

EFFECTOS DE LA DEFOLIACIÓN INDUCIDA POR LA PROCESIONARIA DEL PINO (*THAUMETOPOEA PITYOCAMPA*) SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA SUPERVIVENCIA DE *PINUS NIGRA* E INTERACCIONES CON EL CLIMA DURANTE EL PERIODO 1992-2004

Rodolfo Hernández Alonso¹, Víctor Pérez Fortea¹, Jesús Julio Camarero², Ramón Montoya Moreno³, y Gerardo Sánchez Peña³

¹Laboratorio de Sanidad Forestal. Servicio Provincial de Medio Ambiente de Teruel. Depto. Medio Ambiente, Gob. Aragón. C/ Agustín Planas Sancho 10. 44400 Mora de Rubielos (Teruel). E-mail: labsanfor@aragon.es.

²Unidad de Recursos Forestales, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria, Gob. Aragón. Apdo. 727, 50080 Zaragoza. E-mail: jjcamarero@aragob.es.

³Servicio de Protección de los Montes contra Agentes Nocivos. Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente. C/ Gran Vía de San Francisco 4, 28005 Madrid. E-mail: gsanchez@mma.es.

Resumen

Para cuantificar los efectos de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) y del clima sobre el crecimiento y la supervivencia de los árboles se realizó durante 1992-2004 una experiencia de defoliación inducida en una repoblación de *Pinus nigra* de 1.966 en Teruel. Se hicieron 8 tratamientos, de 15 árboles, con distinta intensidad de defoliación en dos situaciones de distinta competencia ($n = 240$). Cada defoliación consistió en colocar puestas con orugas sin nacer y bolsones en el árbol simulando una defoliación natural total. Se midió el crecimiento longitudinal anual del ápice del árbol analizándose mediante MANOVA, considerando como factores: tiempo, defoliación, fila e interacciones. A finales de 2004 se extrajeron muestras cilíndricas de madera para estimar la respuesta del crecimiento radial. El crecimiento longitudinal recuperó valores similares al periodo previo a las defoliaciones 5 años después de éstas. Los factores analizados que mostraron efectos significativos más fuertes fueron tiempo y defoliación. La supervivencia fue elevada en el caso de defoliaciones leves. Por ejemplo, la mortalidad fue sólo del 1% año⁻¹ en el caso de una frecuencia media de 1 defoliación cada 4 años. Se señalan posibles interacciones entre clima y defoliador sobre el crecimiento y la supervivencia del pino laricio.

Palabras clave: crecimiento, defoliación, dendroecología, pino laricio, procesionaria del pino, sequía.

INTRODUCCIÓN

La procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa* Dennis & Schiff., Lepidoptera: Thaumetopoeidae) es el defoliador más importante de los pinares mediterráneos. Su distribución está muy condicionada por el clima y ajusta las fechas de emergencias de los imagos en función de las temperaturas. La defoliación se causa en invierno, cuando se produce la máxima actividad alimenticia de las orugas (MONTROYA y HERNÁNDEZ, 1998). Esta época suele coincidir con la parada o ralentización de la actividad vegetativa de los árboles, por lo que no se produce su muerte ni se impide su posterior brotación al año siguiente. Sin embargo, aunque las orugas no comen en las yemas, según la intensidad de la defoliación o la longevidad de las acículas de la especie defoliada el crecimiento posterior longitudinal y radial será menor ya que el árbol debe formar nuevas hojas para lo cual utilizará prioritariamente sus reservas (MUÑOZ *et al.*, 2003). Pese a que las consecuencias de la defoliación previa sobre el crecimiento posterior son manifiestas, no existen trabajos a medio plazo sobre los efectos de la defoliación de la procesionaria del pino sobre el crecimiento. Este trabajo pretende aportar nuevos datos que permitan cuantificar cómo responde el árbol ante defoliaciones muy intensas y continuas y a su interacción con el estrés climático.

