

## Factores climáticos determinantes de la dinámica poblacional en *Abies pinsapo*

Juan Carlos Linares, Benjamín Viñegla, José Antonio Carreira

*Programa de Doctorado "Análisis y Gestión de Ecosistemas". Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas s/n, 23071, Jaén, España.*

[calderon@ujaen.es](mailto:calderon@ujaen.es)

### Resumen

Se ha realizado una caracterización bioclimática de la especie *Abies pinsapo* BOISS. un abeto endémico del sur de la Península Ibérica y del norte de Marruecos. El trabajo se ha desarrollado en el Parque Natural de la Sierra de las Nieves (Málaga) a partir de datos climáticos de estaciones pluviométricas y termopluviométricas. Para la caracterización bioclimática se empleó el coeficiente pluviotérmico de Emberger y el valor de Intensidad Bioclimática Seca (IBS). Las condiciones climáticas locales han sido estudiadas para los últimos años, especialmente en cuanto a episodios de sequía, y sus variaciones orográficas. Los resultados del trabajo ofrecen una adecuada caracterización climática del área de distribución actual de *A. pinsapo* y han permitido identificar los factores climáticos más determinantes en la dinámica de la especie. Se discuten las características bioclimáticas de *A. pinsapo* contrastándolas con las de otras coníferas y frondosas forestales de la región Mediterránea. El área de estudio es de tipo Mediterráneo Pluviestacional–Oceánico. Se distinguen dos pisos altitudinales: el mesomediterráneo superior, que coincide con el límite inferior del pinsapar en la zona de estudio, y el supramediterráneo. Los valores del coeficiente pluviotérmico de Emberger se corresponden con los de bosques mediterráneos húmedos y el valor promedio de IBS es comparable al de los pinos más orófilos de la Península e inferior al de los mejor adaptados a la sequía. Los resultados ilustran el carácter relictico de la especie, restringida a zonas de clima mediterráneo pero con una elevada pluviometría y con una tolerancia a estrés hídrico inferior a la del resto de especies forestales presentes en su área de distribución.

### Introducción

Los abetos forman grandes bosques en regiones frías del hemisferio norte, siendo con frecuencia los árboles dominantes en millones de hectáreas en la taiga euroasiática y Norteamérica (Farjon & Rushforth. 1989. Notes Roy.Bot.Gard.Edinburgh 46:59-79). Hacia el sur, en climas templados, los bosques de abetos se hacen cada vez más raros, hasta desaparecer en latitudes cálidas. En algunas montañas de la Región Mediterránea han sobrevivido pequeñas poblaciones relictas de abetos como testimonio de épocas pasadas más frías y húmedas (Blanco *et al.* 1997. Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica. Editorial Planeta, Barcelona). Dichas poblaciones han evolucionado hasta conformar un conjunto de taxones a nivel específico o infraespecífico, entre los cuales se encuentran los bosques de pinsapo del Sur de la península Ibérica.

Influencia humana aparte, el clima es el principal factor que determina la distribución y dinámica de la vegetación. A escala global o continental el clima es la principal fuerza que gobierna la distribución de los distintos tipos de vegetación (Woodward. 1987, Climate and plant distribution. Cambridge University Press, Cambridge). Además, se ha mostrado en multitud de ocasiones cómo a escala local la presencia de las especies depende de su respuesta a condiciones microclimáticas (Blasi *et al.* 1999, Global Ecology and Biogeography 8:17-27). Sin embargo, el conocimiento de aquellos factores climáticos más importantes en la determinación de la distribución de las especies vegetales es aún impreciso (Retuerto & Carballeira. 2004, Plant Ecology 170:185-202). Este último aspecto adquiere especial importancia cuando se trata de especies relictas que ocupan áreas reducidas, cerca de sus límites de tolerancia y en las cuales son precisamente las condiciones microclimáticas las que permiten que, al menos de forma potencial, sea posible su persistencia. Bajo esta perspectiva se han estudiado en este trabajo las condiciones climáticas locales a lo largo de los últimos años, especialmente en lo que a episodios de sequía se refiere, y sus variaciones orográficas con el fin de relacionarlas con los eventos de mortalidad. Asimismo, se han calculado algunos índices bioclimáticos ampliamente usados en el ámbito mediterráneo y que resultan de gran utilidad en la caracterización de los rangos climáticos básicos de una especie.

