

Incidencia de la procesionaria del pino, *Thaumepotaea pityocampa* Denis & Schiffermüller, 1775 en masas forestales de *Pinus nigra salzmannii* (Dunal) Franco, 1943 y su relación con variables ambientales

Patricia Gilarte, Inmaculada Castro, Yao Adjiguita Kolombia

Ecología Forestal. Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas s/n, 23071, Jaén
la_mago_patry@hotmail.com

Resumen

El *Pinus nigra salzmannii* es una subespecie relicta del pino negral presente en la región mediterránea de la Península Ibérica localizada, fundamentalmente, en forma de masas aisladas de las cotas superiores de diversas elevaciones montañosas. El parásito fitófago *Thaumopotaea pityocampa* se alimenta de este árbol durante su estado larvario, provocando daños apreciables en el estado fitosanitario de los árboles. En este estudio se ha medido la incidencia del parásito sobre los árboles del Parque Natural de Sierra Magina y su relación con variables bióticas y abióticas; para ello se ha realizado un muestreo en transecto empleando la medida de la distancia al vecino más próximo como un estimador de la densidad de la masa forestal, distinguiendo entre dos zonas de bosque estructuralmente diferentes, una con los árboles en distribución más abierta, y otra de bosque cerrado. Los resultados confirman la hipótesis de que se produce un número significativamente mayor de infecciones en bosque abierto y que esta afección diferencial está relacionada con las diferencias estructurales de los dos tipos de bosque. Además, para el hecho de que los árboles en bosque abierto se vean más afectados, se plantea la hipótesis de que se deba a la ecología de la larva de la procesionaria con respecto a la temperatura a la que esta sobrevive, siendo requeridos posteriores estudios para confirmar dicha hipótesis. Para las variables bióticas y abióticas no se han encontrado relaciones significativas con la incidencia del parásito.

INTRODUCCIÓN

Las plantas terrestres y los insectos fitófagos que se alimentan de ellas constituyen una parte importante de la biodiversidad en la superficie terrestre; en la mayoría de especies fitófagas existe una alta especificidad por el alimento (Mitter & Futuyama, 1992), promovida por un proceso de co-evolución específica de cada uno de los llamados "síndromes" o pares de interacción entre el parásito y la planta.

La especie *Thaumetopoea pityocampa* está incluida en la familia Thaumetopoeidae. La larva de esta especie está considerada como plaga forestal, existiendo en España cuatro especies de esta familia, tres de las cuales son plagas, atacando dos de ellas a coníferas: *T. pityocampa* y *T. pinivora* (Pascual, 1988). El efecto de *T. pityocampa* en especies de coníferas en la Península Ibérica ha sido observado y estudiado para las especies vegetales de *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris nevadensis* y *Pinus nigra salzmannii*. (Hodar, Zamora & Castro, 2002) (**Fotografías 1 y 2**). Esta plaga es la de mayor importancia socio-económica en

las masas de pinos de la región mediterránea, pudiendo llegar a niveles que pongan en peligro la supervivencia de las masas forestales a las que afecta (Robredo, 1980).

Este estudio se ha realizado considerando como objeto de estudio una masa forestal de *Pinus nigra salzmannii*, una subespecie del *Pinus nigra* (Alnord 1785), localizada en el Parque Natural de Sierra Mágina, Jaén. Este árbol puede alcanzar los 35-50 m de altura y un diámetro normal (DBH) de 1-1.8 m (Gymnosperm Database, 2010). El ritidoma es plateado en los árboles jóvenes, haciéndose castaño oscuro en adultos (Amaral Franco 1986). Las acículas, que son de color verde claro y se empaquetan en fascículos de dos, siendo su longitud de 6-16 cm y su grosor de 0.08-0.15 cm, perduran en las ramas de 2 a 4 años (Gymnosperm Database, 2010). Algunos estudios señalan que el grosor de la hoja es un carácter bastante distintivo en las subespecies de *P. nigra*, siendo en *P. nigra salzmannii* menor que en las subespecies de climas más fríos (Gymnosperm Database, 2010). La piña es de pequeño tamaño (4-7 cm) (Gymnosperm Database, 2010) y las semillas miden 3-8 mm, con un ala que alcanza los 20 mm (Amaral Franco, 1986). Esta subespecie se distribuye en las zonas montañosas del S de Francia y España, con un rango de altitud desde los 500-1800 m, pudiendo alcanzar los 2100 m (Amaral Franco, 1986).



Fotografía 1. Imagen ilustrativa de un bolsón de procesionaria (*Thaumetopoea pityocampa*) establecido sobre un individuo joven de *Pinus nigra*.

El objetivo de este estudio ha sido evaluar la incidencia de *T. pityocampa* sobre la masa forestal de *P. nigra salzmannii* de Sierra Mágina. Para alcanzar este objetivo se ha planteado la hipótesis de que la incidencia del ataque del parásito es función de la densidad de la masa forestal, siendo más susceptibles a dicho ataque los árboles presentes en el borde de la masa (**Fotografía 3**), donde a priori existe

una menor densidad de árboles y una menor área basal y que la incidencia está además modulada por las variables ambientales en el entorno de los árboles, que son también función de la estructura del bosque.