Dada la longevidad de las especies afectadas, cabe pensar que el reciente cambio climático pueda afectar a medio o largo plazo la interacción entre la procesionaria y las especies defoliadas. Cada año, sobre todo en las zonas frías, las variaciones de temperatura invernales, pueden dar lugar a una aceleración del desarrollo larvario si se suavizan las temperaturas o a una elevada mortalidad si se

registran valores letales inferiores a los -12° C en el interior del bolsón (DEMOLIN, 1969) Si se produce una serie sucesiva de inviernos benignos, puede la procesionaria colonizar territorios de mayor altitud y más fríos, no obstante en el momento que las temperaturas vuelvan a la normalidad desaparecen de dichos lugares. Aunque la defoliación por parte de la procesionaria no causa por sí sola la muerte de árboles adultos, también se desconocen los efectos indirectos que puede conllevar la interacción entre la defoliación y sequías estivales intensas, cuya frecuencia ha aumentado a finales del s. XX en el este de la Península Ibérica afectando así a la vitalidad de los bosques (PEÑUELAS *et al.*, 2001). Es por tanto esperable que la combinación de defoliaciones intensas que precedan a sequías primaverales o estivales severas en árboles bajo condiciones limitantes de suelo o en el límite de su distribución, podrían contribuir al decaimiento o muerte de los individuos afectados (MARLAKAS, 1985). Dentro de su área de distribución la procesionaria ataca a todas las especies de pinos y a los cedros, aunque los ataques suelen ser más intensos sobre repoblaciones de *Pinus nigra* Arn., concretamente de la subespecie *nigra*, caracterizadas por su elevada densidad, y una gran regularidad en su patrón espacial así como en su edad y componente genético (DEVKOTA & SCHMIDT, 1990). El grado de susceptibilidad de los pinos en relación con la procesionaria varía en función de la especie y del tipo de masa. Tiene una especial predilección por *Pinus nigra* en cualquiera de sus subespecies, por *P. sylvestris* siempre que no se encuentre en su hábitat altitudinal superior y en general por las especies exóticas. En un segundo grado de susceptibilidad se encontrarían *P. halepensis*, *P. pinaster* y *P. pinea*. Si estas últimas especies se encontrasen mezcladas con *P. nigra* o *P. sylvestris* sus daños podrían pasar desapercibidos salvo en años de intensas defoliaciones en la especie preferida (MONTOYA y HERNÁNDEZ, 1998).

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio y diseño del experimento

Se seleccionó una repoblación de *Pinus nigra* subsp. *nigra* Arn. localizada en el monte “El Casal” (TE-3191) situado en el término municipal de Mora de Rubielos ($40^{\circ} 12' N$, $0^{\circ} 43' W$, 1150 m s.n.m.). La plantación se realizó entre 1.968 y 1.971. La vegetación arbórea autóctona está dominada por *Quercus coccifera*, *Q. ilex*, varias especies de *Juniperus* y algún *Pinus nigra* subsp. *salzmannii*. Las características del suelo están muy condicionadas por los afloramientos geológicos existentes correspondientes a materiales detríticos terciarios constituidos por tramos de arcillas arenosas rojizas con intercalaciones de areniscas silíceas y conglomerados de cantos calizos. Los datos climáticos mensuales (temperatura media, precipitación total) para el periodo 1992-2004 se obtuvieron de la estación meteorológica de Mora de Rubielos ($40^{\circ} 15' N$, $0^{\circ} 45' W$, 1040 m). En el periodo mencionado, la temperatura media anual y la precipitación total anual fueron de $12^{\circ} C$ y 436 mm, respectivamente. En este periodo, destacan los años 1993, 1994, 1995 y 2001 por registrar precipitaciones anuales bajas (271-353 mm). La precipitación acumulada de abril hasta junio (media = 144 mm) fue muy baja (49-117 mm) en 1993, 1994 y 2001. La precipitación acumulada de julio hasta septiembre (media = 140 mm) fue muy baja (28-67 mm) en 1993, 1995 y 2000. La temperatura media anual más elevada se registró en 1994 ($12, 7^{\circ}C$). Por tanto, la repoblación estudiada experimentó dos sequías importantes en 1993-94 y 2000-01.