## Objetivos

1. Realizar una caracterización climática del área de distribución actual de *A. pinsapo*
2. Identificar los factores climáticos más determinantes en la dinámica de la especie.
3. Comparar las características bioclimáticas de *A. pinsapo* con las de otras coníferas y frondosas forestales de la región Mediterránea.

## Material y métodos

### Zona de estudio

El trabajo se ha desarrollado en el ámbito del Parque Natural de la Sierra de las Nieves, en la zona centro-occidental de la provincia de Málaga, dentro de la comarca de la Serranía de Ronda. Este espacio natural protegido se extiende sobre una superficie de 18592 ha. Sus límites geográficos quedan definidos por las coordenadas: W 5° 06' 50.7'' y N 36° 46' 14.6''. La cota más alta del parque se sitúa en el pico Torrecilla a 1919 msnm.

Desde el punto de vista geológico el área de distribución actual del pinsapo pertenece al Sistema montañoso Bético, concretamente a las elevaciones del extremo suroccidental de este sistema, en la Serranía de Grazalema (Cádiz) y en la Sierra de las Nieves y Sierra Bermeja (Málaga). El Parque Natural de la Sierra de las Nieves se encuentra dentro del ámbito geológico de contacto entre las Unidades Béticas Internas y Externas. En esta sierra predominan los relieves calizos de edad jurásica, con fuertes escarpes de fallas y cabalgamientos de gran complejidad estructural y litológica (Lhénaff. 1977, Recherches géomorphologiques sur les Cordillères Bétiques centro-occidentales (Espagne). Paris). Los suelos de la zona de estudio corresponden a inceptisoles con un horizonte orgánico poco potente: Haploxerept cálcicos y Haploxerept típicos (Liétor *et al.* Acta Botánica Malacitana 28:89-104).

### Caracterización climática

Los datos climáticos fueron obtenidos a partir de estaciones pluviométricas y termopluviométricas pertenecientes a la red del Instituto Nacional de Meteorología y de la Confederación Hidrográfica del Sur, situadas dentro del área de estudio. Se seleccionaron las estaciones más próximas al área de distribución de *A pinsapo*, hasta un total de 34. De éstas finalmente fueron incluidas aquellas que presentaron series temporales amplias de precipitación y temperatura y aquellas cuyos registros, aún siendo poco extensos, procedían de áreas de distribución del pinsapar. Finalmente fueron analizadas un total de 15 estaciones meteorológicas.

La corrección de los datos originales a las condiciones altitudinales de la zona de estudio se efectuó a partir de ecuaciones de regresión múltiple considerando como variables predictoras las coordenadas geográficas X e Y (medidas en valores UTM) y la altitud Z (medida en metros sobre el nivel del mar). Para la caracterización bioclimática del área de estudio se emplearon aquellos diagramas e índices que más ampliamente han sido usados en la Región Mediterránea. En este sentido, la clasificación climática más extendida en el ámbito mediterráneo es la desarrollada por Emberger. 1954. (Rec. Trav. Lab. Bot. Geol. Zool. Univ. Montpellier, Série Bot. 7: 3-43). El coeficiente pluviotérmico de Emberger se calcula mediante la expresión:

$$Q = (P/(M+m) * (M-m)) * 100$$

donde P es la precipitación anual (mm), M es la media de las máximas del mes más cálido ( $^{\circ}\text{C}$ ) y m la media de las mínimas del mes más frío ( $^{\circ}\text{C}$ ). A partir de este valor se elaboran diagramas bidimensionales donde, en el eje Y, se representa el valor del coeficiente pluviotérmico, y el valor medio de temperatura de las mínimas del mes más frío aparece en el eje X (Barbero & Quézel. 1975, Anal. Inst. Bot. Cabanilles 32: 1245-1289). A partir de estos dos valores se define la siguiente clasificación bioclimática (**Tabla 1**).

