

CARACTERIZACIÓN DE LOS PINSAPARES DESDE LA PERSPECTIVA DENDROECOLÓGICA: DETERMINACIÓN DE LAS RELACIONES ENTRE EL CRECIMIENTO Y EL CLIMA

Mar Génova y Estefanía Muñoz

U.D. Botánica Forestal. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. 28040, Madrid. Tf: 913367669

genova@forestales.upm.es

RESUMEN

Abies pinsapo es una especie apta para realizar un análisis dendroecológico. Se han elaborado tres cronologías medias en dos de las áreas de distribución principal de este taxon: una en la Sierra de Grazalema y dos con pinsapos de diferente edad en la Sierra de las Nieves. Las cronologías aportan información sobre la longevidad de las masas muestreadas, sobre la variabilidad en el tiempo del crecimiento en grosor y asimismo informan acerca de los períodos y años de mayor o menor crecimiento relativo. La relación del crecimiento con el clima se ha analizado utilizando los datos de la Estación de Grazalema, la más larga y representativa de las que se localizan en la región. Por una parte, se ha determinado la incidencia en el crecimiento de los años con características extremas y, por otra parte, se ha modelizado la relación general con el clima para reconocer los factores locales o macroclimáticos que más inciden en su desarrollo.

PALABRAS CLAVE: *Abies pinsapo*, Dendrocronología, Años característicos, Dendroclimatología, Función respuesta.

INTRODUCCIÓN

Los anillos de crecimiento de las leñosas son una valiosa fuente de información que trasciende lo singular y/o específico. La Dendrocronología emplea las oscilaciones y la variabilidad registrada en los anillos para elaborar cronologías, siempre que sea posible la datación precisa de cada uno de los valores medidos. La Dendroecología, según KAENNEL & SCHWEINGRUBER (1995), "utiliza los anillos anuales datados para estudiar problemas ecológicos y ambientales, por ejemplo cuestiones climáticas.....". En este trabajo se presenta un análisis dendrocronológico de secuencias de crecimiento de *Abies pinsapo* Boiss. y dendroecológico de su relación con determinadas variables meteorológicas y climáticas.

En España los estudios dendrocronológicos y dendroecológicos realizados hasta el momento en el género *Abies* son escasos. GUTIÉRREZ *et al.* (1998) elaboran y analizan cuatro cronologías de *Abies alba* en el pirineo leridano, cuya longitud máxima se extiende entre 1654-1996, mientras que BRÄKER & SCHWEINGRUBER (1984) elaboran una única cronología de *Abies pinsapo*, que abarca el período comprendido entre 1728 y 1982.

MATERIAL Y MÉTODOS

Muestreo y elaboración de cronologías

El muestreo que ha permitido la realización del presente trabajo fue realizado por Ángel Hernández y Mar Génova, a lo largo de varias campañas durante los años 1998 y 1999, y fue subvencionado por el Proyecto de Investigación Europeo FORMAT.

El muestreo realizado se puede definir como selectivo y centrado en los ejemplares de mayor interés desde el punto de vista dendrocronológico (los más longevos y que habitan en situaciones más desfavorables). La extracción de las muestras de los árboles se realizó en dirección aproximada a la del radio del fuste, utilizando la barrena de Pressler estándar de 400 mm de longitud y 5 mm de diámetro interior.

Las localidades seleccionadas para el muestreo se ubican en las áreas actuales de distribución ibérica de *Abies pinsapo*, aunque el mal estado de la práctica totalidad de las muestras obtenidas en Sierra Bermeja ha impedido su análisis posterior. En el Parque Natural de la Sierra de las Nieves se ha muestreado, por una parte, en los pinsapares que alcanzan mayor altitud, en la Cañada de las Ánimas y en la Cañada del Cuerno, que pertenecen administrativamente al término municipal de Ronda y es donde se han localizado los árboles de mayor porte y edad (los muestreados sobrepasan, en el 90% de los casos, los 100 cm de diámetro normal) y que se han agrupado bajo la denominación de NievesI. Por otra parte, también se ha muestreado en otras localidades que representan masas más jóvenes (pinsapares de Cuberos y del Caucón), que se sitúan a menor altitud y que pertenecen al término municipal Yunquera (NievesII). En el Parque Natural de Grazalema se ha muestreado exclusivamente en la Sierra del Pinar (ubicada en el término municipal de Grazalema), particularmente en rodales aislados con ejemplares de aspecto longevo que todavía persisten de manera marginal frente a la masa principal de pinsapos jóvenes.