Diseño del experimento y muestreo

Se realizaron 8 tratamientos compuestos por 15 árboles cada uno con distinta intensidad de defoliación (Tabla 1). Estos tratamientos se replicaron en dos filas dentro de la repoblación: una fila exterior donde la competencia se supone menor dado que sólo se produce con los árboles vecinos de un lado del árbol ($n = 120$), y una fila interior con mayor competencia con árboles de ambos lados ($n = 120$). Cada defoliación anual consistió en colocar puestas con orugas sin nacer y bolsones en el árbol simulando una defoliación natural total de la copa a lo largo del invierno. Consideramos que tanto el nivel de defoliación inducido como los años de defoliaciones sucesivos son exageradamente elevados en comparación con el nivel de defoliación natural observado en el monte (MONTOYA y HERNÁNDEZ, 1998), no obstante nuestro objetivo era conocer los efectos de un nivel de defoliación máxima, sobre el crecimiento y la supervivencia de los pinos defoliados. Cada año se midió en otoño el crecimiento longitudinal del ápice del árbol o guía terminal una vez había finalizado su desarrollo. En el caso de muerte del ápice, se midió el crecimiento de la siguiente rama subapical. El tamaño de muestra de cada tratamiento no fue constante al producirse la muerte de árboles en los grupos más defoliados. La primera defoliación se realizó en el invierno de 1992-93. La última defoliación se

realizó en los inviernos 2003-04 y 2000-01 para las filas exterior e interior, respectivamente, por lo que el total de años del experimento son 12 y 9 para cada uno de estos dos grupos (Tabla 1). Los datos de crecimiento longitudinal son medidas repetidas en el tiempo y por tanto se analizaron mediante MANOVA (Proc GLM, SAS Institute Inc., 2000) considerando como factores: tiempo –12 años–, defoliación –8 tratamientos–, fila –2 filas– e interacciones.

En el otoño del 2004, se muestrearon dos ramas por árbol en la copa media y en orientaciones N y S para estimar la longitud media de las acículas recientes, básicamente del 2003 y 2004. Se midió la longitud más larga de 10 pares de acículas representativos por año en todas las ramas muestreadas. Se determinó si cada par de acículas de cada braquiblasto presentaba asimetría evidente (variable binaria, presencia o ausencia) si la longitud de una de las acículas era claramente mayor que la otra acícula del par. La asimetría puede ser un indicador fiable del estrés al que está sometido el árbol (KOZLOV & NIEMELÄ, 1999). También se contaron todas las piñas del 2004 producidas por cada árbol. Se muestrearon además 1-2 piñas por árbol para medir su tamaño (diámetro y longitud máximos) y peso seco, este último se obtuvo tras secar las piñas a 60 °C durante 48 h. Para cada piña se contó el número total de piñones, se obtuvo su peso medio y se estimó el porcentaje de piñones vacíos y vanos por piña, estos últimos se consideraron aquellos que no se hundían en agua transcurridas 48 horas.

Métodos dendrocronológicos

A finales de 2004 se extrajeron testigos cilíndricos de madera (*cores*) a 1,3 m de todos los árboles para estimar la respuesta del crecimiento radial a las defoliaciones inducidas y a la sequía. En el caso de individuos muertos, se obtuvieron secciones transversales a la misma altura. Las muestras se obtuvieron mediante barrena Pressler siguiendo la metodología dendrocronológica estándar (FRITTS, 1976). Se sacaron dos *cores* por árbol en direcciones opuestas. Los *cores* y secciones fueron secados y pulidos con papeles de lija de grano fino. Las muestras se dataron usando los anillos característicos estrechos y aquellos con fluctuaciones de densidad en la madera tardía. La anchura de los anillos se midió con una resolución de hasta 0,01 mm utilizando el sistema semiautomático de medición TSAP (Time Series Analysis and Presentation, Frank Rinn, Heidelberg, Alemania). La datación visual fue posteriormente evaluada usando el programa COFECHA (HOLMES, 1983).