**Tabla 1.** Resumen de la clasificación bioclimática de Emberger basada en el valor del coeficiente pluviotérmico (Q) y en la temperatura media de las mínimas del mes más frío (m).

<b>Q</b>	<b>Bioclima</b>	<b>m (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Variante Térmica</b>
< 20	Mediterráneo Sahariano	< -5	muy fría
20 - 30	Mediterráneo Árido	-5 a 0	fría
30 - 50	Mediterráneo Semiárido	0 a 3	fresca
50 - 90	Mediterráneo Subhúmedo	3 a 7	templada
> 90	Mediterráneo Húmedo	> 7	cálida

Por último, los diagramas bioclimáticos propuestos por Montero de Burgos y González Rebollar son un intento de cuantificación de la capacidad de un clima para producir biomasa vegetal (Montero de Burgos & González Rebollar. 1983, Diagramas bioclimáticos. ICONA, Madrid). Las aplicaciones forestales de estos diagramas han sido muy variadas (Pemán & Navarro-Cerrillo. 1998, Repoblaciones Forestales. Universidad de Córdoba & Universitat de Lleida). Uno de los parámetros bioclimáticos que caracterizan adecuadamente los requerimientos de las especies forestales es el denominado Intensidad Bioclimática Seca (IBS). Se trata de un

criterio de valoración de la sequía. Se emplea calculando o conociendo el valor máximo de IBS de una especie; en nuestro caso calculamos el valor medio de IBS del límite inferior de distribución del pinsapar, el cual hemos asumido como IBS máxima, y se considera que aquellas localidades con un valor de IBS superior al máximo de la especie no son aptas para su desarrollo.

A partir del diagrama bioclimático anual, se calcula el valor de IBS para aquellos meses en los que el coeficiente de disponibilidad hídrica (CD) es negativo, siendo su expresión

$$CD = (D-e)/(E-e)$$

donde D es la disponibilidad hídrica (coincide con la precipitación mensual si la capacidad e retención del suelo es nula); E es la evapotransporación potencial, que en este caso viene dada por la expresión de Blaney-Criddle; e es la evapotranspiración residual, que de forma práctica coincide con  $(0.2) \cdot E$ . Así, la expresión para la IBS se calcula como

$$IBS = ((T-7.5)/5) \cdot ((e-D)/(E-e))$$

## Resultados

### *Caracterización climática y bioclimatología*

#### *Corrección de los datos climáticos*

Desde el punto de vista bioclimático, a partir de los Diagramas e Índices de Rivas Martínez (Rivas Martínez *et al.* 2008 Worldwide Bioclimatic Classification System. Bioclimatic Keys. [www.globalbioclimatics.org](http://www.globalbioclimatics.org)), el área de estudio es de tipo Mediterráneo Pluviestacional–Oceánico. Se distinguen dos pisos altitudinales: el mesomediterráneo superior, que coincide con el límite inferior del pinsapar en la zona de estudio, y el supramediterráneo, que engloba al resto del gradiente altitudinal y que debe considerarse el piso bioclimático característico del pinsapar. Los coeficientes de regresión así como el estadístico  $R^2$  y la probabilidad asociada del modelo empleado para la corrección de los datos a las condiciones altitudinales y geográficas del área de estudio aparecen en la **tabla 2**.

**Tabla 2.** Coeficientes de regresión, estadístico  $R^2$  y probabilidad asociada del modelo empleado para la corrección de los datos a las condiciones altitudinales y geográficas del área de estudio. Tm, temperatura media anual; M, media de las máximas del mes más cálido; m, media de las mínimas del mes más frío (todas en °C); P, precipitación media anual (mm).