Fotografía 2. Aspecto típico de la defoliación provocada por las larvas de procesionaria (*Thaumetopoea pityocampa*) sobre un individuo joven de *Pinus nigra*. Pueden asimismo observarse los bolsones en los que se produce el desarrollo de la siguiente generación de larvas del insecto.

Por tanto, el diseño experimental se ha enfocado a determinar si la incidencia del ataque por procesionaria depende de: *i*, las características estructurales de la masa forestal; *ii*, las características morfométricas de los individuos presentes en la masa; y *iii*, de las condiciones ambientales presentes en la mencionada localidad. Además, se han buscado relaciones funcionales entre una variable indicadora de la incidencia del parásito (el grado de defoliación) y las variables mencionadas anteriormente.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en el parque natural de Sierra Mágina que se localiza en la parte Sur de la provincia de Jaén, constituyendo una entidad montañosa bien diferenciada, cuya extensión es de 19900 Ha (Torres et al. 2000).

En cuanto a la estructura sedimentaria de las rocas carbonatadas, se encuentra alterada por diversos fenómenos tectónicos, procesos responsables de la generación de diversos relieves (J. A. Torres, A. García, L. Ruiz y E. Cano 2000). Los suelos predominantes en la zona son del tipo de los regosoles calcáreos, procedentes de materiales no consolidados con una profundidad de 10 a 25 cm. De

forma menos abundante también se observan litosoles, que corresponden a suelos muy degradados limitados en profundidad por roca continua, con una profundidad inferior a 10 cm y menor retención hidrológica.



Fotografía 3. Aspecto general de la transición entre zonas abiertas, sin presencia de bosque, y el bosque cerrado, al fondo de la imagen, de masas de *Pinus nigra* en la zona de estudio seleccionada en el parque Natural de Sierra Mágina. Puede observarse en el área intermedia la zona de transición de bosque abierto, con árboles relativamente dispersos.

Las condiciones climáticas de la zona son relativamente extremas, presentando largos periodos de sequía y precipitaciones bastante irregulares y responsables de una marcada estacionalidad e inestabilidad interanual (Alejano R. y Martínez Montes E. 2006). Estas condiciones propician la presencia de series edafoxerófilas, caracterizadas principalmente por la presencia de pinares abierto de *Pinus nigra* al que acompañan ejemplares de *Juniperus phoenicea* o *J. hemisphaerica*, que se desarrollan típicamente en lugares con alta pendiente y sustrato rocoso muy xérico, correspondiendo al termotipo oromediterráneo. (Valle et al. 2004).

Para el presente estudio se seleccionaron parcelas situadas en el término municipal de Huelma, a una altitud media de 1761 m.

Diseño experimental

Los datos estructurales se obtuvieron mediante un diseño de muestreos en transecto, realizándose 3 transectos con una longitud de 20 m en cada uno de ellos y una intersección de 20 m (Husch et al. 2003). El primer muestreo se realizó con un transecto en el borde de la masa forestal con coordenadas UTM 0460707613 4174317, que se denominó "bosque abierto" (**Fotografía 3**) y en el que se realizaron un total de 7 puntos de muestreo realizándose el segundo en el interior de la masa, con dos transectos, el primero con cuatro puntos de muestreo y coordenadas UTM 3050460614 4174235 y el segundo con 2 puntos de muestreo

y coordenadas UTM 3050460672 4174215, denominándose a esta zona "bosque cerrado" (**Fotografía 3**). Para cada punto de muestreo dentro de los transectos se dividió el espacio en cuatro cuadrantes, seleccionándose un árbol focal como aquel más cercano en cada cuadrante. Además, se buscó el vecino más próximo al árbol focal para cada uno de los cuadrantes. La distancia al vecino más próximo se empleó para estimar la densidad de árboles en ambas zonas de muestreo. Asimismo, se midieron los parámetros de diámetro normal (DBH, empleando una forcípula) y la altura (regla de Christensen) del vecino más próximo al árbol focal, con el fin de obtener los valores de variables estructurales de la masa y la distribución de los árboles en clases de tamaño. En cuanto a variables de tipo abiótico se midieron la humedad (sonda TDR, Cassel et al. 1994) y la profundidad del suelo, empleando para ésta última la profundidad insertada de una barra de hierro hasta alcanzar la roca madre. Ambas variables se midieron en el entorno los vecinos más próximos al árbol focal para cada uno de los cuadrantes seleccionados en cada punto de muestreo.