RESULTADOS

Los resultados de la MANOVA para los datos de crecimiento longitudinal anual mostraron que existían diferencias significativas ($p < 0,05$) para casi todos los factores analizados (tiempo, defoliación, fila, tiempo*defoliación, tiempo*fila), excepto para la interacción tiempo*defoliación*fila ($p = 0,45$). Los resultados de la comparación entre sujetos del análisis de la varianza para medidas repetidas detectaron además como el tratamiento como factor significativo ($p < 0,001$), es decir la intensidad de la defoliación, y no la fila o intensidad de competencia ($p = 0,32$) ni la interacción tratamiento*fila ($p = 0,09$). En resumen, el nivel de defoliación y el factor tiempo (años), que puede expresar la variabilidad interanual climática, determinaron en gran medida la variación del crecimiento longitudinal (Fig. 1). A partir de la primera defoliación inducida en el invierno de 1992-93, ya se apreciaron en la mayoría de los años analizados tres grupos con diferente crecimiento longitudinal correspondientes a tres niveles de defoliación (test de Student-Newman-Keuls, resultados no mostrados de comparaciones de las medias a posteriori; ver Tabla 1 y Fig. 1): grupos nada o poco defoliados (tratamientos 1 y 5, defoliaciones en el 0-11 % de los años), grupos bastante defoliados (tratamientos 2, 3, 4 y 6; defoliaciones en el 22-56 % de los años) y grupos muy defoliados (tratamientos 7 y 8; defoliaciones en el 67-100 % de los años). La diferencia de crecimiento de los tres grupos mencionados se mantuvo hasta el final del periodo de medidas. El crecimiento longitudinal anual decreció tras las primeras defoliaciones, especialmente en 1994 y 1995, coincidiendo también con sequías intensas en la primera mitad del año en 1993 y 1994. A partir de 1996 los árboles que no fueron defoliados experimentaron una recuperación de crecimiento longitudinal evidente.

El número de muertos mayor se produjo en 1994 y 1996, específicamente en la fila interior (Fig. 2). El número final de muertos se relacionó de forma positiva con el número de defoliaciones de cada tratamiento, siendo esta relación significativa sólo en la fila exterior ($r_s = 0,77$, $p < 0,05$, $n = 8$) pero no en la fila interior ($r_s = 0,65$, $p = 0,08$, $n = 8$).

Respecto al crecimiento radial, cabe destacar la formación de anillos estrechos en 1986 y 1994 en los individuos no defoliados y de fluctuaciones de densidad en la madera tardía de los anillos de 1997 y 2002. Los individuos defoliados sólo en el invierno de 1992-93 apenas mostraron crecimiento radial en 1993 y 1994, de hecho muchos individuos presentaron anillos perdidos o microanillos en estos dos años y recuperaron valores de anchura de anillos similares a los individuos no defoliados. Este resultado muestra la interacción entre defoliación y sequía a la hora de determinar el crecimiento radial.

La longitud media de las acículas fue significativamente ($p < 0,05$) diferente entre árboles muy defoliados (tratamientos 7 y 8) o sin defoliación (tratamientos 1 y 5) hasta 2 años después de la última defoliación (Tabla 2, Fig. 3). A partir del tercer año tras la defoliación, la longitud de las acículas no difiere entre árboles según su historia de defoliaciones previa. En general, tras una defoliación se observó gran variabilidad en la longitud de las acículas del año posterior. Sólo encontramos una relación significativa y positiva entre el número de defoliaciones de cada tratamiento y la asimetría media de los braquiblastos en los árboles de la fila exterior ($r_s = 0,90$, $p < 0,01$, $n = 8$). De todos los braquiblastos medidos ($n = 5933$), sólo 3 presentaron tres acículas, y 2 de ellos procedieron de árboles con 5 y 8 defoliaciones.

Los árboles muy defoliados apenas produjeron piñas en el año 2004 en comparación con los árboles poco defoliados (Tabla 2). La relación entre el número total de defoliaciones y el número de piñas del 2004 fue negativa y significativa para todos los árboles con datos de piñas ($r_s = -0,43$, $p < 0,0001$, $n = 177$), siendo esta relación más fuerte para el grupo de árboles de la fila exterior ($r_s = -0,53$, $p < 0,0001$, $n = 98$) que para los de la fila interior ($r_s = -0,35$, $p < 0,005$, $n = 79$). No encontramos relaciones ni diferencias evidentes para el resto de variables referidas al esfuerzo reproductivo (tamaño y peso de piñas, número y de piñones por piña, peso de los piñones, frecuencia de piñones vacíos y vanos por piña).