---

$Tm = 373.99 - 144.47 \cdot 10^{-6} X - 745.54 \cdot 10^{-7} Y - 120.44 \cdot 10^{-4} Z$ ( $R^2 = 0.70$ ; p<0.0001)
$M = 1197.79 - 520.08 \cdot 10^{-6} X - 241.56 \cdot 10^{-6} Y - 205.85 \cdot 10^{-4} Z$ ( $R^2 = 0.37$ ; p<0.0001)
$m = -437.89 + 137.58 \cdot 10^{-6} X + 982.92 \cdot 10^{-7} Y - 422.07 \cdot 10^{-5} Z$ ( $R^2 = 0.53$ ; p<0.0001)
$P = 30119.76 + 745.92 \cdot 10^{-5} X - 792.84 \cdot 10^{-5} Y - 694.61 \cdot 10^{-3} Z$ ( $R^2 = 0.32$ ; p<0.0001)

---

El gradiente altitudinal de temperatura es de  $-1.2$  °C cada 100m. El gradiente altitudinal de precipitación anual es de 69.5 mm cada 100m, con un valor medio de unos 1600mm en las zonas más elevadas del macizo de la Sierra de las Nieves.

### *Bioclimatología*

Las **figuras 1A** y **1B** muestran la situación de *Abies pinsapo* y de otras especies forestales mediterráneas según los diagramas de Emberger. Los gráficos reflejan una relativa plasticidad del pinsapo frente a las temperaturas mínimas, pudiendo oscilar el valor medio de las mínimas del mes más frío entre los -3.7 y los 3.5°C. Respecto al ombroclima, los valores del coeficiente pluviotérmico de Emberger están siempre por encima de la isolínea correspondiente a bosques mediterráneos húmedos (**Figura 1B**). Valor promedio de Intensidad Bioclimática Seca (IBS) calculado para el área de estudio (trazo gris) comparado con los valores encontrados por Pemán y Navarro-Cerrillo para las especies de pinos de la Península.

