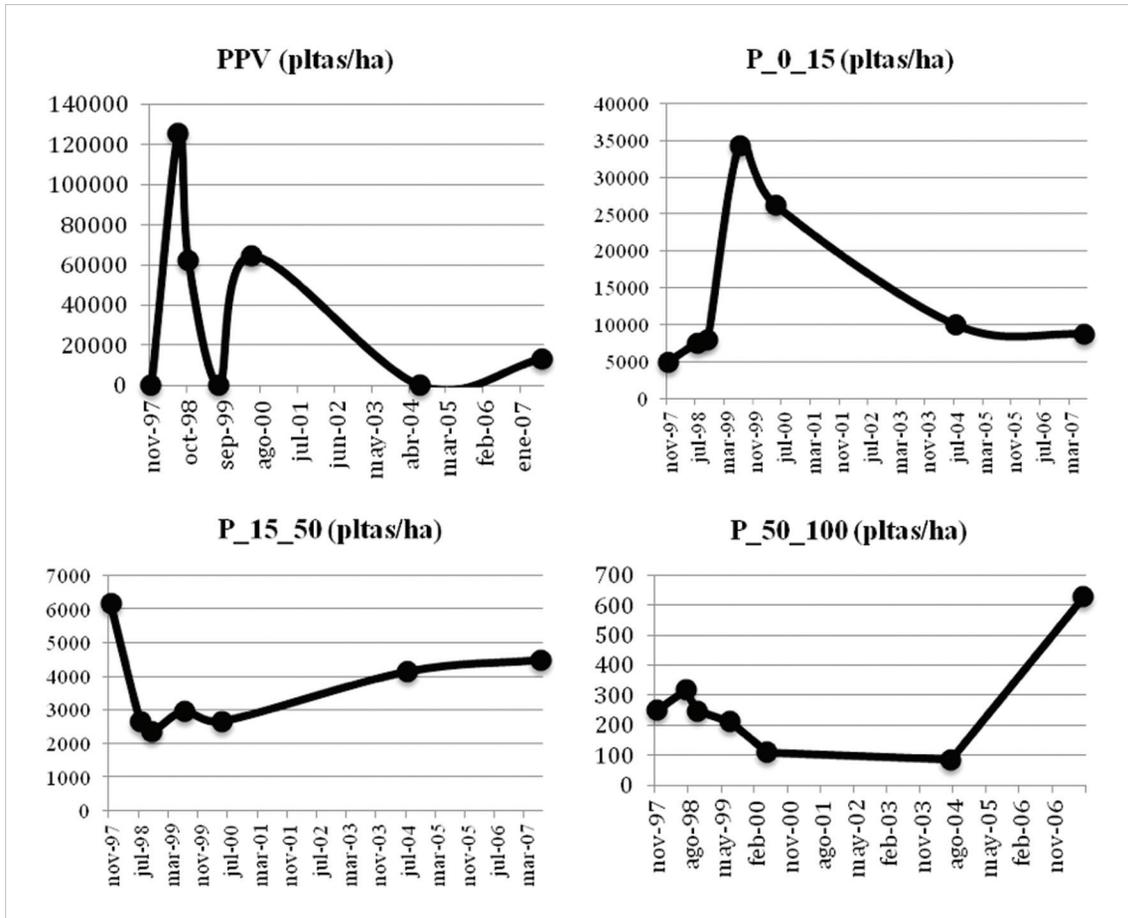
Con los datos obtenidos se han investigado, en primer lugar, los efectos de los factores fijos sobre la regeneración de los factores fijos como la malla cinegética o el estrato estructural de la masa adulta pinsapar latizal-fustal o pinsapar estructurado (Coca *et al.*, 2001; Abellanas *et al.*, 2005). Ambos factores fijos se han analizado mediante análisis de varianza de la densidad media de plantas (plantas/ha), para cada categoría de regenerado por separado. El mismo tipo de análisis se ha empleado para investigar la existencia de variación, en el período de tiempo estudiado (1997-2007), de los componentes del regenerado considerados.

El estudio de la relación de las variables meteorológicas y dasométricas, (incluyendo en estas últimas, las variables de diversidad estructural local) con el regenerado se ha abordado mediante análisis de correlación simple. Se han empleado dos escalas espaciales diferentes. En la escala intermedia se ha empleado como unidad de estudio la parcela, como valores de regeneración los valores medios obtenidos a partir del muestreo realizado en cada una de ellas y como valores dasométricos los valores medios obtenidos a partir de todos los árboles de la parcela. Para el inventario de 2007 se ha abordado, además, un análisis espacial a pequeña escala, dado que los procesos iniciales de regeneración implican eventos muy locales cuya dependencia del ambiente circundante puede ser muy variable en una masa heterogénea como la que es objeto de este estudio. En este caso, se ha recurrido a emplear como unidad de estudio la parcela circular de muestreo de regeneración, asociándose a cada uno de estos puntos de muestreo valores particulares de las variables dasométricas mediante la generación, con ArcGis, de *buffers* circulares de 10 m de radio entorno al centro de la parcela de muestreo y asociando a dicha superficie los pies mayores contenidos en la misma.