Por último, se registró el número de ataques así como el grado de defoliación (**Fotografía 2**) que presentaba cada uno de los vecinos más próximos al árbol focal de cada cuadrante para estimar el grado de afectación de los árboles por procesionaria. Este grado de afectación puede estimarse a partir de los grados de decoloración o defoliación (Hagner y Rigina 1998 Price et al 1998). En nuestro caso se asumió que dentro del área mediterránea la defoliación tiene un valor más indicativo del estado de salud de la masa forestal que la decoloración, la cual se encuentra afectada en multitud de ocasiones por las propias condiciones de la estación (Navarro-Cerrillo et al. 2000).

Análisis de datos

En primer lugar, los datos han sido analizados para caracterizar la estructura de bosque en ambos tipos (bosque abierto y bosque cerrado) determinado la densidad de los árboles y los histogramas de frecuencias basados en altura y DBH. En segundo lugar, se realizó un análisis estadístico para evaluar la relación existente entre el grado de defoliación y el número de infecciones mediante una tabla de contingencia con un contraste Chi-cuadrado. Además, se determinó la existencia de diferencias significativas empleando un ANOVA de una vía o un análisis t de Student para las distintas comparaciones. Finalmente, se realizó un análisis de regresión múltiple para buscar relaciones funcionales entre el grado de infección por el parasite y las distintas variables bióticas y abióticas. En todos los casos se empleó un nivel de significación $\alpha=0.05$. Los cálculos se realizaron empleando el programa estadístico Statistica 7.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura del bosque

El diseño de muestreo planteado en este trabajo consideró, como se ha indicado anteriormente, dos tipos de bosque con diferentes estructuras, tanto en densidad como situación, "bosque abierto" en el borde de la masa forestal, y "bosque cerrado", en el interior de la misma. Este diseño se basó en la apreciación *de visu* de una mayor afección por procesionaria en árboles localizados en el exterior de la masa y en la hipótesis de que la existencia de una estructura forestal más abierta es una variable de control que favorece el ataque del parásito. El bosque abierto se vio caracterizado por una distancia media entre árboles de 9 m y una densidad de 137 árboles ha⁻¹. Por el contrario, el bosque cerrado presentó una distancia media entre árboles de 4 m y una densidad de 603 árboles ha⁻¹ (**Tabla 1**).

Tabla 1. Valores de densidad y área basal en los dos transectos realizados "bosque abierto" y "bosque cerrado"

	Bosque cerrado	Bosque abierto
Distancia total (m)	97.7	239.52
Distancia media (m)	4.1	8.55
Densidad (árboles ha⁻¹)	602.9	136.66
Área basal total (m²)	0.9	1.17
Área basal media (m²)	36·10 ⁻³	42·10 ⁻³
Área basal total (m² ha⁻¹)	21.7	5.69

En la **Figura 1** se observa la distribución de frecuencias relativas de las distintas clases de tamaño diamétricas en ambos transectos. Los resultados muestran que en ambos transectos predominan los árboles de las clases diamétricas [0-10cm] y [10-20cm], representando más del 50% de los árboles. En el bosque abierto, los árboles alcanzaron un tamaño máximo de 60-70cm, mientras que en el bosque cerrado los árboles más gruesos se encontraron en la clase de DBH de 40-50cm.

En cuanto a la distribución de frecuencias relativas en alturas (**Figura 2**), en el bosque abierto los árboles más numerosos se encontraron en la clase [2.5-5 m], representando el 54% del total. Los árboles menos frecuentes fueron los de las clases [0-2.5 m] y [>7.5 m] de altura, cada una representada por el 11% de los árboles. El resultado fue similar en bosque cerrado donde los árboles de la clase [0-2.5m] y [>7.5m] de altura representaron el 4 y 17 % del total, respectivamente. Sin embargo en bosque cerrado los árboles más numerosos han sido representados por la clase de altura [5-7.5 m], con un 54% de los árboles.

En general, el bosque abierto está dominado por árboles con menos de 5 m de altura mientras el bosque cerrado está dominado por los árboles de más de 5 m de altura. Esta observación estaría relacionada con la competencia de los árboles por la luz, debido a que en bosque cerrado, la competencia que se establece entre los árboles de alturas similares estimula el crecimiento en altura (Bengoa Martínez de Manjodana, 1999).

En la **Figura 3** se muestra la relación existente entre el diámetro de los árboles y su altura para ambos tipos de bosque. Como era de esperar, existe una relación alométrica entre DBH y altura para ambos casos, aunque se encontró una mayor altura de los árboles para las clases de tamaño más pequeñas en el bosque cerrado. Esto puede estar relacionado con la estimulación al crecimiento en altura que supone la competencia que se establece por la luz en un dosel más cerrado, de manera que los árboles más jóvenes y de menor tamaño presentan una mayor altura para obtener una mayor cantidad de luz en presencia de árboles más viejos y dominantes. Esta competencia por la luz no sería una variable de control para el crecimiento de árboles pequeños en doseles más abiertos.