DISCUSIÓN

Los años 1993, 1994 y 1995 mostraron las menores precipitaciones primaverales y totales del periodo 1992-2004, coincidiendo con las mayores tasas de mortalidad en la repoblación estudiada y con el descenso acusado de crecimiento longitudinal y radial tanto en árboles defoliados como en los no defoliados. En general, el crecimiento longitudinal y radial de *P. nigra* depende de las condiciones climáticas primaverales y de las del año previo (GUYON *et al.* 1987), lo que explicaría el desfase entre la primera sequía acusada de 1993, el escaso crecimiento de 1994 y la elevada mortalidad e 1996. El crecimiento longitudinal del ápice de individuos juveniles defoliados por la procesionaria fue casi de la mitad que en pinos no defoliados en *P. sylvestris* (HÓDAR *et al.* 2003). En nuestro estudio, el crecimiento longitudinal del 2004 fue casi 8 veces mayor en los árboles no defoliados respecto a los intensamente defoliados. Se ha de profundizar en entender las diferencias halladas entre los dos grupos de pinos estudiados y que pueden deberse a otros factores adicionales a la competencia. Así, las relaciones positivas entre intensidad de defoliación y mortalidad o entre defoliación y asimetría de las acículas sólo se hallaron en la fila exterior.

En *P. sylvestris*, las ramas defoliadas por procesionaria produjeron piñas menores, con menos piñones y con piñones de menor peso que ramas no defoliadas (HÓDAR *et al.*, 2003). En nuestro estudio, no encontramos diferencias evidentes de atributos referidos al tamaño de las piñas o a las características de los piñones entre los distintos tratamientos 1-3 años después de la última defoliación. Sin embargo, el número de piñas del 2004 sí disminuyó en función del número de defoliaciones a las que se había sometido a los pinos.

En resumen, los árboles de la repoblación de este estudio mostraron una notable capacidad de respuesta a una serie de defoliaciones inducidas en cuanto a su crecimiento longitudinal, radial y en cuanto a su inversión reproductiva. Sólo la combinación de una serie de defoliaciones excepcionalmente severas y continuadas durante al menos la mitad de los doce años del estudio en alguno de los tratamientos y las intensas sequías de 1993-95 produjeron la muerte de más de la mitad de los árboles en esos grupos concretos.

Agradecimientos

Agradecemos a todas las personas que han facilitado el muestreo y seguimiento de los pinos

estudiados, especialmente a Miguel Ros y Jose Manuel Sadaba. JJC agradece el apoyo de un contrato INIA-Gob. Aragón.

REFERENCIAS

- DEMOLIN G.; 1969.; Bioecología de la “procesionaria del pino” *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Incidencia de los factores climáticos. Bol. Serv. Plagas For. 23: 9-24.
- DEVKOTA, B. & SCHMIDT, G.H.; 1990. Larval development of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. and Schiff.) (Lepidoptera: Thaumetopoeidae) from Greece as influenced by different host plants under laboratory conditions. *J. Appl. Entomol.* 109, 321-330.
- GUYON, J.P., BETORED, D. & KREMER, A.; 1987. Influence de la température et des précipitations sur l'activité méristématique apicale dans une régénération naturelle de pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* Arn. ssp. *nigricans* Host), *Acta OEcolog./OEcolog. Plant.* 8: 309-320.
- FRITTS, H.C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press, London.
- HÓDAR, J.A., CASTRO, J. & ZAMORA, R.; 2003. Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming. *Biol. Conserv.* 110: 123-129.
- HOLMES, R.L.; 1983. Computer-assisted quality control in tree-dating and measurement. *Tree-Ring Bull.* 43: 69-78.
- KOZLOV, M.V. & NIEMELÄ, P.; 1999. Difference in needle length. A new and objective indicator of pollution impact on Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Water, Air and Soil Pollution* 116: 365-370.
- MARKALAS, S.; 1985. Observations on the biology, the behaviour and the damage caused by the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). *Aristotelian Univ. Thessaloniki. Sc. Ann. Depart. Forestry Nat. Environ.* 28: 303-370.
- MONTOYA, R. y HERNÁNDEZ, R.; 1998. La procesionaria del pino. En: *Plagas de insectos en las masas forestales españolas*: 67-84. M.M.A., Madrid.
- MUÑOZ, C., FORTEA, V., COBOS, P. HERNÁNDEZ, R. y SÁNCHEZ, G.; 2003. *Sanidad forestal. Guía en imágenes de plagas, enfermedades y otros agentes presentes en los bosques*. Mundi Prensa. Madrid.
- PEÑUELAS, J., LLORET, F. & MONTOYA, R.; 2001. Severe drought effects on Mediterranean woody flora. *For. Sci.* 47: 214-218.

