

# Tesis doctoral

## *Patrones de disponibilidad y limitación por nutrientes como indicadores de estado en masas de pinsapar (*Abies pinsapo* Boiss.)*

*Abies pinsapo* es una conífera endémica del sur de la Península Ibérica y la más occidental del grupo de abetos que quedaron aislados en determinadas crestas montañosas escarpadas de la cuenca circum-Mediterránea al finalizar la última glaciación. Los pinsapares andaluces ocupan una extensión de aproximadamente 2400 ha de las Sierras Subbéticas, la mayor parte de la cuál está incluida en los 3 siguientes Espacios Protegidos: Parque Natural de Sierra de Grazalema (Cádiz), Reserva Natural de los Reales de Sierra Bermeja y Parque Natural de Sierra de las Nieves (Málaga). (Figura 1 .

Los pinsapares representan uno de los ecosistemas más singulares de la Península Ibérica, ya que a su carácter relictivo y gran interés conservacionista hay que añadir que representan un caso excepcional de bosque de fisionomía templada pero sometido en la actualidad a un clima de estacionalidad mediterránea. A pesar del gran interés científico que podría suscitar el estudio de los pinsapares desde un punto de vista funcional, han sido escasos los estudios que han abordado la ecología de los pinsapares. Una excepción son los trabajos realizados por el equipo de los Dres. M. Arista y S. Talavera (Universidad de Sevilla), enfocados a la caracterización de la estructura y a la biología reproductiva de los pinsapares de Sierra del Pinar (Sierra de Grazalema, Cádiz). Por tanto, todos los aspectos de la biogeoquímica, e incluso algunos de los aspectos básicos estructurales y edafológicos de los pinsapares, especialmente de aquéllos menos estudiados de la provincia de Málaga, eran inéditos hasta el momento. El objetivo principal de esta memoria fue responder a la siguiente pregunta: ¿Cómo se comporta en términos biogeoquímicos un ecosistema que "parece un bosque templado de coníferas" pero sometido a un clima de estacionalidad mediterránea?. Para ello, se plantearon dos tareas básicas: i) Caracterizar la variabilidad estacional en la disponibilidad de N y P en el subsistema suelo-hojarasca del pinsapar; ii) Caracterizar déficits y limitaciones nutricionales de las masas (para N y P) a partir del balance entre la tasa de suministro desde el suelo y la demanda por parte de las plantas. Para cumplimentar ambas tareas se realizó una amplia batería de análisis y experimentos de campo y laboratorio. Destacamos, por su novedad en estudios sobre ecosistemas mediterráneos, la inclusión de ensayos acerca de las respuestas de raíces tanto en términos de proliferación en microsítios fertilizados en campo (incubación de cilindros de crecimiento radicular), como en términos de tasas de absorción de iones marcados isotópicamente en laboratorio (bioensayos).

### Tesis doctoral

**Autor:**

José Liétor Gallego

**Director:**

Jose Antonio Carreira de la Fuente y Roberto García Ruíz

**Centro:**

Area de Ecología. Dpto. de Biología Animal, Vegetal y Ecología. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Jaén

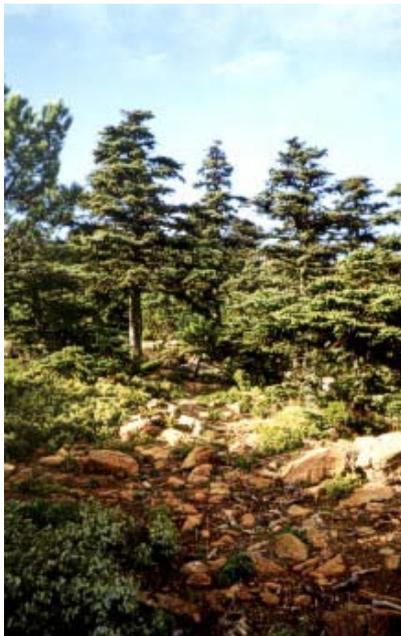
**Fecha de lectura:**

17 de Mayo de 2002

**Tabla 1.** Diseño experimental de nuestro estudio y denominación de las parcelas seleccionadas para cubrirlo.

		LITOLOGÍA	
		Calcárea	Serpentinitica
ESTADO SUCESIONAL	Agradativo temprano	C1	S1
	Agradativo tardío	C2	S2
	Maduro	C3a C3b	Combinación inexistente