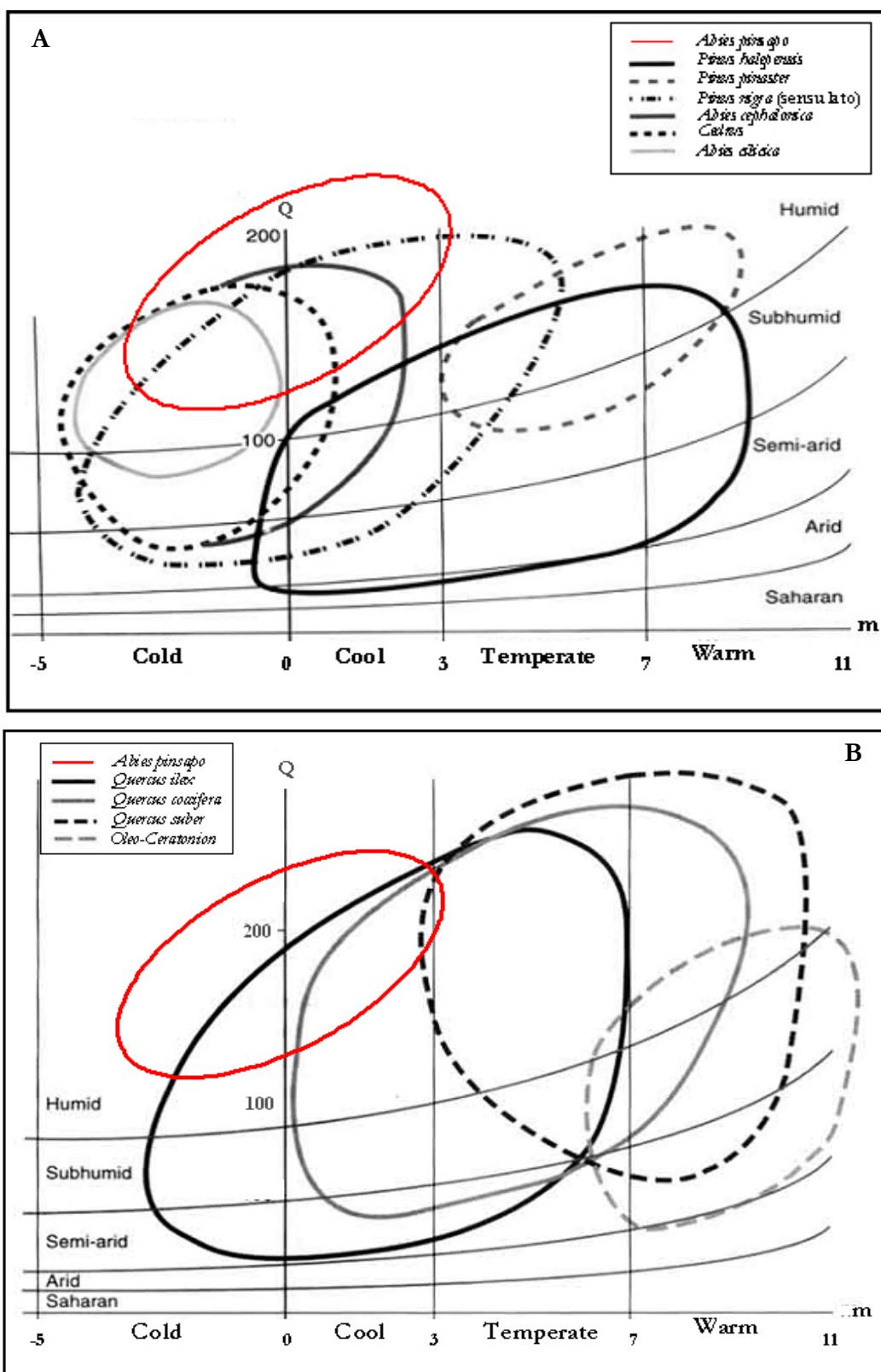
La **figura 2A** muestra un ejemplo representativo de diagramas bioclimáticos de Montero Burgos y González Rebollar para las zonas de pinsapar. A partir del cálculo de varios de estos diagramas, para zonas con distinta altitud y localización en el área de estudio, obtuvimos un valor promedio de Intensidad Bioclimática Seca. La **figura 2B** compara dicho valor con los encontrados en la bibliografía para las especies de Pinos de la Península (Pemán & Navarro-Cerrillo. 1998, Repoblaciones Forestales. Universidad de Córdoba & Universitat de Lleida).

### *Caracterización climática temporal*

No se observa un incremento estadísticamente significativo de la temperatura media anual de las últimas décadas. Para la zona de estudio se obtiene un aumento de la temperatura media anual de 0.5 °C en los últimos 100 años, sin embargo, dicho valor no es estadísticamente significativo ( $p=0.68$ ). Tampoco para el caso de las precipitaciones medias anuales se observa para el conjunto de estaciones consideradas ninguna tendencia para las últimas décadas.

La precipitación anual media del límite inferior de distribución del pinsapar es de  $1010.9 \pm 51.6$  mm. En la **figura 3** hemos considerado este valor a modo de umbral inferior de precipitación del pinsapar, puesto que, en promedio, en todas las poblaciones estudiadas la precipitación media anual es superior. Se han registrado dos mínimos importantes en las precipitaciones anuales, en los años 1995 y 1998, coincidiendo con diferentes episodios de mortalidad observados en la última década.

