

SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA MEDIDA DEL GROSOR DE ANILLOS DE CRECIMIENTO. APLICACIONES DENDROCLIMÁTICAS.

E. MARTÍNEZ (1); N. CAÑAS (1); E. MANRIQUE (2); M. GÉNOVA (2); A. MARTÍN (1)

(1) E.U.Informática, U.P.M. Ctra. de Valencia km 7. 28031 Madrid. España.

(2) E.U.I.T.Forestal, U.P.M., Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid. España.

RESUMEN

En este trabajo se presenta un dispositivo diseñado para la medida automática de anillos de crecimiento de los árboles. El objetivo fundamental es mejorar el proceso de determinación de los límites de los anillos, dado que los sistemas automáticos existentes suelen requerir una comprobación adicional del operador, por la complejidad inherente a la identificación de los citados límites. Dicha mejora se pretende que se refleje en la fiabilidad del proceso y en la rapidez del mismo, una vez completamente automatizado.

El dispositivo está formado por un sistema mecánico de sujeción de la muestra y una cámara CCD que efectúa un barrido de la misma, proporcionando una imagen digitalizada. El proceso de captación de la imagen es controlado por ordenador, mediante un software específico diseñado con este fin. Se usan algoritmos de análisis de imagen para determinar la situación y medir las anchuras de los anillos. Los resultados se comparan con los obtenidos por otros métodos y se analizan las posibilidades de aplicación a las reconstrucciones dendroclimáticas del pasado.

P.C.: Anillos de crecimiento, Medida Automática, Análisis de Imagen.

SUMMARY

In this work we present a device that is designed for the automatic measurement of tree-ring widths. The main objective is to improve the process of determination of the limits of the rings, since the actual systems usually require an additional confirmation of the operator, due to the inherent complexity in the identification of the mentioned limits. This improvement will be reflected on the reliability and the speed of the process, when totally automated.

The device consists of a mechanical system for holding the sample and a CCD camera that makes a sweeping of the sample, providing a digitized image. The process of reception of the image is controlled on-line, by means of specific software designed with this goal. Algorithms of image analysis are used to determine the situation and to measure the ring widths. The results are compared with those obtained by other methods and the possibility of dendroclimatic reconstruction of the past is analyzed.

K.W.: Tree-Ring Widths, Automatic Measurements, Image Analysis.

INTRODUCCIÓN

Una de los principales problemas de los estudios dendrocronológicos es la medida de la anchura de los anillos de los árboles, que debe hacerse con gran fiabilidad. En caso contrario, otros estudios basados en las series de anillos, como los dendroclimáticos, perderían validez. Se han propuesto y desarrollado diversos dispositivos para hacer la medida automática y fiable. Algunos de ellos están basados en densitometría de rayos X, usando finas láminas de las muestras (SCHWEINGRUBER, 1990); otros están basados en procesos de reflexión de luz en las muestras y la posterior medida de su brillo (SHEPPARD & GRAUMLICH, 1996). Un tratamiento posterior mediante técnicas de análisis de imagen es siempre necesario para llevar a cabo este tipo de estudios morfométricos de la madera (JAGELS & TELEWSKI, 1996).

El sistema de medida depende en buena medida del tipo de muestras utilizadas, dada la dificultad de automatizar el proceso. Por ello, el objetivo de este trabajo ha sido desarrollar un nuevo sistema de medida de anillos de crecimiento para estudios dendrocronológicos y dendroclimáticos (MARTÍNEZ *et. al.* 2000). El sistema se ha diseñado específicamente para medir muestras obtenidas en nuestro país, principalmente en especies de coníferas, en lugares montañosos y con anchuras de anillo que pueden llegar a ser de 0.1 mm.

La captura de imágenes se realiza mediante una cámara CCD. Para su procesado, se ha desarrollado un software específico en el que se puede diferenciar una etapa de filtrado y umbralización y otra de reconstrucción de la imagen.

Como resultado final se obtiene el número de anillos y su anchura. Una *interface* visual permite, si es necesario, que el operador humano pueda comparar y corregir los datos, añadiendo o quitando anillos según su criterio personal. Los programas permiten además realizar estadísticas elementales con dichos datos.

MATERIAL Y METODOS

Se ha partido de un conjunto de muestras de anillos de árboles, principalmente de las especies *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris* y *Pinus uncinata* que han sido tomadas durante el último decenio por diversos investigadores españoles, entre los que se encuentran algunos de los participantes en este proyecto. El proceso inicial de medición se llevó a cabo usando dispositivos semiautomáticos con software específico (ANIOL, 1997). Los procesos de sincronización y datación se llevaron a cabo mediante técnicas gráficas y estadísticas estándar.