Nuestro estudio fue desarrollado en los pinsapares de Sierra de las Nieves y Los Reales de Sierra Bermeja, ambos en la provincia de Málaga. Dado que estos pinsapares presentan características topográficas y microclimáticas similares, la litología y el estado sucesional de la masa fueron consideradas como las dos principales fuentes de variabilidad del estudio. En la **Tabla 1** se muestra el diseño experimental correspondiente. Se adjuntan asimismo algunas imágenes del aspecto general de algunas de las parcelas seleccionadas para cubrir el diseño experimental (**Fotos 1, 2 y 3**).



**Foto 1.** Parcela S1. Estado agradativo temprano sobre serpentinas.



**Foto 2.** Parcela S2. Estado agradativo tardío sobre serpentinas.



**Foto 3.** Parcela C3a. Estado maduro sobre substrato calcáreo.

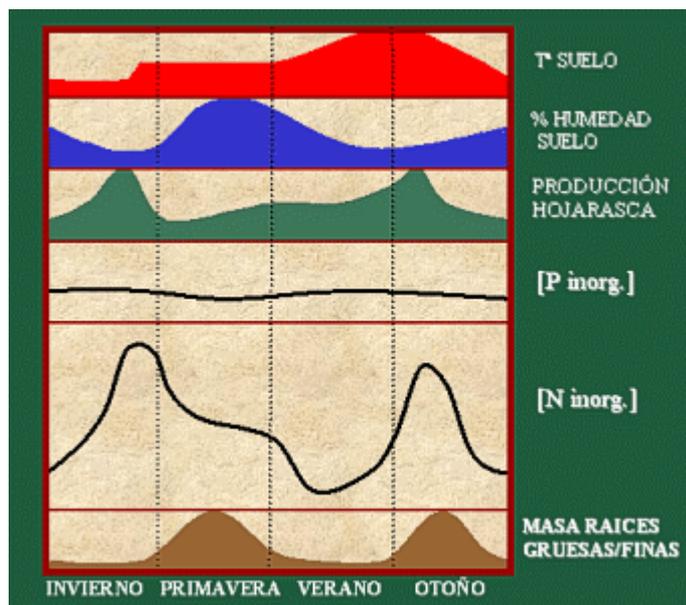
La escasa disponibilidad de N mineral y las elevadas relaciones C/N, las reducidas tasas de nitrificación y mineralización netas del N, y de desnitrificación, y sobre todo, la proliferación significativa de raíces finas ante fertilizaciones con N y las elevadas tasas de absorción radicular de N en condiciones de laboratorio ("hunger response"), son algunas de las evidencias que indican que los pinsapares calcícolas se encuentran limitados por N, como es habitual en bosques templados de coníferas. El hecho de que los pinsapares sobre calizas mostraran un incremento generalizado en la disponibilidad de N con la sucesión, que responde al considerable incremento sucesional en el contenido de materia orgánica de sus suelos, indicaría que la limitación por N tiende a aliviarse conforme el bosque se hace más viejo.

En contra de lo que cabría esperar en suelos desarrollados sobre serpentinas, caracterizados por una elevada carencia de macronutrientes (entre ellos, N y P), los pinsapares serpentínícolas de Sierra Bermeja mostraron concentraciones de N en cualquiera de sus compartimentos (suelo, hojarasca, raíces, follaje) y tasas de circulación de N extraordinariamente elevadas, tanto en relación con los pinsapares calcícolas comparables sucesionalmente, como en relación con datos bibliográficos correspondientes a otros bosques templados o mediterráneos de coníferas. Datos preliminares sugieren que la elevada disponibilidad de N en los pinsapares de Sierra Bermeja es achacable a la existencia de entradas atmosféricas recurrentes de N. Se midieron entradas por deposición húmeda de hasta  $17\text{kg NH}_4^+ + \text{NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en los pinsapares serpentínícolas, frente a los  $2.7\text{kg NH}_4^+ + \text{NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  medidos en pinsapares calcícolas de estado sucesional comparable. El origen de las mismas podría ser el foco contaminante del Campo de Gibraltar (**Figura 2**), en asociación con un elevado efecto föehn en dichos pinsapares que focaliza la deposición de contaminantes sobre los mismos (estos aspectos se están estudiando en la actualidad más detalladamente a través del proyecto CICYT BOS2000-897).