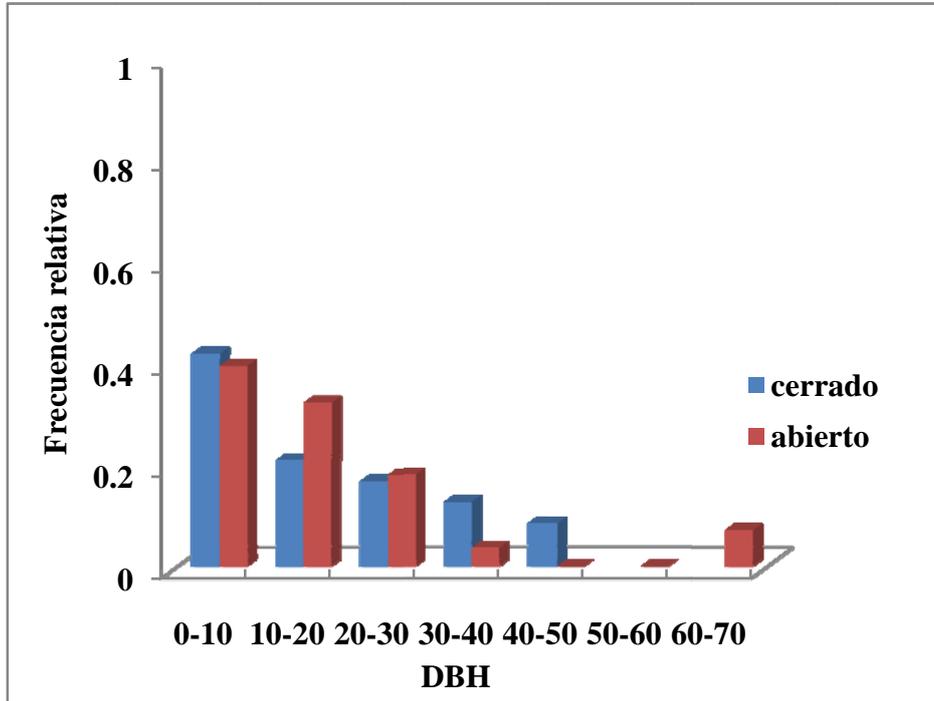


Figura 1. Histograma de clases de tamaños basado en la medida de DBH para los dos transectos considerados.

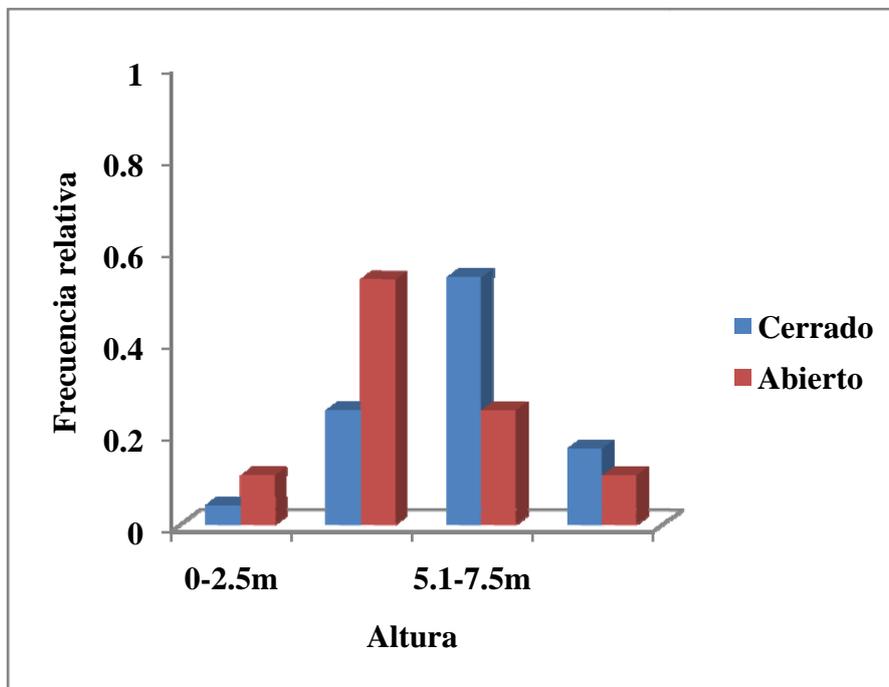


Figura 2. Histograma de clases de tamaños basado en la medida de la altura en "bosque abierto" y "bosque cerrado".