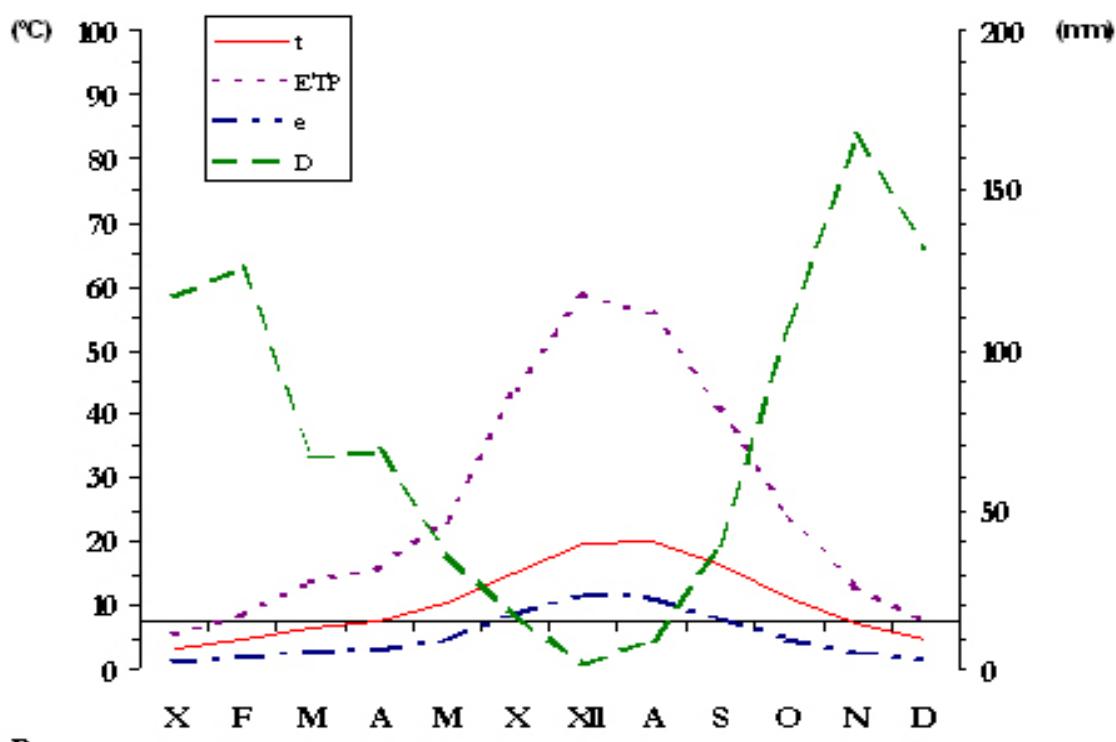
Entre 1990 y 2003 las zonas situadas en la banda altitudinal de 1000m han pasado 9 de los últimos 13 años con precipitaciones inferiores o iguales al umbral mínimo estimado, repartidos en tres períodos secos de 5 años consecutivos de duración entre 1990 y 1995, 2 años consecutivos entre 1998 y 2000 y 2 años consecutivos entre 2001 y 2003. Por el contrario, en las masas situadas sobre 1400m esto sólo ha ocurrido en 5 de los últimos 13 años, con sólo un episodio de sequía de más de un año de duración (tres años consecutivos entre 1992 y 1995) (**figura 3**).