Una referencia importante para este trabajo es “Pinar de Lillo”, situado en León, con una formación vegetal muy peculiar de *P. sylvestris* rodeada por especies de frondosas (GÉNOVA, 1998). De cada árbol se tomaron dos muestras en lados opuestos, mediante barrena Pressler, normalmente en la dirección de la pendiente; algunos ejemplos se muestran en la figura 1. Las series dendrocronológicas obtenidas de esta población presentan una edad máxima de aproximadamente 450 años. Estas muestras son las utilizadas para calibrar el nuevo método de medida, comparando los resultados con los que se obtuvieron con los métodos semiautomáticos.

La cámara CCD utilizada captura las imágenes de las muestras en fragmentos con una anchura aproximada de 1.3 cm (equivalente a 768 x 572 píxeles), que posteriormente se unen en un único fichero para iniciar el tratamiento informático. Las muestras se montan sobre un soporte que se puede mover mediante un motor, desplazándose ante la cámara, que permanece fija. La parte mecánica del dispositivo aún está en proceso de mejora, aunque esta circunstancia no repercute en la validez de las medidas. La metodología utilizada, cuyos resultados más importantes se exponen en el siguiente apartado, se basa en la aplicación de una serie de filtros del tipo gradiente, tras lo cual, definido el correspondiente umbral, se pasa íntegramente a una imagen en blanco y negro. La aplicación del “algoritmo del péndulo”, explicado posteriormente, permite determinar los límites del anillo, y a partir de éstos, su grosor.

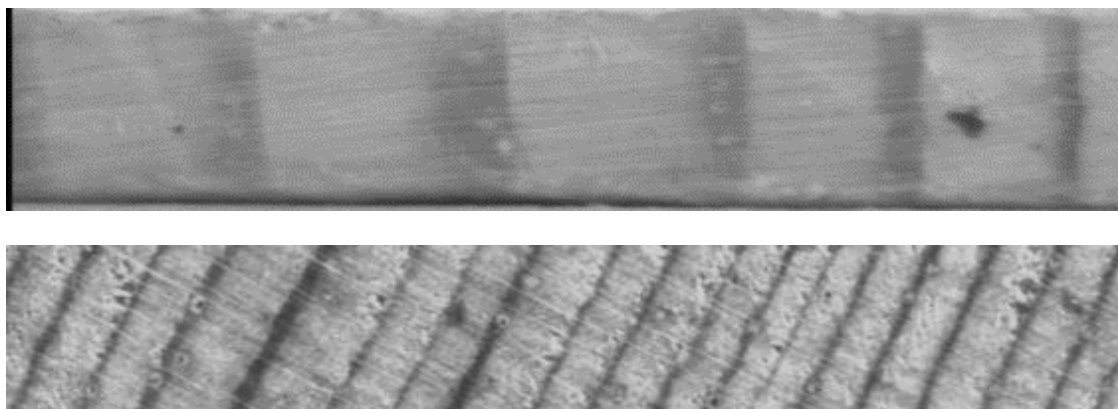


Figura 1: Fragmentos de 1.3 cm de muestras, antes de iniciar el proceso.

RESULTADOS Y DISCUSION

El proceso se inicia con la etapa de filtrado de la imagen utilizando máscaras de tipo gradiente (NIELSEN *et. al.*, 1997) modificadas por los autores del trabajo. Un aspecto importante del proceso es la determinación del umbral de gris para obtener una imagen en blanco y negro. Hay que considerar dos posibles transiciones: de madera tardía a temprana y viceversa, siendo nuestro interés principal la primera. Tras la etapa de filtrado y umbralización, se obtiene una imagen en dos colores,

como se muestra en la figura 2.