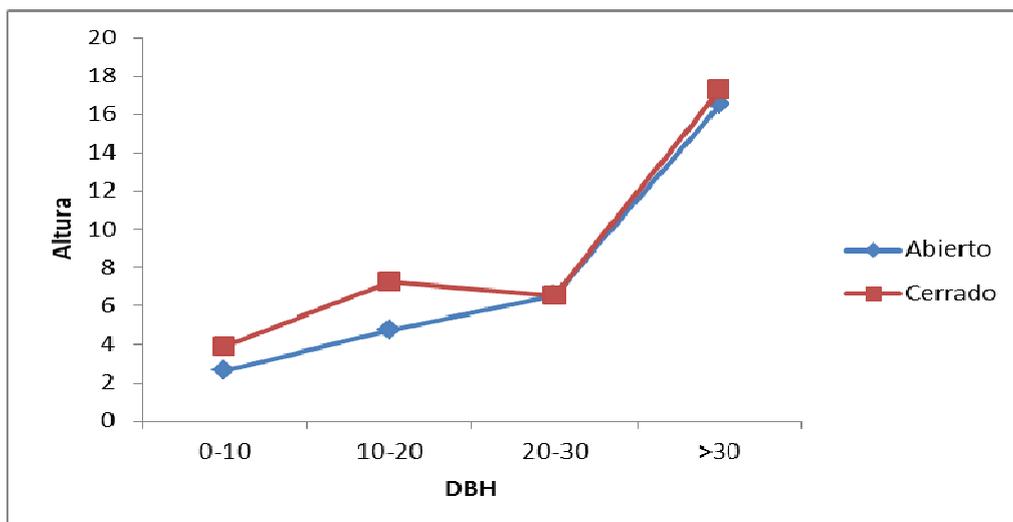


Figura 3. Relación alométrica existente entre DBH y altura de los árboles en los dos tipos de masa forestal.

Incidencia de procesionaria

a, Número de infecciones en ambos transectos

La incidencia de la procesionaria se caracterizó, en primer lugar, mediante el número de infecciones que presentaban los árboles. Se encontraron diferencias significativas entre ambos tipos de bosque (**Tabla 2**), siendo significativamente mayor el número de infecciones en bosque abierto (2.43 infecciones) que en bosque cerrado (0.67 infecciones).

Tabla 2. Número medio de infecciones en bosque abierto y cerrado. Letras diferentes indican diferencias significativas (ANOVA de una vía, $p < 0.05$).

Número de infecciones	
Bosque abierto	2.43(± 2.28) ^a
Bosque cerrado	0.67(± 0.92) ^b
P	0.0009

Este resultado confirma en parte la hipótesis que se planteó anteriormente y estaría de acuerdo con lo descrito por Demolin (1969b), que mostró que la hembra de la procesionaria tenía más preferencia a infectar los árboles aislados que aquellos en el bosque cerrado. Además de que la infección del pino por la hembra de la procesionaria tenía más primacía en las extremidades de las ramas muy altas. El factor que determina la preferencia de la hembra de la procesionaria a infectar los árboles aislados podría ser explicado por la diferencia de temperatura que puede existir entre el bosque abierto y el bosque cerrado. Hódar *et al.*, (2001a y b) también han mostrado que el ataque de procesionaria está muy relacionado con la temperatura del sitio, aumentando el incremento de temperatura la susceptibilidad de un sitio a ser infectado. Estudiando los factores ecológicos de la procesionaria, Demolin (1969a) ha llegado a la conclusión de que la larva aislada

no puede sobrevivir a temperaturas inferiores a -7°C , y que los grupos no sobreviven cuando la temperatura es menor a -15°C . La preferencia que tiene la hembra de la procesionaria a infectar los pinos aislados puede estar relacionada con una estrategia del parásito para sobrevivir dentro de su nicho ecológico. No se disponen actualmente de datos relacionados con la evolución de la temperatura en los sitios de muestreo considerados en este trabajo por lo que sería preciso ampliar esta experiencia con nuevas variables explicativas, incluyendo la temperatura.

b, Relación entre el número de infecciones y el grado de defoliación

En la **Figura 4** se muestra el análisis de regresión simple realizado para relacionar de manera funcional el número de infecciones y el grado de defoliación. En esta figura, se ve que en ambos sitios (bosque cerrado y bosque abierto) el grado de defoliación está determinado por el número de infecciones. Sin embargo, el grado de defoliación está más correlado en el bosque abierto ($R^2 = 0.75$) que en el bosque cerrado ($R^2 = 0.69$). El análisis estadístico de estos datos con el test Chi cuadrado (**Tablas 3 y 4**) mostró que no había una diferencia significativa en la presencia o ausencia de infección en la determinación del grado de defoliación en ambos sitios. Esta ausencia de diferencia significativa debe ser tomada con cautela. El alto grado de defoliación no va siempre relacionado con un gran número de infecciones, esto puede ser explicado por el hecho de que se encontraron árboles casi o totalmente defoliados sin ninguna infección (sin capullos). En efecto, tras una gran defoliación debida a un gran número de infecciones anterior, se ve que los capullos van disminuyendo y luego desaparecen debido a la caída y a la imposibilidad de nuevas infecciones por falta de hoja del pino. En este estado los procesos metabólicos del pino están muy limitados lo que daría lugar a la muerte del árbol.