## 4. Resultados

### 4.1. La estabilidad del regenerado en el tiempo

El análisis de varianza de la regeneración para los años estudiados, ha permitido comprobar que las categorías inferiores (PPV y CONS\_0\_15) presentan una alta variabilidad entre años ( $p < 0,00001$ ), que se muestra aparentemente errática (*Figura 1*), la categoría CONS\_15\_50 aún muestra diferencias significativas entre años ( $p = 0,018$ ) pero estas desaparecen para las plantas de más de 50 cm de altura, lo que indica que la densidad de plantas de más de 50 cm no ha variado significativamen-



**Figura 1.** Variación de la densidad de plantas en los años estudiados por categorías de regenerado: PPV: plantas de menos de 1 año; P\_0\_15; P\_15\_50 y P\_50\_100 plantas mayores de 1 año de 0a15, 15-50 y 50-100 cm de altura respectivamente. Obsérvese la diferente magnitud de los ejes de ordenadas.

te en los últimos 10 años, a pesar de las fluctuaciones habidas en las categorías anteriores. En la *Figura 1* puede observarse que el año 1998 hubo una incorporación de plántulas excepcional (más de 125.300 plantas/ ha), máximo que se trasladó durante los dos años siguientes a la categoría CONS\_0\_15, perdiéndose la señal al cabo de 6 años (2004). La siguiente clase (CONS\_15\_50) ya no refleja este suceso, indicando que la mayoría de las plántulas han sido eliminadas antes de alcanzar los 50 cm. Por otra parte, de estudios anteriores (Abellanas *et al.*, 2003; Cuadros *et al.*, 2003) se sabe que la edad media del regenerado oscila entre 5 y 6,5 años dependiendo del tipo estructural de la masa adulta. El crecimiento medio se sitúa entre 2 y 2,5 cm/año. Esto indica que la vida media del regenerado es bastante corta y que la mayoría de los ejemplares no superan la categoría de los 15 cm. No obstante, la estabilidad del regenerado de más edad en el tiempo indica que existe una reposición adecuada a las condiciones ambientales actuales del sotobosque del pinsapar, lo que no prejuzga su adecuación como banco de propágulos frente a posibles perturbaciones.

## 4.2. El efecto de la malla cinegética

No se han encontrado diferencias significativas para las categorías inferiores de regenerado entre las parcelas malladas y las abiertas. Únicamente se han obtenido diferencias significativas para la clase de 50 a 100 cm ( $p=0,02$ ), quedando la clase siguiente al borde de la significación ( $p=0,059$ ), resultando en estos casos, como cabría esperar, una mayor densidad de regenerado en las parcelas malladas respecto a las no malladas, lo que indica una cierta incidencia de los herbívoros sobre la regeneración a la espera. La falta de afectación a las categorías inferiores, junto con el hecho de no tratarse de una especie especialmente palatable para la fauna, arroja ciertas dudas sobre el efecto encontrado, lo que aconsejaría un análisis más profundo del tema.

## 4.3. Análisis de la relación de la meteorología con la regeneración

En las *Tablas 1 y 2 (Fig 3 y 4)* se presentan los resultados obtenidos en el análisis de correlación de las variables de regenerado con las precipitaciones y las temperaturas para los períodos estacionales de los años previos (A-2 y A-1) y actual (A) para cada inventario. Tanto para las precipitaciones como para las temperaturas se han encontrado comportamientos diferentes para tres agrupaciones de las categorías del regenerado consideradas: PPV, CONS <15 y CONS >15, englobando esta última categoría todas las plantas de altura superior a los 15 cm. Se presentan así los resultados para estas tres categorías.

### 4.3.1. Las precipitaciones

En la *Figura 2* se presentan gráficamente las precipitaciones estimadas para los períodos considerados para cada año de inventario, con el fin de ilustrar las variaciones habidas entre los distintos años. En la *figura 3 (Tabla 1)* se presentan los valores de los coeficientes de correlación obtenidos para las categorías consideradas. Se ob-

**Tabla 1.** Coeficientes de correlación del regenerado con las precipitaciones estacionales (medias acumuladas de cada trimestre) de los años previos a los inventarios.

PP		Ver_2	Oto_2	Inv_1	Pri_1	Ver_1	Oto_1	Inv	Pri
CC p	PPV	<b>-0,57</b>	0	<b>0,53</b>	0,01	<b>-0,38</b>	<b>0,72</b>	<b>-0,34</b>	<b>0,32</b>
		<b>(0)</b>	(0,9868)	<b>(0)</b>	(0,9518)	<b>(0,0005)</b>	<b>(0)</b>	<b>(0,0022)</b>	<b>(0,0038)</b>
	CONS>15	-0,17	-0,02	<b>0,27</b>	-0,05	-0,11	-0,03	<b>0,23</b>	-0,03
		(0,1438)	(0,8698)	<b>(0,018)</b>	(0,6385)	(0,3216)	(0,8212)	<b>(0,044)</b>	(0,8032)
	CONS<15	0,15	0,08	<b>-0,39</b>	0,17	<b>0,63</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,48</b>	-0,11
		(0,196)	(0,4905)	<b>(0,0004)</b>	(0,1373)	<b>(0)</b>	<b>(0)</b>	<b>(0)</b>	(0,318)