La medición del grosor de los anillos de crecimiento de las muestras y la obtención de series dendrocronológicas ha sido llevada a cabo por Estefanía Muñoz y Mar Génova, utilizando las instalaciones y el equipo del Laboratorio de Dendrocronología de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal de la Universidad Politécnica de Madrid y gracias a un programa de colaboración con el Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba. En la medición de los anillos de crecimiento se ha utilizado el medidor semiautomático ANIOL y, para el análisis de las series temporales obtenidas y elaboración de cronologías medias, el programa Catras (ANIOL & SCHLESWIG, 1991) y el paquete estadístico ITRDB (GRISSINO- MAYER, 2001). Se ha seguido la metodología clásica de análisis y elaboración de cronologías (COOK & KAIRIUKSTIS, 1990), tras un riguroso proceso de sincronización, datación y estandarización de las series individuales de anillos de crecimiento.

Registros meteorológicos y relación crecimiento-clima

El clima de la región se ha estudiado analizando comparativamente los tres registros termopluviométricos más próximos geográfica y altitudinalmente al área de estudio: Ronda-Quejigales, Grazalema y Gaucín, hasta el año 1999, fecha en que finalizan las cronologías más largas. El registro de la estación meteorológica de Grazalema (Cádiz) es el más completo y extenso (Tabla 2), aunque la estación se sitúa a menor altitud que las formaciones de *Abies pinsapo*. Por el contrario, la estación de Ronda-Los Quejigales (Málaga), situada a mayor altitud, posee un registro muy corto e incompleto que finaliza en 1994, razón por la que también se ha estudiado comparativamente el registro de la estación de Gaucín (Málaga), relativamente próxima a la anterior, aunque ubicada a menor altitud.

Respecto a las precipitaciones, el registro de Grazalema representa una situación atípica y muy singular en el contexto de las características climáticas mediterráneo-ibéricas, pues se trata de la localidad que registra la mayor cantidad de precipitación anual en la región y una de las más elevadas de la Península Ibérica (CAPEL, 1981), con valores anuales que se aproximan en muchas ocasiones a los 2000 mm e, incluso, los superan. La cuantía y la distribución espacial de estas precipitaciones se encuentra marcadamente sesgada en dirección oeste-este y, por tanto, desciende notablemente en las otras dos estaciones analizadas. Esta marcada desigualdad en la distribución estacional de las lluvias origina que la extensión y la intensidad de la aridez sean elevadas en todas las estaciones analizadas (Tabla 2), originando un periodo crítico para la supervivencia de las plantas que, en cualquier caso, es superior a dos meses.

Las relaciones crecimiento-clima se han examinado mediante el análisis de extremos y de manera integrada a través de la Función respuesta, que aplica complejos modelos de análisis multivariable en componentes principales y estudia la calibración y verificación conjuntamente a través del procedimiento denominado "boot-strap". Mediante el programa PRECON (FRITTS, 1999) que aplica estas técnicas, se han analizado las versiones residuales de las cronologías en relación con las precipitaciones y temperaturas mensuales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han medido la mayor parte de las muestras (excepto las excesivamente deterioradas por pudriciones internas o demasiadas roturas) y se han elaborado un total de 116 secuencias de crecimiento correspondientes a 65 árboles (Tabla 1). Datos preliminares acerca del análisis de las series de crecimiento obtenidas ya se habían presentado en GÉNOVA y MUÑOZ (2003) y en MUÑOZ (2005) y el presente trabajo constituye una reelaboración y actualización de éstos.