Así, la ausencia de relación entre el grado de defoliación y número de infecciones observado puede estar relacionado con la elección de variables más que con una ausencia real de relación. En este sentido, la defoliación se tomó como un carácter semi-cuantitativo, estimando el porcentaje de copa defoliado por ataque de patógenos, lo que podría suponer un problema desde el punto de vista de la precisión de los datos. Además, la defoliación es un efecto a medio-largo plazo del ataque por el patógeno, de forma que defoliaciones observadas en un determinado instante pueden deberse a ataques y desarrollo de capullos de oruga de estaciones anteriores. De hecho, en algunas de las observaciones han sido registrados elevados porcentajes de defoliación en ausencia de capullos. Por tanto, es necesario buscar una medida más precisa tanto de la defoliación como del desfase temporal existente entre el ataque a los árboles por los patógenos y la defoliación consecuencia del desarrollo de las orugas y posterior herbivoría.

Relación entre variables bióticas, el número de infecciones y el grado de defoliación

Además de la relación entre la estructura y el grado de afección de los árboles, se hipotetizó que algunas de las características individuales de los árboles, fundamentalmente su tamaño, podría modular su susceptibilidad al ataque por los patógenos. Los resultados del ANOVA de una vía para evaluar la relación entre los factores abióticos, el número de infecciones y el grado de defoliación (Tabla 5) muestran que únicamente en bosque abierto existió una relación entre DBH y el número de infecciones. La altura de los árboles no mostró ninguna relación significativa con el grado de defoliación o el número de infecciones, no existiendo diferencias significativas entre las distintas clases de altura para ambas variables en ninguno de los dos tipos de bosque.

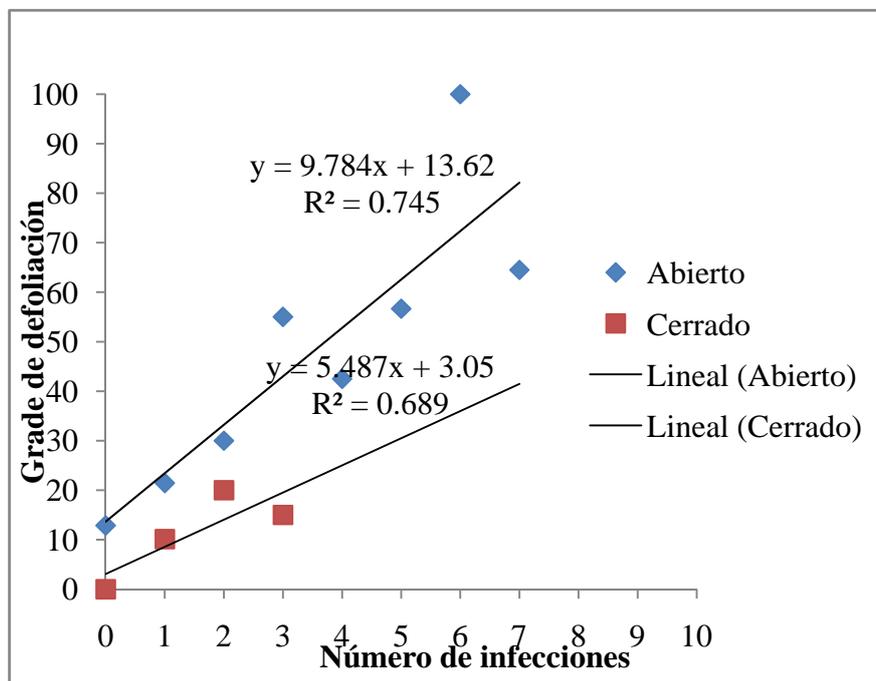


Figura 4. Relaciones lineales entre el grado de defoliación y el número de infecciones para los dos transectos

Tabla 3. Tabla de contingencia para la presencia y ausencia de los eventos "número de infecciones" y "grado de defoliación" en bosque abierto

Tabla de contingencia bosque abierto				
	Observada		Esperada	
	Presencia Defoliación	Ausencia Defoliación	Presencia Defoliación	Ausencia Defoliación
Presencia Capullos	16	5	14.25	6.75
Ausencia Capullos	3	4	4.75	2.25
g.l.	α	X^2 esperada	X^2 observada	
1	0.05	3.841	0.4375	p>0.05

Para identificar las diferencias significativas entre las distintas clases de tamaño en cuanto al número de infecciones se realizó un análisis t de Student. Como se observa en la **Tabla 6**, los árboles de la clase DBH [20-30cm] mostraron el mayor nivel de infección. Este resultado puede ser explicado por dos factores: en un primer lugar el grado de infección del árbol está determinado por la disponibilidad de hojas para las larvas de la procesionaria, así se encontraron menos infecciones en los árboles de menor tamaño en comparación con sus vecinos de gran tamaño, ya que árboles mayores tienen biomasa de hojas disponibles para el consumo por

herbívoros. En segundo lugar, después de llegar a una determinada tasa máxima de infecciones, los árboles de gran tamaño (que disponen de más hojas) se ven sometidos a un alto grado de defoliación, lo que podría resultar luego en la caída de capullos (por falta de hojas que mantienen los capullos debido a la defoliación) de manera que se ven menos infecciones.