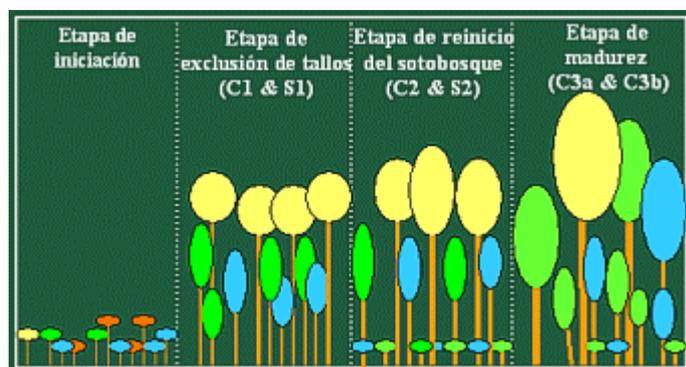
La entrada de N está promoviendo uno de los primeros casos de saturación por N en bosques mediterráneos, una situación más propia de bosques del Norte de Europa y Norteamérica. La consecuencia más relevante del proceso de saturación por N es la aparición de una deficiencia en P (que no es suministrado simultáneamente con el N). Pruebas de este déficit son i) las bajas disponibilidades de P en suelo, hojarasca y follaje, especialmente en términos de la relación N/P, ii) las altas tasas de actividad fosfatasa, iii) las reducidas tasas de solubilización y las altas tasas de inmovilización de P, y sobre todo iv) el crecimiento preferencial de raíces finas ante fertilizaciones con P. A medio-largo plazo, la deficiencia nutricional en ecosistemas sometidos a saturación por N suele derivar en altas susceptibilidades a perturbaciones (heladas, parasitosis, vendavales, o cualquier estrés hídrico o nutricional) y mortalidad, primero de pies aislados y después de amplios rodales. Dado que la masa de Sierra Bermeja constituye el único ejemplo de pinsapar serpentínícola que existe en el mundo, las consecuencias que pueden derivarse si no se aborda el problema serían especialmente graves.



**Figura 2.** Localización geográfica, relativa al foco de contaminación atmosférica del campo de Gibraltar, de las principales masas de pinsapar del sur de la Península Ibérica.



**Figura 3.** Modelo conceptual de la relación entre las variaciones estacionales de la temperatura y la humedad del suelo, la producción de hojarasca y de raíces, y la disponibilidad de N y P inorgánicos en los pinsapares de estudio.



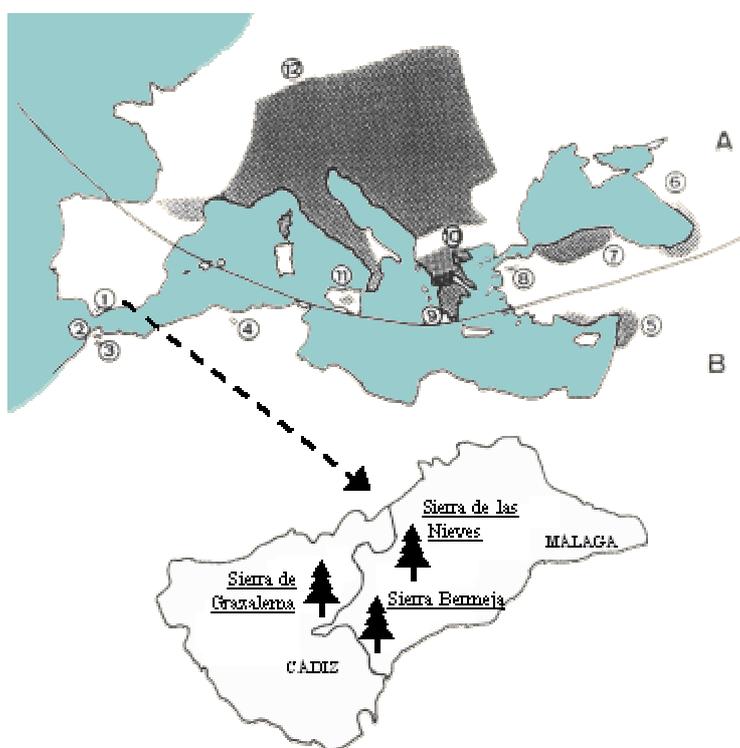
**Figura 4.** Etapas idealizadas del desarrollo vertical de masas forestales templadas durante la sucesión tras una perturbación. Cada color representa a una especie forestal ó, en nuestro caso, a estratos de una misma especie que se van diferenciando conforme el bosque avanza en la sucesión.