En la Sierra de las Nieves, NievesI representa el conjunto de árboles más maduros, con un 71% de las muestras que superan los 175 anillos de crecimiento y un máximo registrado de 310 anillos, mientras que NievesII constituye una representación de pinsapares más jóvenes, con un 28% de las muestras que superan escasamente el centenar de anillos de crecimiento y un máximo registrado de 144 anillos. Por su parte, en la localidad de la Sierra del Pinar, algo más del 50% superan el centenar de anillos de crecimiento y 4 series presentan más de 150 anillos, con un máximo registrado de 232 anillos. Otros estudios realizados con muestras de *Abies pinsapo* obtenidas con barrena de Pressler han contabilizado hasta un máximo de 255 anillos (BRÄKER & SCHWEINGRUBER, 1984) o 146 anillos (ARISTA *et al.*, 1997).

Así pues, los pinsapos más longevos localizados hasta el momento no es probable que superen los 350 años en la Sierra de las Nieves, ni los 250 años en la Sierra del Pinar. Esta estimación de longevidades máximas se ha basado, fundamentalmente, en aquellos ejemplares de gran porte, pero a veces muy irregular y retorcido, que constituyen rodales o se presentan aislados, y que se ubican en altitudes y pendientes elevadas y sobre sustratos pobres con suelos esqueléticos, en situaciones alejadas de las vías de comunicación que han dificultado su aprovechamiento, y deben interpretarse como referencias más o menos aproximadas a la edad actual de los ejemplares vivos más longevos. Debido a las numerosas talas, cortas e incendios que han sufrido los pinsapares en el pasado, la longevidad potencial de *Abies pinsapo* podría ser mucho más elevada y en este

sentido se entendería el dato publicado por SOTO (1998), quien indica un máximo de 487 anillos en un conteo realizado en 1967 en tocones de ejemplares singulares de Grazalesma.

La sincronización del conjunto de secuencias de crecimiento ha sido un proceso muy laborioso, en el que han debido acortarse o desecharse determinadas series y cuyo resultado ha permitido datar con suficiente fiabilidad 91 secuencias, es decir el 78% de las medidas. Las series de crecimiento sincronizadas y datadas se han estandarizado y promediado en tres cronologías locales: NievesI, NievesII y Pinar. NievesI constituye la cronología de pinsapo más larga elaborada hasta el momento (310 años, 1690-1999), que supera en 55 años a la única publicada anteriormente (BRÄKER & SCHWEINGRUBER, 1984), NievesII cubre 112 años (1887-1998) y Pinar, 212 años (1788-1999). Se han analizado la variabilidad y las oscilaciones del crecimiento en el periodo común a todas las cronologías (siglo XX) para determinar periodos y años característicos o extremos respecto a la media (Figura 1).

En cuanto a la variabilidad de los registros meteorológicos seleccionados, los datos son escasos para analizar las oscilaciones térmicas, aunque se puede señalar un periodo de descenso térmico en Grazalesma entre 1971 y 1980, sólo conocido para algunos años en Gaucín, donde destaca de manera notable por su mínimo valor el año 1977. También 1984 y 1993 son más fríos que la media en las estaciones de Grazalesma y Ronda. El periodo inicial del registro de Grazalesma (1964-1970) es más cálido que la media y también se puede destacar un cierto incremento térmico, menos remarcado, en los últimos años del registro de Gaucín. En Grazalesma las precipitaciones anuales registradas oscilan desde un máximo de 3508 mm en el año 1960 (sin datos en las otras estaciones) hasta un mínimo de 744 mm en el año 1995 (sin datos en Ronda). Otros años que en Grazalesma se superan los 3000 mm son 1924, 1936, 1951, 1963 y 1996, siendo este último año donde se registra el máximo pluviométrico en la estación de Gaucín. Además destaca, asimismo en Grazalesma, el periodo 1960-1963, por ser el más largo en el que las precipitaciones ascienden en conjunto por encima de la media (Figura 2). Los años menos áridos son 1969, 1987 y 1996. Como años secos son destacables en Grazalesma 1949, 1953, 1958 y, en especial, el periodo 1990-1995, con valores anuales inferiores a 1300 mm, mientras que en Gaucín se registran como los años más secos, y por este orden, 1981, 1994 (el más seco del registro de Ronda con 536 mm) y 1966. Por su parte, los años más áridos son 1995, 1990 y 1981, aunque se debe señalar también la notable aridez del año 1994 en Ronda.