Tabla 4. Tabla de contingencia para la presencia y ausencia de los eventos "número de infecciones" y "grado de defoliación" en bosque cerrado

Tabla de contingencia bosque cerrado				
	observada		esperada	
	Presencia Defoliación	Ausencia Defoliación	Presencia Defoliación	Ausencia Defoliación
Presencia Capullos	5	6	2.29	8.71
Ausencia Capullos	0	13	2.71	10.29
g.l.	α	X^2 esperada	X^2 observada	
1	0.05	3.841	1.223	p>0.05

Tabla 5. Resultados del ANOVA de una vía para evaluar la dependencia del ataque por el patógeno respecto a variables estructurales de los árboles

	Probabilidad	
	Bosque abierto	Bosque cerrado
DBH vs Nº infecciones	0.027	0.051
DBH vs Grado de defoliación	0.939	0.747
Altura vs Nº infecciones	0.227	0.486
Altura vs Grado de defoliación	0.57	0.445

Tabla 6. Resultados del análisis t Student-Newman-Keuls para las distintas clases diamétricas en bosque abierto (letras diferentes indican diferencias significativas para $p<0.05$)

DBH	Número de infecciones
20-30	5.0 ^a
10-20	2.3 ^{ab}
>30	2.0 ^{ab}
<10	1.5 ^b

Análisis de regresión múltiple

En la **Tabla 7** se presenta el resultado del análisis de regresión múltiple entre el grado de defoliación como variable dependiente y otras variables bióticas (DBH, área basal y altura) y abióticas (distancia entre árboles, el número de infección, la dominancia, el Estado fitosanitario, la humedad del suelo y la profundidad del suelo) como variables independientes. En ambos sitios, solo el número de infecciones y el estado fitosanitario son significativamente importantes para explicar el grado de defoliación ($p < 0.05$). No existe una relación significativa entre las demás variables predictoras y el grado de defoliación.

Tabla 7. Resultados del análisis de regresión múltiple entre el grado de defoliación como variable dependiente y otros variables bióticas y abióticas como variables independientes ($p < 0.05$)

Variable independiente	Bosque abierto		Bosque cerrado	
	Coefficiente	Probabilidad	Coefficiente	Probabilidad
Distancia	0.019	0.888	0.069	0.567
DBH	0.174	0.855	-0.109	0.859
Área basal	-0.112	0.874	0.305	0.536
Altura	-0.370	0.353	-0.183	0.366
Nº infecciones	0.359	0.046	0.298	0.043
Dominancia	-0.036	0.801	-0.023	0.898
Estado fitosanitario	0.601	0.001	0.749	<0.001
Humedad	-0.092	0.472	0.050	0.685
Profundidad suelo	0.306	0.062	-0.142	0.368

CONCLUSIONES

Las diferentes zonas de bosque consideradas a priori presentan diferentes atributos estructurales, por lo que constituyen áreas distintas dentro de la masa forestal, de forma que está justificado el diseño de muestreo para encontrar relaciones entre las variables estructurales y abióticas y el ataque por el patógeno. Así, el área considerada como bosque abierto presenta una menor densidad de pies, con una mayor distancia media entre árboles y menor altura y mayor DBH de los mismos. Por el contrario, en bosque cerrado aparecen más árboles por unidad de superficie y éstos son más altos y con una menor DBH media. En base a estos datos se puede hipotetizar que las diferencias estructurales entre bosque abierto y cerrado se deban a un efecto de aumento de la competencia por la luz en la masa más densa.

A pesar de que los datos son escasos para ambos transectos parece claro que en bosque cerrado la incidencia del parásito es menor que en bosque abierto. En éste último la única variable morfométrica que ha mostrado relación con la incidencia de procesionaria es la DBH, presentándose una mayor incidencia en árboles con DBH entre 20 y 30 cm.

En cuanto a la relación existente entre la estructura del bosque y el ataque por procesionaria, los resultados muestran que en el bosque abierto el número de

ataques por el parásito es significativamente mayor en base al número de capullos de orugas observado. Por un lado, trabajos realizados para otras especies parasitas, como el realizado en Estados Unidos para la especie fitófaga *Choristoneura pinus pinus* muestran resultados opuestos al observado en este caso, observándose que para grandes densidades de *Pinus banksiana* existe una mayor incidencia del parásito (Volker C. Radeloff, David J. Mladenoff and Mark S. Boyce, 2000). Sin embargo, Demolin (1969) obtuvo resultados similares a los de este estudio con *T. pityocampa*, llegando a la conclusión de que se veían más afectados los árboles en bosque abierto. Por tanto, se plantea la posibilidad de que esto se deba a diferencias en la temperatura de las ramas de bosque abierto y cerrado, aunque para confirmar esta hipótesis es necesario tomar datos de temperatura, ya que se trata de un factor limitante en el desarrollo de la larva de *T. pityocampa*. Además, es preciso conocer de forma precisa la ecología del parásito para demostrar esta hipótesis y para encontrar una explicación al hecho de que los ejemplares en bosque abierto se vean más infectados. La ecología de los parásitos que afectan al género *Pinus* es importante para entender la preferencia de estos por unos ejemplares u otros. En el caso de los escolítidos que afectan al género *Pinus*, se ha observado que son parásitos secundarios y que afectan principalmente a árboles previamente debilitados (Monreal y Serrano, 2000).