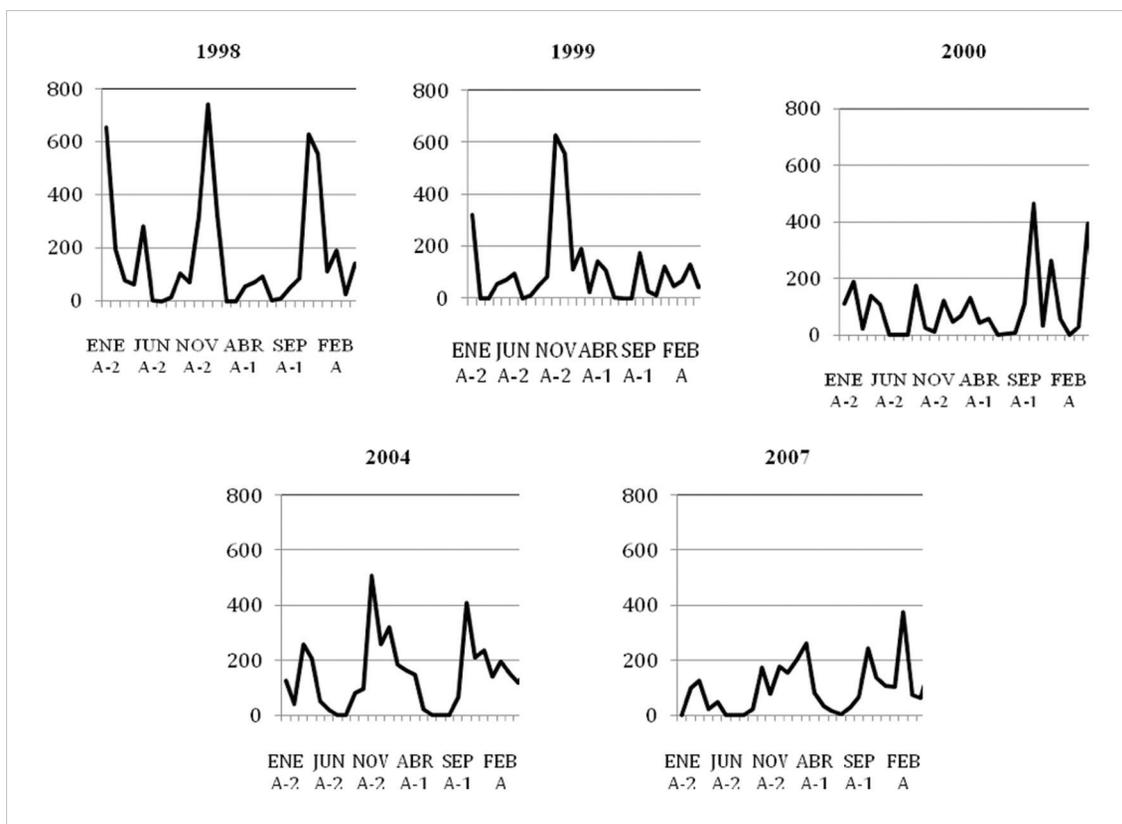
Inv: enero, febrero y marzo; Pri: abril, mayo y junio; Ver: julio, agosto y septiembre; Oto: octubre, noviembre y diciembre (Ver\_2, Oto\_2: estaciones de 2 años antes del inventario; Inv\_1, Pri\_1, Ver\_1, Oto\_1: estaciones del año anterior al inventario; Inv, Pri: estaciones del año de inventario). PPV: plántulas de pinsapo de menos de 1 año; CONS>15, CONS<15: regenerado consolidado (de más de 1 año de edad) mayor de 15cm y menor de 15 cm de altura respectivamente.

**Tabla 2.** Coeficientes de correlación de la densidad de regenerado con las temperaturas medias de los períodos estacionales previos a los inventarios.

	<b>Tm</b>	Ver_2	Oto_2	Inv_1	Pri_1	Ver_1	Oto_1	Inv	Pri
CC (p)	PPV	<b>-0,52</b>	<b>-0,62</b>	0,21	<b>0,39</b>	<b>-0,73</b>	<b>0,57</b>	<b>0,86</b>	<b>-0,26</b>
		<b>(0)</b>	<b>(0)</b>	(0,0682)	<b>(0,0004)</b>	<b>(0)</b>	<b>(0)</b>	<b>(0)</b>	<b>(0,0213)</b>
	CONS>15	0,04	0,12	-0,1	0,08	<b>0,26</b>	0	-0,11	-0,15
		(0,7333)	(0,2978)	(0,3675)	(0,4847)	<b>(0,0212)</b>	(0,9758)	(0,3259)	(0,198)
	CONS<15	<b>0,26</b>	0,21	0,18	<b>-0,53</b>	-0,18	<b>-0,55</b>	<b>-0,32</b>	<b>0,62</b>
		<b>(0,0201)</b>	(0,0681)	(0,1158)	<b>(0)</b>	(0,1072)	<b>(0)</b>	<b>(0,0037)</b>	<b>(0)</b>
	<b>Tmin</b>	Ver_2	Oto_2	Inv_1	Pri_1	Ver_1	Oto_1	Inv	Pri
CC p	PPV	<b>-0,52</b>	<b>-0,45</b>	-0,07	<b>0,27</b>	<b>-0,87</b>	<b>0,56</b>	<b>0,7</b>	<b>0,26</b>
		<b>(0)</b>	<b>(0)</b>	(0,5554)	<b>0,0158</b>	<b>(0)</b>	<b>(0)</b>	<b>(0)</b>	<b>(0,0212)</b>
	CONS>15	0,01	0,09	0	0,14	0,21	0,05	0	<b>-0,24</b>
		(0,9217)	(0,4394)	(0,9675)	(0,2069)	(0,0622)	(0,6425)	(0,9782)	<b>(0,0364)</b>
	CONS<15	<b>0,43</b>	0,12	0,11	<b>-0,62</b>	0,12	<b>-0,63</b>	<b>-0,53</b>	<b>0,48</b>
		<b>(0)</b>	(0,2755)	(0,3343)	<b>(0)</b>	(0,2983)	<b>(0)</b>	<b>(0)</b>	<b>(0)</b>
	<b>Tmax</b>	Ver_2	Oto_2	Inv_1	Pri_1	Ver_1	Oto_1	Inv	Pri
CC p	PPV	<b>-0,43</b>	<b>-0,34</b>	<b>0,41</b>	<b>0,41</b>	<b>-0,73</b>	-0,08	<b>0,83</b>	<b>-0,46</b>
		<b>(0)</b>	<b>(0,0022)</b>	<b>(0,0002)</b>	<b>(0,0001)</b>	<b>(0)</b>	(0,4835)	<b>(0)</b>	<b>(0)</b>
	CONS>15	0,05	0,03	-0,18	0,04	<b>0,25</b>	-0,07	-0,18	-0,08
		(0,6868)	(0,8017)	(0,1124)	(0,704)	<b>(0,0244)</b>	(0,5302)	(0,1106)	(0,4617)
	CONS<15	0,12	<b>0,3</b>	<b>0,24</b>	<b>-0,47</b>	-0,2	0,12	-0,09	<b>0,59</b>
		(0,2778)	<b>(0,0069)</b>	<b>(0,0351)</b>	<b>(0)</b>	(0,0838)	(0,2733)	(0,4445)	<b>(0)</b>