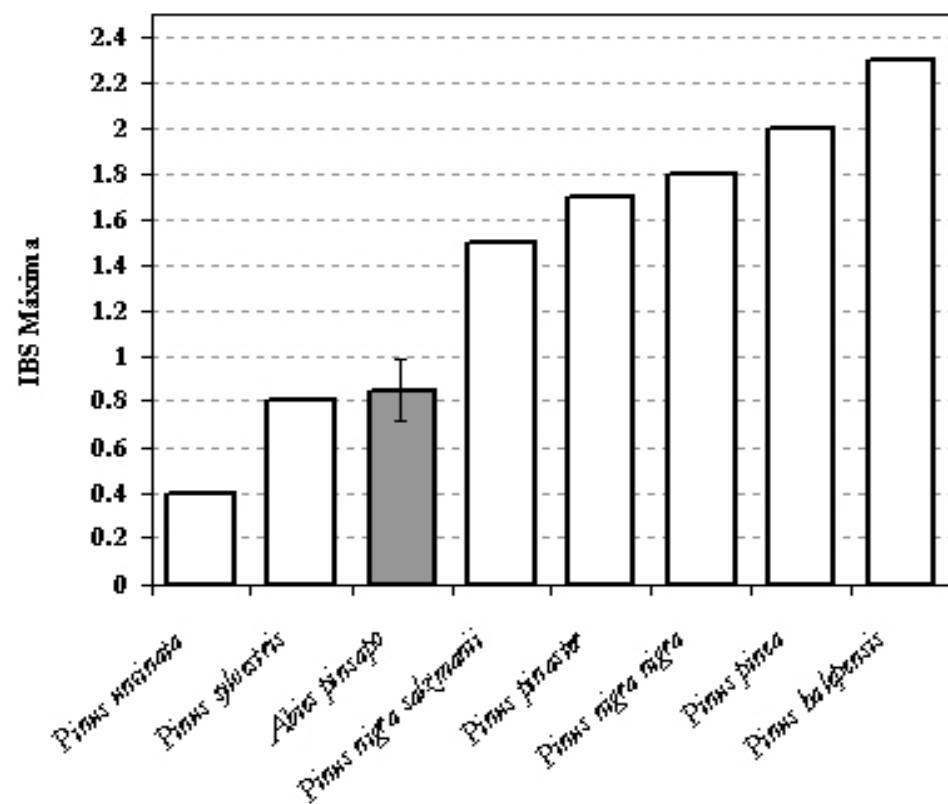
**Figuras 1A y 1B.** Situación de *Abies pinsapo* (línea roja) y de otras especies forestales mediterráneas (Quézel. 1976, Les forêts du pourtour méditerranéen. Pages 9-33 in UNESCO editor. Forêts et maquis méditerranéens: écologie, conservation et aménagements. Note technique MAB. Paris). en función del

coeficiente pluviotérmico de Emberger (Q) y la temperatura media de las mínimas del mes más frío (m).