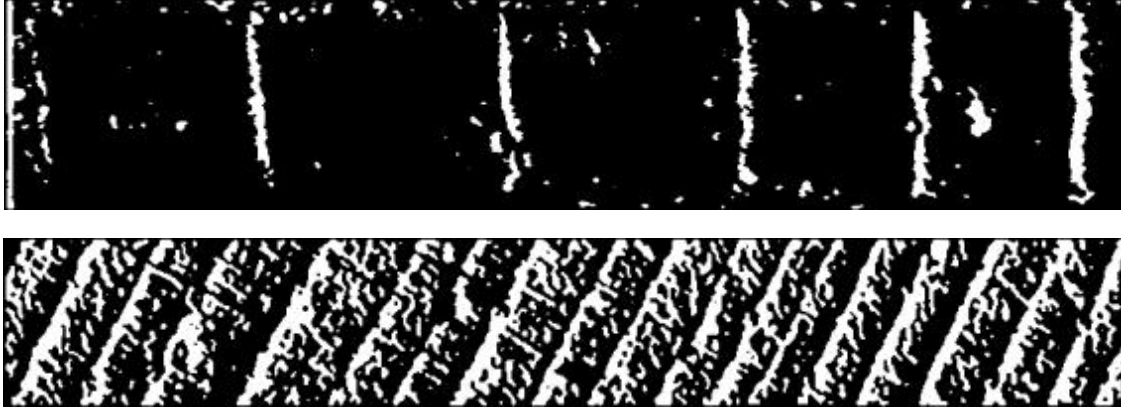


Figura 2: Las muestras de la figura 1, después de umbralizar y filtrar

Con la excepción de muestras particularmente bien definidas, el proceso de filtrado implica siempre una pérdida de información. Por esta razón, antes del recuento de los anillos, debe llevarse a cabo un proceso de reconstrucción de los límites de separación entre ellos. A continuación se expone la técnica desarrollada.

La estrategia que se ha utilizado para resolver el problema de reconstrucción de la imagen está basada en el llamado 'algoritmo del péndulo'. Este algoritmo se basa en la detección de los límites de los anillos mediante el barrido de la imagen filtrada con líneas rectas que simulan el movimiento de un péndulo en un semiperiodo. La hipótesis de partida es que los límites de los anillos son líneas rectas con diferentes pendientes.

Tomando como referencia uno de los dos lados de la muestra que es perpendicular a los anillos, para cada uno de los píxeles de este lado, se genera un rectángulo con anchura definida por el usuario y altura igual a la de la muestra. Tomando estos píxeles como origen, se trazan líneas rectas hasta los píxeles límite de los otros tres lados del rectángulo (fig. 3). La anchura de los rectángulos se fija en función de la calidad de la muestra, con un valor de referencia próximo al doble de la altura.



Figura 3: Mecanismo del algoritmo del péndulo

A continuación, se analiza la pertenencia de los píxeles blancos de la imagen a cada una de las rectas generadas. La distribución resultante presenta máximos a los que se asignan los límites de los anillos y con las rectas correspondientes se genera una imagen como la figura 4.



Figura 4: Resultados después de aplicar el algoritmo del péndulo.

Para poder analizar la validez del proceso de medida, en la figura 5 se presentan las muestras iniciales, con la superposición de las fronteras calculadas. El programa informático permite añadir o eliminar fronteras manualmente, una vez ejecutado el algoritmo, lo que dota al sistema de gran flexibilidad.

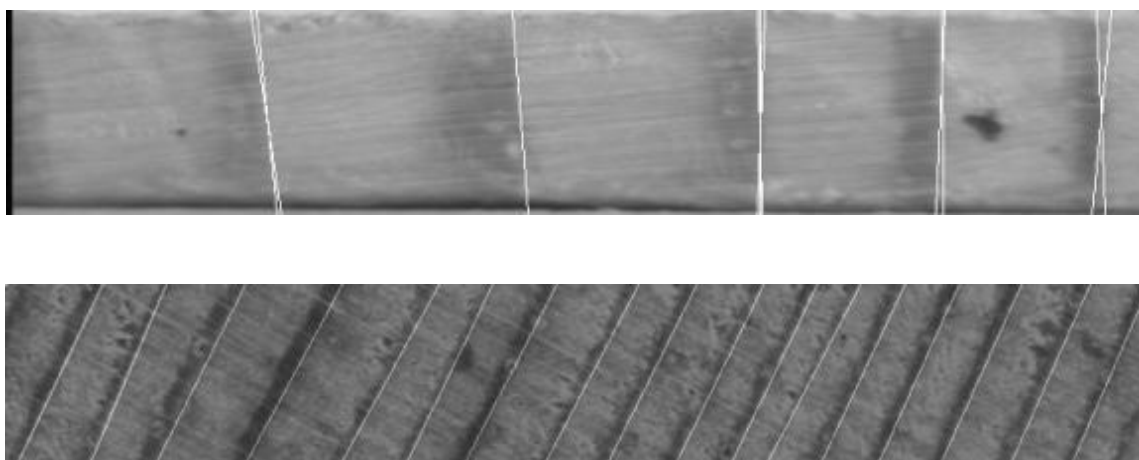


Figura 5: Superposición de las muestras y resultado final del proceso.

Para conocer la fiabilidad de este sistema de medida, es importante comparar los resultados obtenidos con las medidas llevadas a cabo con otros procedimientos automáticos y semiautomáticos. En particular, la figura 6 permite comparar los resultados obtenidos al efectuar la medida con el sistema aquí descrito y con un lector semiautomático (ANIOL, 1987). La coincidencia es estadísticamente significativa, lo que da idea de la potencia y fiabilidad del método.