Entre paréntesis el valor de p. Inv: enero, febrero y marzo; Pri: abril, mayo y junio; Ver: julio, agosto y septiembre; Oto: octubre, noviembre y diciembre (Ver\_2, Oto\_2: estaciones de 2 años antes del inventario; Inv\_1, Pri\_1, Ver\_1, Oto\_1: estaciones del año anterior al inventario; Inv, Pri: estaciones del año de inventario). (Tm: temperatura media del período, Tmin: media de las mínimas mensuales del período, Tmax: media de las máximas mensuales del período). PPV: plántulas de menos de 1 año de edad; CONS>15: regenerado de más de 15 cm de altura; CONS<15: regenerado de hasta 15 cm de altura (excluidas las plántulas).

serva que el regenerado de más de 15cm de altura (CONS>15) presenta muy poca relación con las precipitaciones, tanto del año en curso como de los previos, únicamente se han encontrado relaciones significativas para esta clase con las precipitaciones de invierno, pero con valores relativamente bajos. La interpretación de esta relación es dudosa. Las otras dos categorías han presentado relaciones más estrechas con la precipitación. Cabe destacar la alta correlación positiva de la densidad de plántulas (PPV) con la precipitación del otoño del año anterior (Oto\_A-1) ( $cc=0,72$ ;  $p<0,0001$ ), que, de acuerdo con la fenología de la reproducción para *Abies pinsapo* Boiss. que se presenta en la *Tabla 3*, según Arista *et al.*, (1997), corresponde con el proceso de dispersión de las semillas. También encontramos una relación positiva bastante acusada ( $cc=0,57$ ;  $p<0,0001$ ) con la precipitación del verano del año A-2, momento en que se produce la formación y diferenciación de las yemas que darán lugar a los conos femeninos. El regenerado consolidado de menos de 15 cm (CONS<15) presenta, como más significativa, una alta correlación positiva con la precipitación del verano anterior (A-1), de lo que parece deducirse que, para estas plantas tan pequeñas, la sequía estival puede ser uno de los principales agentes de mortalidad.



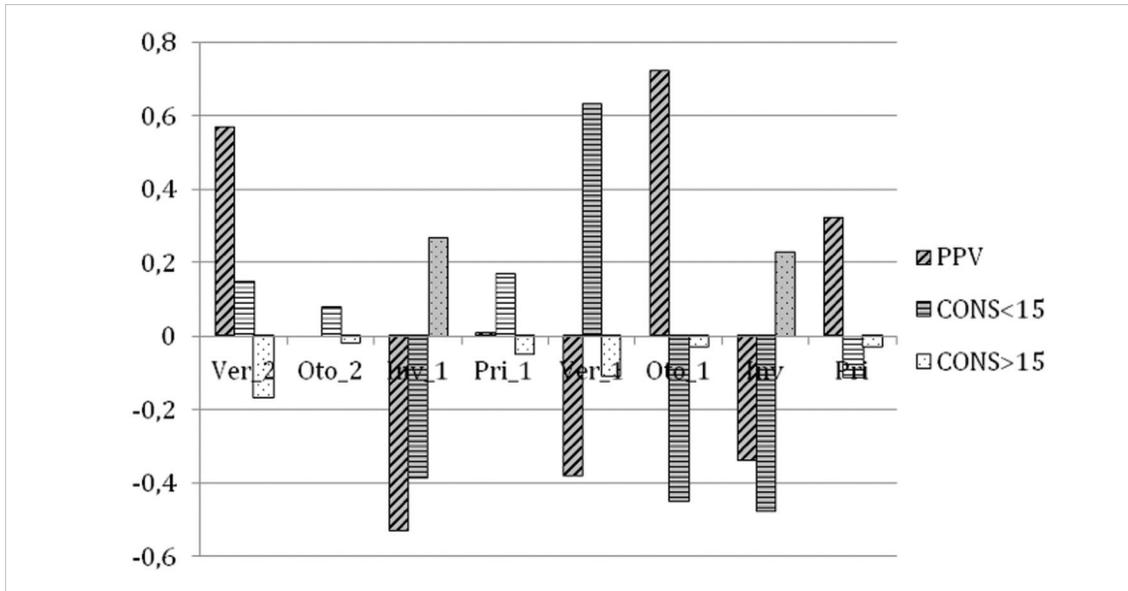
**Figura 2.** Precipitaciones medias mensuales (mm) estimadas para los dos años previos a cada inventario. Cada gráfica representa las precipitaciones de los dos años previos al año de inventario correspondiente, que es el que figura en el título del gráfico. (A-2= 2 años antes del inventario; A-1= año anterior al inventario; A=año del inventario; se consideran años naturales). El período representado comprende desde enero del año A-2 hasta mayo del año del inventario (A).