TÍTULOS DE LAS TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Defoliaciones realizadas en los 8 tratamientos para los dos grupos de árboles situados en las filas exterior e interior de la repoblación.

Tabla 2. Número de muertos, crecimiento longitudinal acumulado (periodo 1992-2004), y longitud de las acículas y número de piñas del 2004. Valores medios y errores estándar.

Figura 1. Crecimiento longitudinal anual del ápice en los ocho tratamientos de defoliación (símbolos) y las filas exterior e interior de la repoblación. La mayor intensidad de grises de los símbolos (tratamientos) indica un mayor número de defoliaciones: blanco, defoliaciones en el 0-11 % de los años; gris, defoliaciones en el 22-56 % de los años; negro, defoliaciones en el 67-100 % de los años. Las barras de error corresponden al error estándar. Las flechas señalan la primera y última defoliaciones.

Figura 2. Relaciones entre el número total de defoliaciones y el número de árboles muertos (gráfico superior) durante el periodo 1994-2001 (gráfico inferior) para los dos grupos de árboles situados en las filas interior (INT) y exterior (EXT) de la repoblación.

Figura 3. Relación negativa entre el número total de defoliaciones y la longitud media de las acículas para los árboles de la fila interior. Se muestra la longitud de las acículas del año 2003, es decir aquellas formadas 2 años después de la última defoliación en esta fila.

TABLAS

Tabla 1

--	--	--

Filas EXTERIOR (E) e INTERIOR (I)										Fila EXTERIOR (E)			Número total de defoliaciones (% años)	
GRUPO	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97	97-98	98-99	99-00	00-01	01-02	02-03	03-04	E	I
1													0 (0)	0 (0)
2													5 (42)	4 (44)
3													3 (25)	2 (22)
4													5 (42)	5 (56)
5													1 (8)	1 (11)
6													6 (50)	5 (56)
7													8 (67)	6 (67)
8													12 (100)	9 (100)

Tabla 2

GRUPO	Número de muertos (%)		Crecimiento acumulado 1993-2004 (m)		Longitud de acículas del 2004 (cm)		Número de piñas del 2004	
	E	I	E	I	E	I	E	I
1	0 (0)	0 (0)	2,68	2,32	8,1 ± 0,5	8,7 ± 0,3	40 ± 12	5 ± 2
2	0 (0)	7 (47)	0,66	0,55	7,9 ± 0,4	6,1 ± 0,5	3 ± 1	0 ± 0
3	2 (13)	1 (7)	0,92	1,37	7,8 ± 0,4	8,9 ± 0,4	6 ± 4	6 ± 3
4	3 (20)	7 (47)	1,29	1,05	8,9 ± 0,4	8,6 ± 0,3	9 ± 3	3 ± 1
5	0 (0)	1 (7)	2,31	1,99	8,3 ± 0,3	7,7 ± 0,3	8 ± 2	7 ± 2
6	2 (13)	6 (40)	0,40	0,43	7,9 ± 0,5	6,4 ± 0,5	2 ± 1	0 ± 0
7	6 (40)	6 (40)	0,39	0,46	7,4 ± 0,2	8,5 ± 0,3	0 ± 0	1 ± 1
8	8 (53)	12 (80)	0,36	0,29	5,2 ± 0,3	7,8 ± 1,3	0 ± 0	2 ± 2