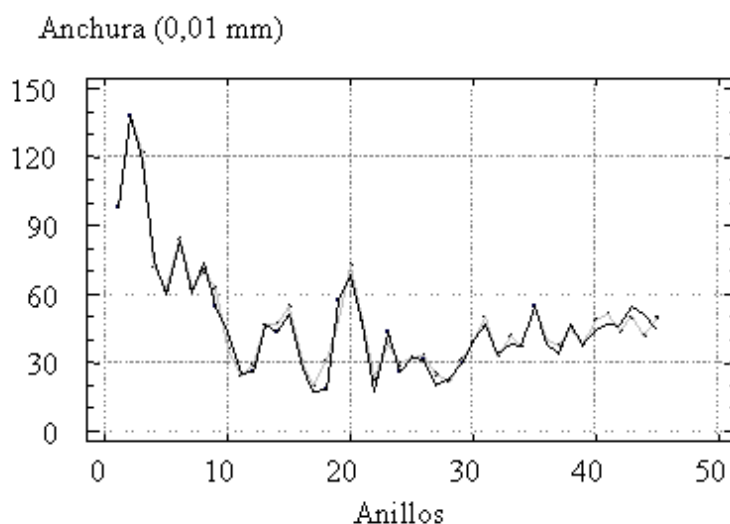


Figura.7: Representación de las medidas con métodos semiautomáticos (negro) y el descrito aquí (gris).

En el estado actual de desarrollo del algoritmo de reconstrucción, cada fotograma tarda unos tres minutos en ser tratado mediante un ordenador con procesador Pentium a 500 MHz, por lo que el análisis de toda la muestra consume entre 30 y 45 minutos, dependiendo de su longitud. Además de mejorar el rendimiento del algoritmo del péndulo, el paso lógico siguiente es utilizar procesamiento en paralelo, dado el carácter redundante de los cálculos necesarios.

Las aplicaciones del sistema de medida están enfocadas fundamentalmente a la reconstrucción climática del pasado. La elevada longevidad de algunos ejemplares de árboles de la

península, próxima al milenio, permitirá utilizar diversas técnicas estadísticas para obtener series climáticas de gran longitud y fiabilidad (FRITTS, 1976)

CONCLUSIONES

El sistema presentado en este trabajo permite capturar y analizar imágenes de muestras tomadas de los árboles mediante barrena Pressler, a fin de determinar el número de anillos y su grosor. Las medidas se realizan con gran fiabilidad, como demuestra la comparación con otros sistemas de medida. La ventaja del dispositivo expuesto aquí es que está diseñado específicamente para el tipo de muestras obtenidos en nuestro país, tratando de mejorar la fiabilidad y la rapidez en la medida, y proporcionando una herramienta de gran valor para posteriores estudios dendroclimáticos.

AGRADECIMIENTOS

El dispositivo que se describe en esta comunicación se ha desarrollado con la ayuda de un Proyecto de Investigación (AM9820) financiado por la Universidad Politécnica de Madrid.

BIBLIOGRAFIA

- ANIOL, R.; (1987). A new device for Computer Assisted Measurements of Tree-ring Widths. *Dendrochronologia* 5: 135-141
- FRITTS, H.C.; (1976). *Tree Rings and Climate*. Academic Press. London, New York, San Francisco, 567 p.
- GÉNOVA, M.; (1998). Estudio de los anillos de crecimiento y su relación con las variables meteorológicas en el pinar de Lillo (León). *Ecología*, 12: 237-250.
- JAGELS, R. & TELEWSKI, F.W.; (1996). Computer-Aided Image Analysis of Tree Rings. In Cook, E.R. & Kairiukstis, L.A. (Eds.) *Methods on Dendrochronology. Applications in the environmental Sciences*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 76-93.
- MARTÍNEZ, E.; CAÑAS, N.; HERNÁNDEZ, M.; RODRÍGUEZ, M.; MANRIQUE, E.; GÉNOVA, M.; MONTORO, T. & BELENGUER, T.; (2000). Image analysis applied to the determination of ring widths. *International Conference on Dendrochronology* (comunicación). Mendoza (Argentina).
- NIELSEN, M.; FLORACK, L. & DERICHE, R.; (1997). Regularization, scale-space and edge detection filters. *Journal of Mathematical-Imaging and Vision*. 7 (1997), Num 4, 291-307
- SHEPPARD, P.R. & GRAUMLICH, L.J.; (1996). Reflected-Light Video Imaging System. En Dean, J.S.; Meko, D.M. & Swetnam T.W. (Eds.) *Tree Rings Environment and Humanity, Radiocarbon*: 879-889.
- SCHWEINGRUBER, F.H.; (1990). Radiodensitometry. En Cook, E.R. & Kairiukstis, L.A. (Eds.), *Methods on Dendrochronology. Applications in the environmental Sciences*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 55-63.