**Tabla 3.** Fenología de la reproducción del pinsapo hasta el establecimiento de las plántulas en la sierra de Grazalema (adaptado de Arista *et al.*, 1997).

Ver-2	Oto-2	Inv-1	Pri-1	Ver-1	Oto-1	Inv	Pri
Formación y diferenciación de las yemas	Dormición de las yemas		Polinización (abril, mayo) y fecundación de los óvulos (junio)	Maduración de las semillas (julio a septiembre)	Dispersión de las semillas (octubre-noviembre)	Germinación de las semillas y establecimiento de las plántulas	

### 4.3.2. Las temperaturas

Los resultados para las correlaciones con las temperaturas se presentan en la *Figura 4 (Tabla 2)*. Nuevamente, el regenerado de más de 15 cm de altura presenta muy escasa o nula relación con las variables térmicas, a diferencia de lo que ocurre

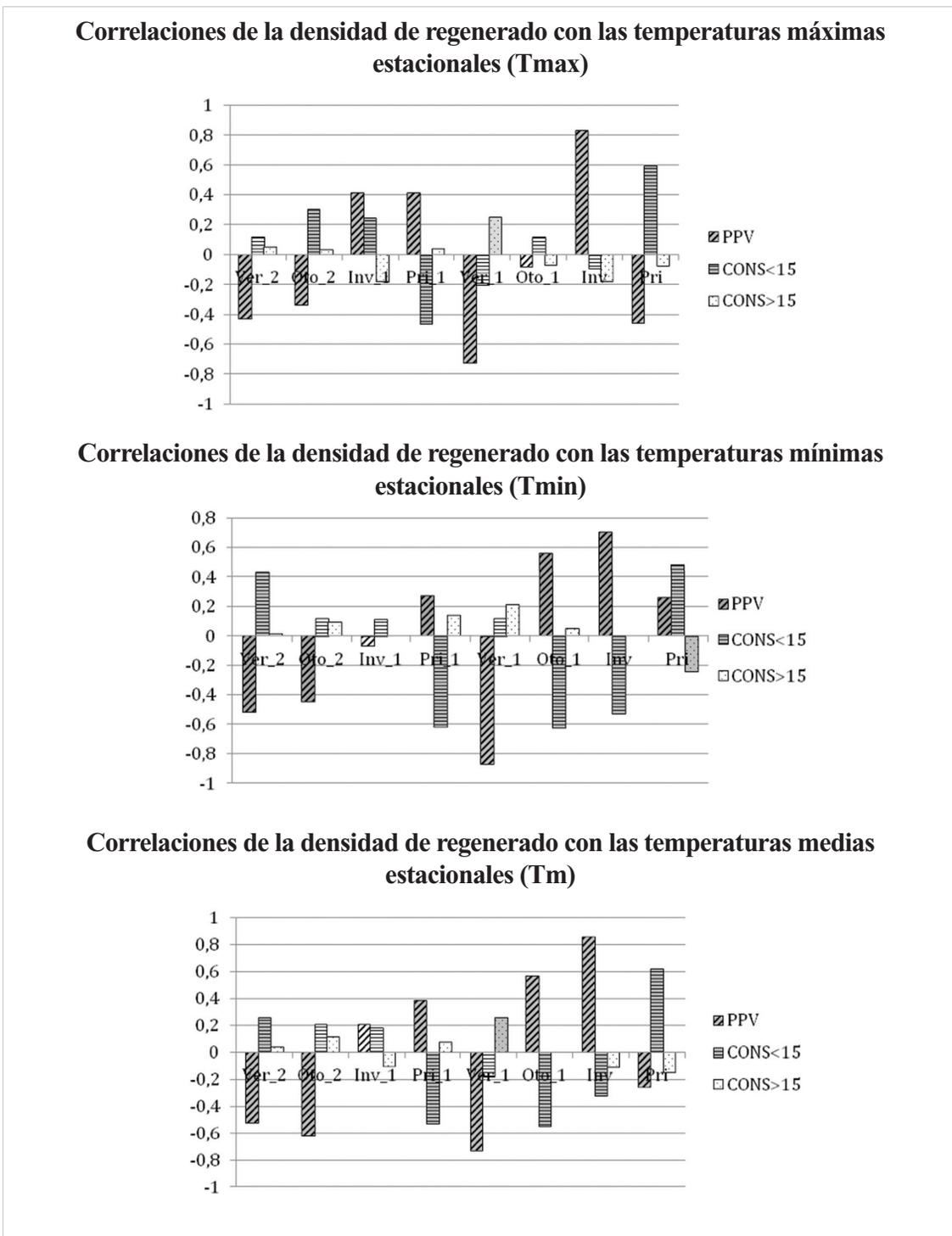


**Figura 3.** Correlaciones de la densidad de regenerado con las precipitaciones estacionales de los años previos a los inventarios. Inv: enero, febrero y marzo; Pri: abril, mayo y junio; Ver: julio, agosto y septiembre; Oto: octubre, noviembre y diciembre (Ver\_2, Oto\_2: estaciones de 2 años antes del inventario; Inv\_1, Pri\_1, Ver\_1, Oto\_1: estaciones del año anterior al inventario; Inv, Pri: estaciones del año de inventario). PPV: plántulas de pinsapo de menos de 1 año; CONS>15, CONS<15: regenerado consolidado (de más de 1 año de edad) mayor de 15cm y menor de 15 cm de altura respectivamente. Las relaciones significativas ( $p < 0,05$ ) se presentan como barras con fondo coloreado.

con las otras dos categorías. Las plántulas están positivamente relacionadas con las temperaturas del otoño previo (Oto\_A-1) y, sobre todo, del invierno del año (A), cuando se producen fenómenos tan importantes como la dispersión (otoño), germinación y establecimiento de las mismas (finales de invierno), ya que a esta altitud, estas épocas presentan temperaturas muy bajas que podrían condicionar los procesos. También se ha encontrado una alta relación, en este caso negativa, con las temperaturas del verano anterior (A-1), periodo en que también se apreciaba una correlación negativa con la precipitación. En esta época es cuando tiene lugar la maduración de las semillas en el cono, lo que parece requerir tiempo fresco y seco. Las plantas de menos de 15 cm (CONS<15) presentan una alta correlación positiva con las temperaturas de la primavera del año actual (A), pero, paradójicamente, presentan relaciones negativas con el período otoño-invernal previo (Oto\_A-1 y Inv\_A) así como con las temperaturas de la primavera anterior, contrariamente a lo observado para las plántulas. Este comportamiento resulta difícil de explicar y posiblemente deba ser objeto de una nueva investigación.