Los años y periodos de mayor crecimiento se corresponden, en general, con años moderados, si se exceptúa el periodo 1960-1962 que se corresponde con años muy lluviosos. Los años y periodos de menor crecimiento también son moderados en general, si se exceptúan el largo periodo de 1946-1956 (que constituyen años muy variables desde el punto de vista ombroclimático, con algunos años muy secos -1949 y 1953- y otros lluviosos) y el índice extremo del año 1995, que se corresponde con un año muy cálido y seco y que constituye el año más árido del registro de Grazalesma.

Para la elaboración de las funciones respuesta sólo hemos utilizado los datos de la estación de Grazalesma, pues se trata del único registro suficientemente largo y completo. Se han analizado numerosas funciones respuesta con el conjunto de variables mensuales de precipitación y temperatura en diferentes periodos. Dado que el periodo común de registro es corto (36 años) y, por tanto, el número de grados de libertad bajo, y la varianza explicada por las variables térmicas es escasa, se han realizado también las funciones referidas únicamente a la precipitación, que presenta un periodo de registro mucho más largo (Figura 3). Dichas funciones no son muy estables ni homogéneas a lo largo del periodo considerado y presentan diferencias entre las tres cronologías consideradas. NievesI presenta la mayor varianza explicada por la precipitación (0.349) y Pinar, a pesar de su mayor proximidad a la estación meteorológica, la menor (0.275). Las variables positivamente correlacionadas y más significativas son las correspondientes a los meses de inicio y/o durante el periodo vegetativo (abril, mayo y junio) del año de crecimiento y las correspondientes a los meses del final del verano (agosto y septiembre) del año anterior al crecimiento. Además de la relación positiva que se establece entre el crecimiento y las condiciones hídricas del periodo vegetativo, las precipitaciones estivales del año anterior tienen efectos favorables al permitir el almacenamiento de agua y/o sustancias de reserva para el desarrollo del anillo del siguiente año y la escasez de precipitaciones durante estos periodos puede constituir, por tanto, un factor limitante para el crecimiento.

Estos resultados indican que la variabilidad del crecimiento de los pinsapos analizados está relativamente poco relacionada con las variables meteorológicas de la única estación suficientemente representativa (Grazalesma) y que la mayor parte de la varianza se debe explicar por otros factores (condiciones locales; usos y tratamientos antrópicos como podas, talas o incendios; plagas, ...). Aún así el modelo elaborado con la Función Respuesta de la cronología NievesI respecto a las precipitaciones mensuales de dicho registro resulta representativo de las oscilaciones registradas en los índices dendrocronológicos (Figura 4).

CONCLUSIONES

Se han analizado los crecimientos en grosor y su variabilidad en 65 ejemplares de *Abies pinsapo* en dos de sus áreas de distribución ibérica: la Sierra de las Nieves y la Sierra del Pinar. Los pinsapos más longevos localizados no es probable que superen los 350 años en la Sierra de las Nieves, ni los 250 años en la Sierra del Pinar, aunque seguramente la longevidad potencial de *Abies pinsapo* sea más elevada.

Las series de crecimiento sincronizadas y datadas se han estandarizado y promediado en tres cronologías locales: NievesI, que constituye la cronología de pinsapo más larga elaborada hasta el momento y que se extiende entre 1690-1999, NievesII y Pinar.

Se han determinado los periodos y años característicos o extremos respecto a la media en el periodo común a todas las cronologías (siglo XX) y se ha comprobado su relación con extremos meteorológicos en los índices elevados del periodo 1960-1962, que constituye un periodo muy lluvioso, y en los reducidos índices de 1949, 1953 y 1995 (años muy secos); 1995 es, además, el más árido en todo el periodo analizado.