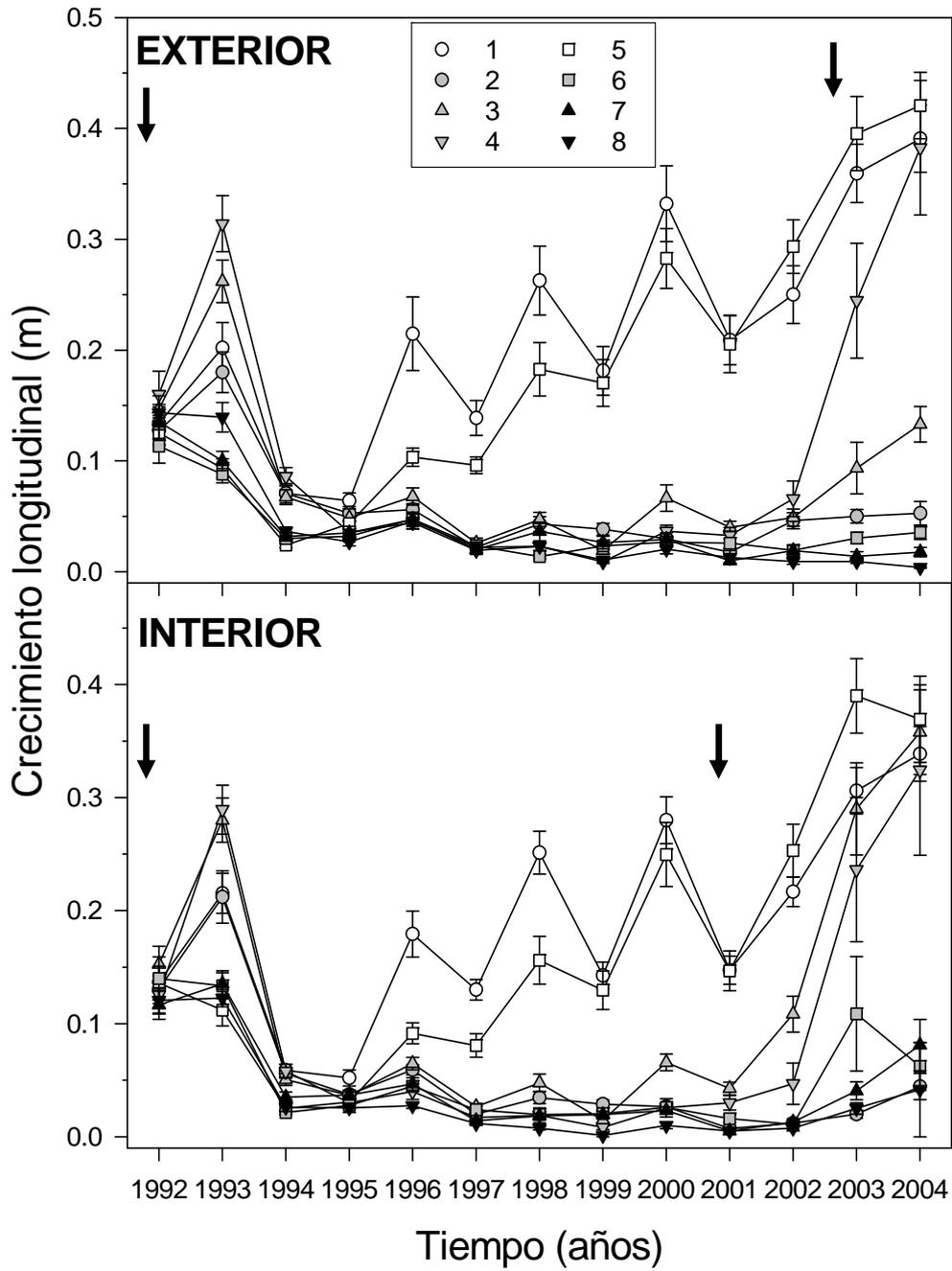
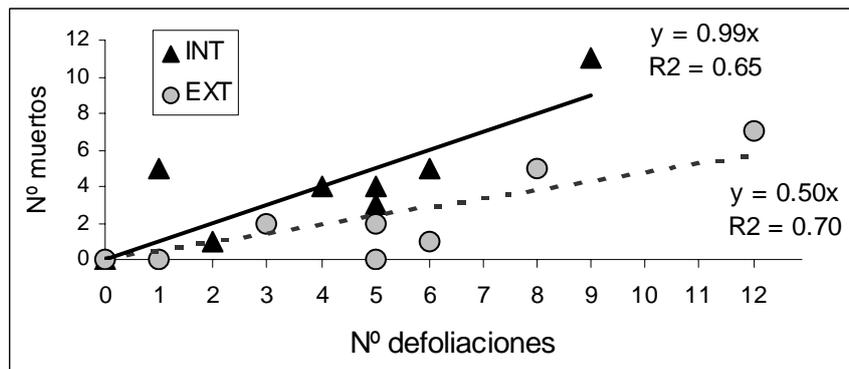