#### 4.4. *Análisis de la relación de la estructura del dosel arbóreo con la regeneración*

Como se explicó en el apartado anterior, esta relación se ha analizado a dos es-



**Figura 4.** Correlaciones del regenerado con las temperaturas medias, mínimas y máximas estacionales : Inv: enero, febrero y marzo; Pri: abril, mayo y junio; Ver: julio, agosto y septiembre; Oto: octubre, noviembre y diciembre (Ver\_2, Oto\_2: estaciones de 2 años antes del inventario; Inv\_1, Pri\_1, Ver\_1, Oto\_1: estaciones del año anterior al inventario; Inv, Pri: estaciones del año de inventario). PPV: plántulas de pinsapo de menos de 1 año; CONS>15, CONS<15: regenerado consolidado (de más de 1 año de edad) mayor de 15cm y menor de 15 cm de altura respectivamente. Las relaciones significativas ( $p < 0,05$ ) se representan por barras con fondo coloreado.

**Tabla 4.** Coeficientes de correlación de la densidad de regenerado con valores dasométricos e índices de diversidad estructural locales, obtenidos a partir de los pies mayores ( $dn > 5\text{cm}$ ) contenidos en un buffer circular de 10m de radio entorno a los puntos de muestreo de la regeneración.

	CONS	CONS>15	CONS>50	CONS<15	PPV
N(pies/_ha)	-0.09 (0.0951)	<b>-0.12</b> <b>(0.0223)</b>	<b>-0.11</b> <b>(0.0339)</b>	-0.03 (0.5654)	0.09 (0.0896)
G(m <sup>2</sup> ha)	-0.01 (0.8674)	-0.02 (0.6602)	<b>-0.14</b> <b>(0.0086)</b>	0.01 (0.9130)	0.00 (0.9550)
DNmed_cm	0.07 (0.1789)	0.09 (0.1789)	-0.06 (0.2442)	0.04 (0.5075)	<b>-0.11</b> <b>(0.0483)</b>
Hmedm	<b>0.13</b> <b>(0.0133)</b>	0.06 (0.3001)	<b>-0.13</b> <b>(0.0146)</b>	<b>0.14</b> <b>(0.0068)</b>	<b>-0.15</b> <b>(0.0054)</b>
Dcmedm	0.07 (0.2122)	<b>0.17</b> <b>(0.0013)</b>	<b>0.16</b> <b>(0.0025)</b>	-0.04 (0.4586)	-0.08 (0.1271)
TH3	<b>0.13</b> <b>(0.0180)</b>	<b>0.13</b> <b>(0.0120)</b>	<b>0.15</b> <b>(0.0066)</b>	0.07 (0.1672)	0.08 (0.1271)
TDn3	<b>0.14</b> <b>(0.0111)</b>	<b>0.17</b> <b>(0.0012)</b>	<b>0.20</b> <b>(0.0002)</b>	0.06 (0.2869)	0.01 (0.8849)
TSc3	-0.05 (0.3314)	0.03 (0.5746)	<b>0.13</b> <b>(0.0165)</b>	-0.10 (0.0673)	<b>0.12</b> <b>(0.0315)</b>