Las funciones respuesta elaboradas indican que las variables más significativas son las correspondientes a la precipitación de los meses de inicio y/o durante el periodo vegetativo (abril, mayo y junio) del año de crecimiento y las correspondientes a los meses del final del verano (agosto y septiembre) del año anterior al crecimiento y aunque la mayor parte de la varianza del crecimiento debe corresponderse con otros factores no climáticos aunque algunos de los modelos obtenidos resultan representativos de la variabilidad de los índices dendrocronológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARISTA, M.; HERRERA, J. & TALAVERA, S.; 1997. *Biología del Pinsapo*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 162 pp.

BRÄKER, O. & SCHWEINGRUBER, F.; 1984. Standorts- chronologien. Teil 1: Iberische Halbinsel. *Publikation der Forstl. Vers. Anst. Birmendorsf*, 73 pp.

CAPEL, J.; 1981. *Los climas de España*. Oikos-Tau, S.A. Ediciones. 429 pp.

COOK, E. & KAIRIUKSTIS, L.; 1990. *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer Academic Publishers. 393 pp.

GÉNOVA, M. & MÚÑOZ, E.; 2003. *Anillos de crecimiento y elaboración de series dendrocronológicas en Abies pinsapo*. Informe realizado para la Junta de Andalucía, 65 pp.

GUTIÉRREZ, E.; CAMARERO, J.; TARDIF, J.; BOSCH, O. & RIBAS, M.; 1998. Tendencias recientes del crecimiento y la regeneración en bosques subalpinos del Parque Nacional D'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. *Ecología*, 12: 3-65.

KAENNEL, M. & SCHWEINGRUBER, F.; 1995. *Multilingual Glossary of Dendrochronology*. Paul Haupt Publishers. 467 págs..

MUÑOZ, E.; 2005. *Estudio dendroclimático en las localidades de Sierra de las Nieves (Málaga) y Sierra del Pinar (Cádiz) a partir de Abies pinsapo Boiss*. Trabajo Fin de Carrera. Escuela de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid.

SOTO, D.; 1998. Razas y variedades de *Abies pinsapo*, Boiss. *Ecología*, 12: 225-236.

| AREA | NIEVES I | NIEVES II | PINAR |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Término municipal | Ronda | Yunquera | Grazalema |
| Provincia | Málaga | Málaga | Cádiz |
| Coordenadas geográficas | 36°41' N 5°01' W | 36°41' N 4°58' W | 36°46' N 5°25' W |
| Altitud (m) | 1300 - 1700 | 1050 - 1250 | 1150 - 1350 |
| Orientación | NW | NE | N |
| Pendiente media | 30% | 30% | 50% |

| | | | |
|---|------------|------------|------------|
| Nº árboles, Nº series | 26, 44 | 17, 31 | 22, 41 |
| Diámetro normal (cm) Máximo, medio y mínimo | 196 127 74 | 159 112 79 | 111 91 73 |
| Nº de anillos Máximo, medio y mínimo | 310 180 86 | 144 86 53 | 232 105 34 |

Tabla 1: Caracterización de las áreas de muestreo y de las muestras obtenidas.

| ESTACIÓN | | RONDA-QUEJIGALES (Málaga) | GAUCÍN (Málaga) | GRAZALEMA (Cádiz) |
|-------------------------|---|------------------------------|----------------------|----------------------|
| Coordenadas geográficas | | 05°03´ W 36°41´ N | 05°58´ W 36°31´ N | 05°22´ W 36°45´ N |
| Altitud | | 1180 m | 626 m | 823 m |
| Periodo de registro | T | 1965-1999 (35 años) | 1983-1994 (12 años) | 1964-1999 (36 años) |
| | P | 1948-1999 (52 años) | 1965-1994 (30 años) | 1913-1999 (87 años) |
| Tm | | 10.7 | 15.1 | 15.3 |
| Pa | | 1297 | 1168 | 1991 |
| A | | 2.64 | 3.35 | 2.81 |

Tabla 2. Características y valores de índices climáticos de los registros meteorológicos utilizados en este trabajo. Fuente: Instituto Meteorológico Nacional y elaboración propia.