Figura 1



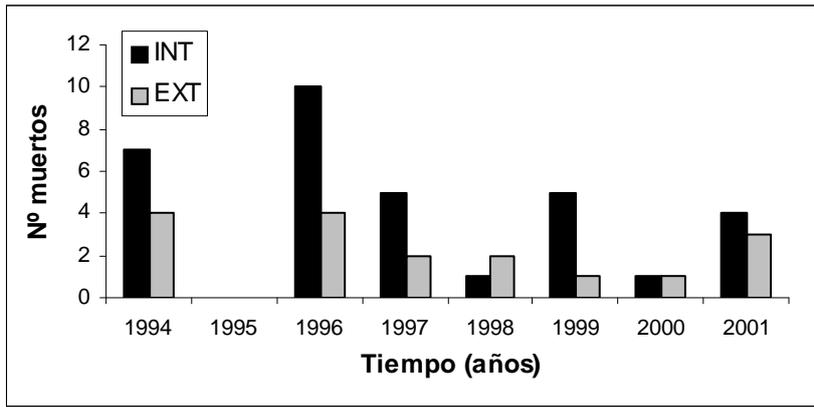


Figura 2

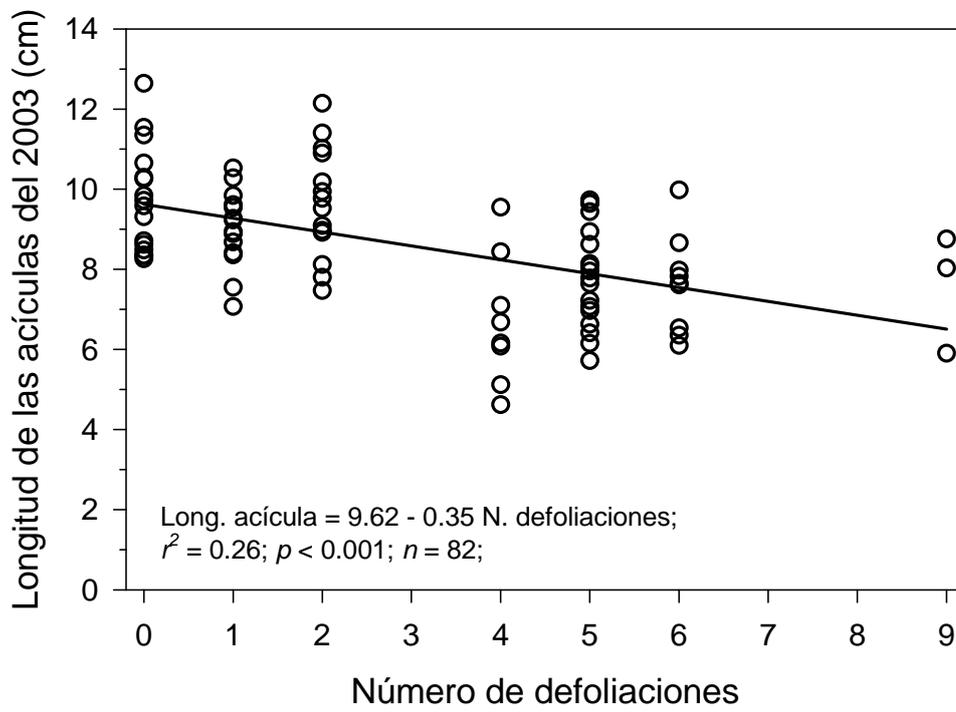


Figura 3