sucesionales incluidas en nuestro diseño experimental se corresponderían, según los análisis estructurales realizados, con las 3 últimas etapas del modelo de desarrollo vertical propuesto para masas forestales templadas (**Figura 4**).

En los últimos años han surgido estudios que vienen a demostrar que la Teoría Biogeoquímica forestal podría presentar cierto sesgo, debido a que la mayoría de los estudios de los que han emanado sus principios generales se han realizado fundamentalmente en regiones templadas y sometidas a polución atmosférica más o menos intensa (por tanto, con sus ciclos naturales de elementos, especialmente C, N y S, alterados). Nuestros resultados indican que los pinsapares calcícolas representan un modelo experimental adecuado para contrastar tales teorías en los siguientes términos: i) ¿hasta qué punto son

De nuestro estudio se concluye que los pinsapares muestran patrones estacionales microclimáticos típicamente mediterráneos, con dos periodos favorables (primavera y otoño) y dos periodos desfavorables de reposo (verano e invierno) que controlan las variaciones estacionales en la masa de raíces finas (en proporción a las gruesas), en la producción de hojarasca, y en las concentraciones de N mineral del suelo. Durante los periodos de reposo, las condiciones extremas de temperatura y humedad del suelo ralentizan la actividad de los microorganismos relacionados con el ciclado del N en el suelo (mineralizadores del N y nitrificantes), detectándose mínimos anuales de concentración de N. La falta de N se compensa con una mayor masa de raíces finas (en términos relativos, desciende el cociente raíces gruesas/raíces finas). Al final del invierno y principios del otoño, coincidiendo con máximos de producción de hojarasca y con la recuperación de condiciones de temperatura y humedad favorables, se incrementan los niveles de N mineral en el suelo (no siendo necesario mantener una masa de raíces finas tan elevada como la de los periodos desfavorables). La ausencia de patrones estacionales de disponibilidad de P en el suelo también se considera una característica típicamente mediterránea (**Figura 3**). Por otro lado, se ha demostrado que los patrones estructurales y de dinámica sucesional en los pinsapares, y los valores medios anuales de la mayoría de las propiedades y procesos biogeoquímicos en pinsapares sobre calizas no sujetos a contaminación atmosférica, se ajustan a los estándares propuestos en la literatura para bosques templados de coníferas. Así, las 3 etapas

sesgadas debido a los efectos recientes de la contaminación atmosférica y otras actividades humanas que afectan particularmente a los bosques templados norteamericanos y centroeuropeos más intensamente estudiados?, ii) ¿resultan consistentes los patrones de flujos biogeoquímico derivados de estudios sobre bosques templados típicos, cuando se contrastan con los de bosques (pinsapares) de carácter mixto templado-mediterráneo (sesgo geográfico)?, y iii) los patrones de flujo biogeoquímico que se observan hoy en los pinsapares (relictos de bosques templados de coníferas ahora bajo clima de estacionalidad mediterránea), ¿podrían servir para anticipar, con las debidas reservas en cuanto a escala temporal de la respuesta, lo que podría llegar a observarse en el futuro en bosques templados de materializarse el escenario de calentamiento global?.



**Figura 1. Arriba.** Distribución de los abetos circum-Mediterráneos y *Abies alba*. **A.** Grupo de *Abies alba*. **B.** Grupo de *Abies pinsapo*. 1. *A. pinsapo*; 2. *A. maroccana*; 3. *A. tazaotana*; 4. *A. numidica*; 5. *A. cilicica*; 6. *A. normanniana*; 7. *A. bormuelleriana*; 8. *A. equi-trojani*; 9. *A. cephalonica*; 10. *A. boriis-regis*; 11. *A. nebrodensis*; 12. *A. alba*. **Abajo.** Principales masas de pinsapar del sur de la Península Ibérica.