Tm: temperatura media, Pa: precipitación anual, A: periodo de aridez medido en meses.

Figura 1. Representación gráfica de las cronologías elaboradas y de la media conjunta (CRMEDIA) donde se señalan los años extremos o característicos por su desviación respecto a la media (en recuadro los coincidentes en las tres cronologías).

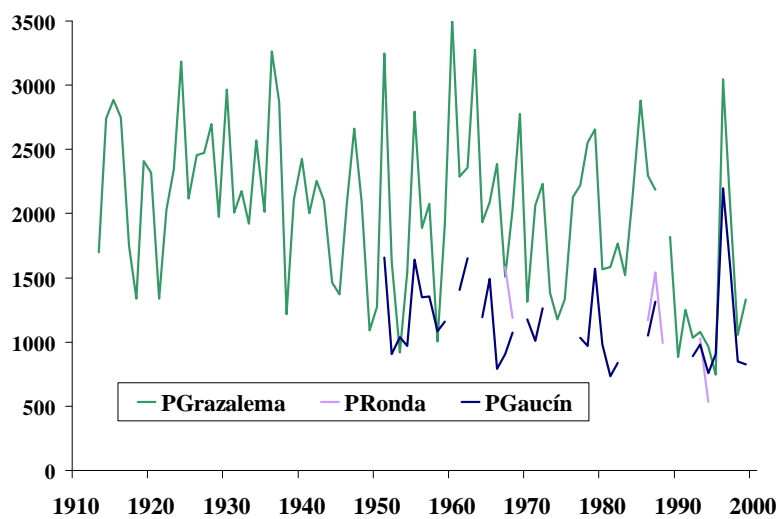
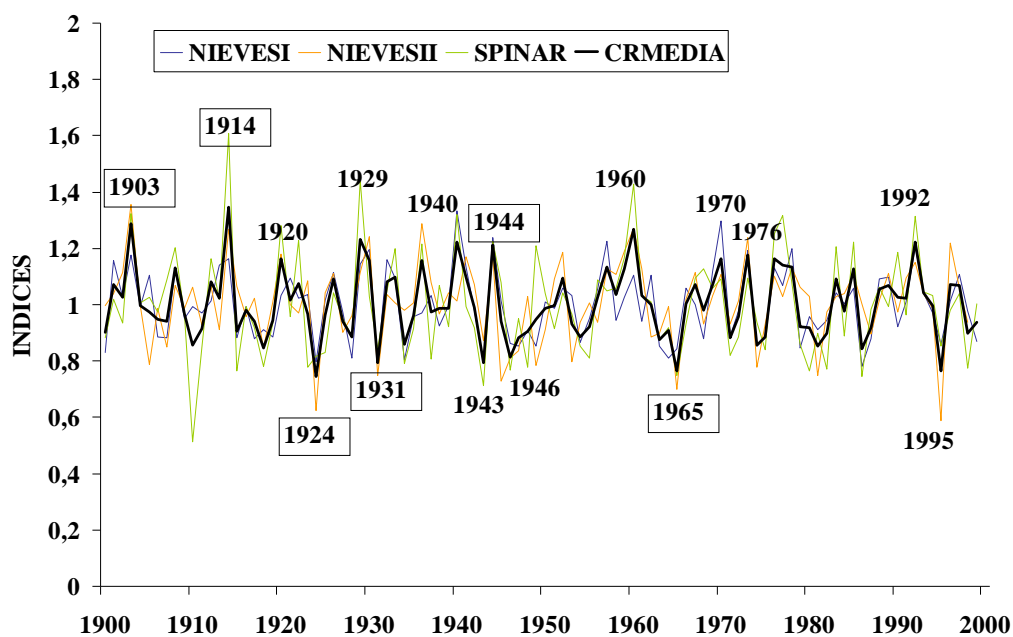


Figura 2. Variabilidad de la precipitación anual en las tres estaciones meteorológicas seleccionadas, en ordenadas el valor de la precipitación (mm) y en abscisas el periodo de registro.