Año 2007. PPV: plántulas de pinsapo de menos de 1 año; CONS: regenerado consolidado (más de 1 año de edad); CONS>50: regenerado consolidado de más de 50 cm de altura; CONS>15: regenerado consolidado de más de 15 cm de altura, CONS<15: regenerado consolidado de menos de 15 cm de altura. N: densidad de pies mayores por ha; G: área basimétrica por ha; DNmed: diámetro normal medio; Hmed: altura media; Dcmed: diámetro de copa medio; TH3, TDn3 y TSc3: Valores medios del índice de diferenciación de VonGadow (para tres vecinos) para la altura, el diámetro normal y la superficie de proyección de la copa respectivamente.

calas espaciales diferentes, a escala de parcela (525 m<sup>2</sup>) y a escala de punto de muestreo (de regeneración). El estudio a escala de parcela no ha permitido encontrar relaciones significativas para ninguna de las categorías de regenerado analizadas con las variables estructurales, a excepción de una relación aparentemente estrecha entre la densidad de plántulas (PPV) y la longitud media de las copas del estrato arbóreo circundante (Lcmed) ( $cc=0,61$ ;  $p=0,0156$ ). Posiblemente la escasez de las relaciones halladas a esta escala se deba, no sólo al hecho de la “dilución” de los valores estructurales al ampliar la superficie de observación, (especialmente al tratarse de una masa cuasi-irregular, con gran diversidad estructural a corta distancia –local– y escasa a gran distancia –global– (Schutz, 1997), sino también a la escasez de datos, ya que sólo se disponía de un total de 16 parcelas.

Los resultados obtenidos a escala local, a través del análisis de los *buffer* de 10 m de radio, ha permitido descubrir relaciones que, aun no siendo muy altas (en términos de los valores de los coeficientes de correlación), sí han resultado significativas. Estos resultados se presentan en la *tabla 4*. Se observa que ni la densidad de plántulas (PPV) ni la del regenerado de menos de 15 cm (CONS<15) presentan relación con la densidad o espesura de la masa, relación que si existe (negativa) para el regenerado de mayor tamaño. El regenerado de menos de 15 cm parece bastante indepen-

diente de la estructura de la masa, mientras que la densidad de plántulas muestra relaciones que ya se habían detectado antes (Abellanas *et al.*, 2005), como la correlación negativa con el tamaño de los árboles. Estas relaciones tendrían su justificación a través de la especial distribución de los conos femeninos en las copas de los abetos, que se concentran exclusivamente en la parte superior de las mismas incluso en árboles aislados (Arista, 1996). De esta forma, ante una misma fracción de cabida cubierta, la existencia de árboles más grandes implica una menor superficie de copa con capacidad reproductiva y por ello una menor producción de semillas. Esto explicaría que estas variables (Dnmed y Hmed) estén relacionadas (negativamente) con las plántulas. Resulta interesante destacar también la relación positiva de la densidad de regenerado consolidado de más de 15 cm de altura con la mayoría de los índices de diferenciación analizados, relación que aumenta al aumentar el tamaño del regenerado considerado. Esta relación puede explicarse por el aumento de la radiación oblicua que es favorecida por la diversidad de tamaños de los árboles de la masa adulta, especialmente cuando se trata de doseles cerrados y altas espesuras, como es el caso.

## 5. Conclusiones

Es conocida la importancia que el regenerado a la espera tiene en masas densas de especies muy tolerantes a la sombra como los abetos (Oliver y Larson, 1996; Schütz, 1997; Pretzsch, 2009). Por ello resulta relevante profundizar en la dinámica paralela que este *estrato a la espera* desarrolla durante su fase de aparente latencia. Los resultados obtenidos en este estudio ponen de manifiesto que la dinámica de la regeneración a la espera del pinsapar incorpora procesos que se suceden a distintas escalas temporales. La lluvia de semillas, la densidad de plántulas e incluso el regenerado de menos de 15 cm, son componentes altamente efímeros y fluctuantes, muy ligados a las condiciones meteorológicas. Esto implica que su abundancia en un momento dado no asegura la persistencia de la masa por sí misma. La estabilidad del regenerado a la espera la aportan las plantas de mayor tamaño que, aún siendo mucho menores en número, presentan una resiliencia mucho mayor, estando adaptadas a las condiciones que les proporciona la masa adulta. Su escasa variación en el tiempo (no se han apreciado cambios relevantes en un período de 10 años) y su escasa dependencia de los meteoros coyunturales, permiten asegurar la persistencia de la masa frente a las perturbaciones no catastróficas de una forma continua en el tiempo. Las sucesivas oleadas alternantes de semillas, plántulas y plantitas son más que suficientes para cubrir las bajas del regenerado de mayor talla, que se produce de forma continua. Estos resultados ponen de manifiesto que la manipulación del estrato arbóreo es la herramienta decisiva para modular el regenerado a la espera de estas masas y que el componente realmente importante al que debería atender el selvicultor en sus inventarios es el regenerado de cierto tamaño (en nuestro caso más de 15 cm), que es la parte persistente del sistema. La escasez de plántulas o incluso plantitas de menos de 15 cm no sería tan preocupante como la ausencia del regenerado a la espera de mayor tamaño.