En cuanto a la relación entre el número de infecciones, el grado de defoliación y el estado fitosanitario del árbol, las dos aproximaciones empleadas han producido resultados contradictorios. El análisis de asociación mediante tabla de contingencia no ha podido demostrar una relación entre ambas variables mediante el contraste de Chi cuadrado. Sin embargo, la regresión múltiple realizada con el grado de defoliación como variable dependiente y el número de infecciones junto a variables estructurales y abióticas como variables independientes ha mostrado una relación significativa de manera que el grado de defoliación puede expresarse como una función del número de capullos y el estado fitosanitario. Aunque el resultado es claro no puede obviarse el hecho de que los resultados puedan deberse a que se requiera un mayor esfuerzo de muestreo, a la existencia de otras especies fitófagas que provoquen defoliación o a la caída de capullos al suelo, ya que en el campo se han visto ejemplares de pino muy defoliados pero sin presencia de capullos.

REFERENCIAS

- Alejano, R. y Martínez Montes E (2006): Aportaciones de la paleobotánica a la interpretación del área natural de *Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii* en las Sierras Béticas (sureste de España) . *Forest Systems* 15 (4), 124-136
- Amaral Franco J. Do. (1986) *Pinus* L. In: Castroviejo et al. eds. *Flora Iberica I*, 168-174.
- Bengoá Martínez de Manjodana , J. L. (1999). Estimación de la altura dominante de la masa partir de la "altura dominante de parcela". ventajas frente a la altura dominante de assman . *Forest Systems* 8 (3), 311-321.
- Bertram Husch, Thomas W. Beers, John A. Kershaw, JR, 2003 *Forest mensuration* 4th ed. *John Wiley & sons, Inc., Hoboken, New Jersey*, 456 p
- Demolin, G. (1969a). Bioecología de la procesionaria del pino *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Incidencia de los factores climáticos. *Buletín del Servicio de Plagas Forestales* 12, 9-24.

Demolin, G. (1969b). Comportement des adultes de *Thaumetopoea pytiocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance écologique. *Annales des Sciences Forestières* 26, 81–102.

Hódar, J.A., Zamora, R., Baraza, E., Castro, J., (2001a). La procesionaria del pino en los pinares autóctonos de Sierra Nevada. Montes para la sociedad del nuevo milenio: *Actas III Congreso Forestal Español 4, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 194–199.*

Hódar, J.A., Zamora, R., Castro, J., (2001b). Host utilisation by moth and larval survival of pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* in relation to food quality in three *Pinus* species. *Ecological Entomology* 27, 292–301.

Gámez J. A., Torres J. A., García Fuentes A., Ruíz Valenzuela L. y Cano E. (2000). Comunidades vegetales sobre dolomías en el Parque Natural de Sierra Mágina: un hábitat a conservar. *SUMUNTÁN, Revista de Estudios sobre Sierra Mágina* 13, 39–46
Mitter, C. & Futuyama, D. J., (1992) "Insect-Plants interaction: the evolution of component communities". *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, Vol. 351, No. 1345, Plant Life Histories: Ecological Correlates and Phylogenetic Constraints (Sep. 30, 1996), pp. 1361-1366.

María Navarro Cerrillo, R., Blanco Oyonarte P., Fernández Rebollo P. (2000). Aplicación de las imágenes IRS-WiFS al análisis y evaluación de daños producidos por la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pytiocampa* Den. and Schiff.) en los pinares de Andalucía oriental. *Mapping*. Volúmen 66 (66), 26pp.

Montreal Montoya, J. A. & Serrano Chacón, A., (2000). "Los Escolitidos (Coleoptera, Scolytidae) del Pino Carrasco (*Pinus hapelensis* Miller) en la Provincia de Albacete. *Medios de Control. Cuad. Soco Esp. Cien. For.* 10: 79-84(2000).

Gymnosperms Database <http://www.conifers.org/pi/pin/nigra.html>.

Pascual, J. A., (1988) Descripción morfológica de los estados preimaginales (puesta, larva y crisálida) de *Thaumetopoea processionea* L. (Lep. Thaumetopoeidae). *Bol. San. Veg. Plagas*, 14, 249-263.

Robredo, F. (1980) Tratamientos masivos con difluobenzurón contra la procesionaria del pino en España. *Bol. Ser. Plagas*, 6: 141-154. 1980.

Van Laar, A., Akça, A. (1997), Forest Mensuration: Managing Forest Ecosystems, 383 pgs, Springer, 2nd edition.

Volker C. Radeloff, David J. Mladenoff and Mark S. Boyce, (2000). The changing relation of landscape patterns and jack pine budworm populations during an outbreak. *Oikos*, 90: 417–430.