Figura 3. Función Respuesta de la cronología NIEVES1 y las precipitaciones mensuales de la estación de Grazalema (RSQ: 0.349) para el periodo 1914-1999 (86 años). En abcisas los 14 meses analizados para cada año de la cronología (desde julio de t-1 hasta agosto de t). Los cuadrados con aspa indican los meses en que los valores son significativos al 95% (agosto y septiembre de t-1 y junio de t).

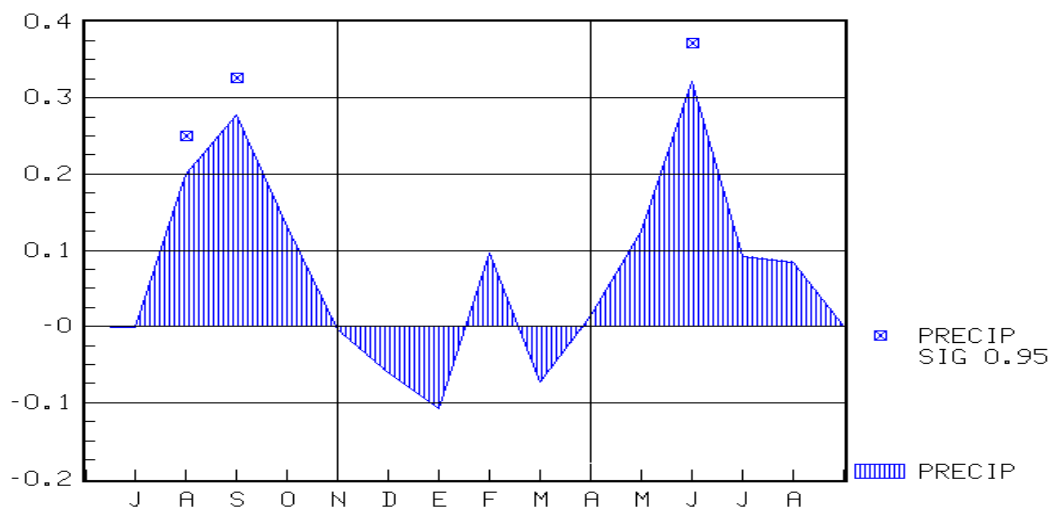
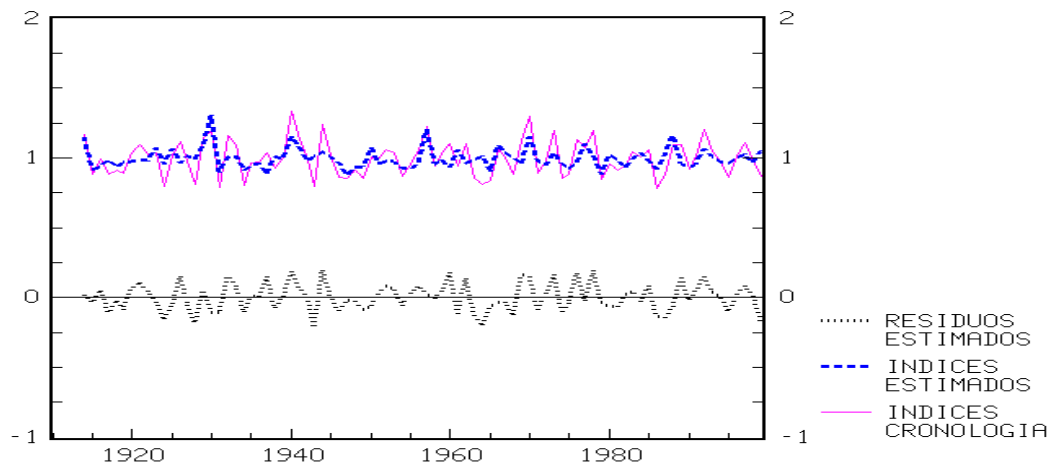


Figura 4. Estimación de los índices de la cronología NievesI por el modelo de la Función Respuesta respecto a la precipitación mensual.