## 6. Referencias bibliográficas

- Abellanas, B., Coca, M., Cuadros, S., Oliet, J., Padron, E., 2003. La regeneración en el pinsapar de la sierra de Grazalema. I: Análisis de la fase de plántula. *Cuadernos de la S.E.C.F.* 15 (2):21-26.
- Abellanas, B., Coca, M., Cuadros, S., Oliet, J.A., 2005. Análisis de la diversidad estructural del pinsapar puro en la sierra de Grazalema. influencia sobre la dinámica de la regeneración. *Actas IV Congreso Forestal Español*. Zaragoza, 2004.
- Arista, M., Talavera, S., 1996. Density effect on the fruit-set, seed crop viability and seedling vigour of *Abies pinsapo*. *Ann. Bot.*, 77: 187-192.
- Arista, M., Herrera, F.J., Talavera, S., 1997. *Biología del pinsapo*. Ed. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla. 162pp.
- Canham, C.D., Coates, K.D., Bartemucci, P., Quaglia, S., 1999. Measurement and modelling of spatially explicit variation in light transmission through interior cedar-hemlock forests of British Columbia. *Can. J. For. Res.* 29: 1775-1783
- Castro, J., Zamora, R., Hódar, J.A., Gómez, J.M., 2004. Seedling establishment of a boreal tree species (*Pinus sylvestris*) at its southernmost distribution limit: consequences of being in a marginal Mediterranean habitat. *J. Ecol.* 92:266-277
- Castro, J., Zamora, R., Hódar, J.A., Gómez, J.M., 2005. Alleviation of summer drought boosts establishment success of *Pinus sylvestris* in a Mediterranean mountain: an experimental approach. *Plant Ecology* 181:191-202
- Coca, M., Abellanas, B., Cuadros, S. Oliet, J.A., De Miguel, A., 2001. Caracterización estructural del pinsapar de la Sierra de Grazalema. *Actas del III Congreso Forestal Español. Mesas 1 y 2*. Ed. Junta de Andalucía, TRAGSA y SECF. Pp:257-264.
- Consejería de Medio Ambiente. 2008. Precipitación mensual en Andalucía (serie consolidada), Junta de Andalucía. Formato ráster (tiff) (1.210 Mb) ([http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtorrent/Precip\\_mensual.torrent](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtorrent/Precip_mensual.torrent)).
- Cuadros, S., Oliet, J., Abellanas, B., Coca, M., Padron, E., 2003. La regeneración en el pinsapar de la Sierra de Grazalema. II: Estructura y dinámica del regenerado consolidado en el pinsapar puro. *Actas de la III Reunión sobre Regeneración Natural. Cuadernos de la S.E.C.F.* 15(2):27-32.
- De Chantal, M., Leinonen, K., Kuluvainen, T. y Cescatti, A., 2003. Early response of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings to an experimental canopy gap in a boreal spruce forest. *Forest Ecol. Manage.* 176: 321–336.
- Kint, V., Van Meirvenne, M., Navhtergale, L., Geudens, G., Lust, N., 2003. Spatial methods for quantifying forest stand structure development: A comparison between nearest-neighbor indices and variogram analysis. *For. Sci.* 49(1):36-49.
- Lochhead, K.D., Comeau, P.H., 2012. Relationships between forest structure, understorey light and regeneration in complex Douglas-fir dominated stands in south-eastern British Columbia. *For. Ecol. Manage.* 284:12–22.
- Matias, L; Zamora, R., Castro, J., 2012. Sporadic rainy events are more critical than increasing of drought intensity for woody species recruitment in a Mediterranean community. *Oecologia* 169:833–844.
- Messier, C., Doucet, R., Ruel, J.C., Lechowicz, M.J., Kelly, C., Claveau, Y., 1999. Functional ecology of advance regeneration in relation to light in boreal forests. *Can. J. For. Res.* 29: 812–823.

- Newsome, T.A., Heineman, J.L., Linnell-Nemec, A.F., Comeau, P.G., Arsenault, A., Waterhouse, M., 2010. Ten-year regeneration responses to varying levels of overstorey retention in two productive southern British Columbia ecosystems. *For. Ecol. Manage.* 260, 132–145.
- Oliver, C.D. y Larson, B.C., 1996. Forest stand dynamics. John Wiley and Sons Inc. 520 pp.
- Pretzsch, H. 2009. Forest Dynamics, Growth and Yield: From Measurement to Model. Springer Verlag. Berlin Heidelberg. 665 pp.
- Rio, M., Montes, F., Cañellas, I., Montero, G., 2003. Revisión: Índices de diversidad estructural en masas forestales. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 12(1):159-176
- Ruano, I., Pando, V., Bravo, F., 2009. How do light and water influence *Pinus pinaster* Ait. germination and early seedling development? *For. Ecol. Manag.* 258:2647– 2653.
- Schütz, J.P., 1997. Sylviculture 2. La gestion des forêts irrégulières et mélangées. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne. 178pp.
- Van Pelt, R., Franklin, J.F., 2000. Influence of canopy structure on the understory environment in tall, old-growth, conifer forests. *Can. J. For. Res.* 30:1231-1245.
- Von Gadow, K., Real, P., Alvarez González, J.G., (eds). 2001. Modelización del Crecimiento y la Evolución de los Bosques. *IUFRO WorldSeries* vol.12. Viena. 242pp.