A

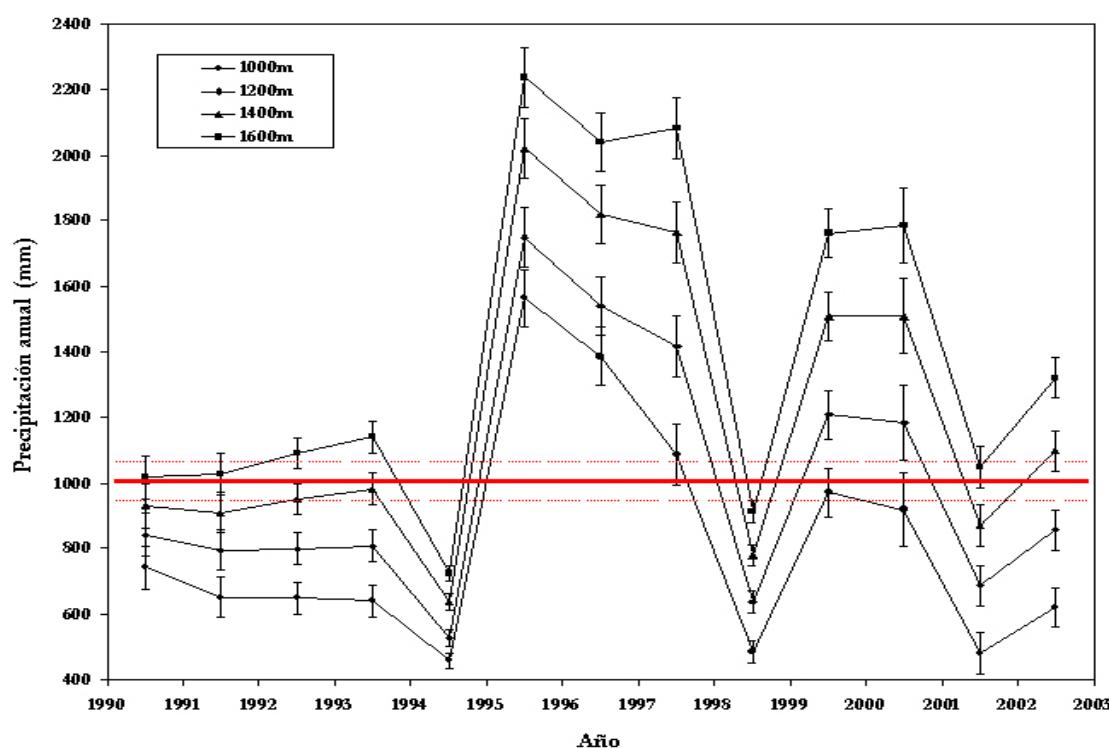


B



Figuras 2A y 2B. Ejemplo de diagrama bioclimático de Montero Burgos y González Rebollar para la

zona de distribución del pinsapar (Cortijo Quejigales, Ronda, 1180 m) asumiendo una capacidad de retención edáfica de 0 mm y una escorrentía del 30 % (A) y posición de las especies en relación a la Intensidad Bioclimática Seca Máxima (IBS Máxima) (B).



**Figura 3.** Precipitación anual en diferentes cotas del gradiente altitudinal desde el año hidrológico 1990-91 hasta 2002-03. La línea roja indica la precipitación media en el límite inferior de distribución del pinsapar (1000m) promediada para series temporales amplias (más de 55 años); las líneas rojas discontinuas indican el intervalo de confianza (error estándar) de dicho valor.

## Discusión

Los diferentes diagramas e índices bioclimáticos empleados presentan como denominador común la exigencia de elevadas precipitaciones como principal requerimiento ambiental. En este sentido, podemos predecir que el balance hídrico es el papel determinante en la ecofisiología de estos bosques. Los valores del coeficiente pluviotérmico de Emberger (**figuras 1A y 1B**) están siempre por encima de la isolínea correspondiente a bosques mediterráneos húmedos (bosques de abetos circunmediterráneos, cedrales, pinares de *Pinus pinaster* y *P. nigra sensu lato*, alcornocales y quercíneas deciduas mediterráneas) (Barbero & Quézel. 1975. Anal. Inst. Bot. Cabanilles 32:1245-1289; Quézel. 1980. Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. in P. Pesson editor. Actualités d'Ecologie Forestière. Bordas Ed, París; Quézel & Barbero. 1982. Ecología mediterránea 8:15-29. El valor de Intensidad Bioclimática Seca del pinsapo es sólo comparable al de los pinos más orófilos de la Península y está, en todo caso, bastante por debajo del valor encontrado para aquellas especies del género *Pinus* que conviven actualmente con él (**figura 2B**).

Ambas aproximaciones (el coeficiente pluviotérmico de Emberger y el valor de IBS) ilustran la situación relictiva de *Abies pinsapo* y su baja tolerancia a la sequía, justo al contrario que las especies forestales que hoy conviven con él: el pino de Alepo, que es curiosamente el de mayor IBS de toda la península (**figura 2B**) y la encina, que es la especie forestal con mayores rangos de tolerancia de

todo el ámbito mediterráneo (**figura 1B**). Esta mejor adaptación, mostrada de forma potencial por los diagramas bioclimáticos y la tendencia natural de reclutamiento de *Quercus* y *Pinus* mediterráneos, observada de hecho en el sotobosque del pinsapar, permiten predecir la progresiva formación de comunidades mixtas en el área de estudio. A todo lo anterior, debemos sumar que las especies relictas son particularmente sensibles a oscilaciones o cambios climáticos al ocupar áreas reducidas, bajo condiciones próximas a sus límites de tolerancia y con el factor añadido de contar con pequeñas poblaciones, generalmente disyuntas, susceptibles de sufrir fenómenos de extinción puramente estocásticos (Hamrick. 2004. Forest Ecology and Management 197:323-335; Davis & Shaw. 2001. Science 292:673-679).

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado gracias a una beca FPU concedida a Juan Carlos Linares y mediante varios proyectos de investigación concedidos por el Ministerio de Ciencia y la Junta de Andalucía a José Antonio Carreira.