

# LOS MÉTODOS DENDROGEOMORFOLÓGICOS COMO HERRAMIENTAS DE DATACIÓN DE PROCESOS EROSIVOS: APLICACIONES A LA ESTIMACIÓN DE TASAS DE EROSIÓN.

RUBIALES, J.M. (1); GÓMEZ MANZANEQUE, F. (1); BODOQUE, J.M. (2)

(1) Departamento de Silvopascicultura. ETSI Montes. Universidad Politécnica de Madrid. 28040. Madrid.

(2) Departamento de Geodinámica. Universidad Complutense de Madrid, C/ José Antonio Novais s/n. 28040. Madrid.

**Resumen:** Se presentan nuevas propuestas metodológicas dendrométricas para la datación de procesos erosivos. Las técnicas empleadas consisten en el análisis anatómico de raíces de árboles que vegetan en terrenos erosionados. El estudio de varios parámetros microestructurales permite datar con precisión el momento de inicio del proceso erosivo siendo esto de gran utilidad a la hora de estimar tasas de erosión.

En el presente trabajo se exponen los resultados obtenidos en casos de erosión mecánica, principalmente por pisoteo, en una senda de montaña altamente transitada (Senda Schmidt, Sierra de Guadarrama, Segovia).

**Palabras clave:** anatomía de la raíz, erosión por pisoteo, dendrogeomorfología, tasa de erosión, Senda Schmidt.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los estudios de las variaciones de crecimiento en árboles como reacción a perturbaciones erosivas se han ido desarrollando durante gran parte de este siglo en Europa y Estados Unidos (SHRODER, 1980). Los análisis de las series de anchuras de anillos, dentro de las disciplinas denominadas como “dendrohidrología” y “dendrogeomorfología”, se constituyen, a partir de los años 60, como potentes herramientas de evaluación de procesos erosivos (LAMARCHE, 1963; CARRARA AND CARROLL, 1979; SHRODER, 1980; SHRODER AND BUTLER, 1987; HEIKKINEN, 1994; DANZER, 1996); WANDEKERCKHOVE *et al.*, 2001). La mayor parte de estos estudios se centra en el análisis de los anillos de crecimiento en troncos con el objetivo de datar el momento de inicio de las perturbaciones y reconstruir temporalmente los procesos geomorfológicos. Los trabajos que se centran en el estudio de las raíces están mayoritariamente orientados a datar movimientos de masa de naturaleza catastrófica o episódica, como deslizamientos traslacionales (*debris slides*), desprendimientos (*earth block slides*) o corrientes de derrubios (*debris-flow*).

Los factores anatómicos considerados hasta ahora en raíces para la datación de estos eventos son diversos. Por un lado, el estudio de la disposición de los horizontes radicales permite calcular la edad mínima de exposición al atrofiarse y morir las raíces de los horizontes más antiguos al mismo tiempo que las de los jóvenes comienzan a desarrollarse (STRUNK, 1997). Otros métodos relacionan la datación del proceso erosivo con el momento de desarrollo de chirpiales de especies rebrotadoras (WANDEKERCKHOVE *et al.*, 2001). La muerte del *cambium* y el inicio de crecimiento excéntrico anormal en la sección de raíces expuestas son también utilizados en otros trabajos (CARRARA & CARROLL, 1979; WANDEKERCKHOVE *et al.*, 2001). Finalmente, han sido realizados estudios en el centro de Europa sobre *Larix decidua* Mill., centrados de manera detallada en la anatomía celular y en los tejidos xilemáticos de la raíz (GÄRTNER *et al.*, 2001).

El presente trabajo aborda la metodología utilizada para estudiar y datar los cambios observados en la estructura de los tejidos del xilema de raíces expuestas por erosión (denudación) en una senda de montaña altamente transitada. Estos datos son comparados con los de raíces de ejemplares no erosionados, considerando las posibilidades de aplicación a la estimación de tasas de erosión precisas.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

El muestreo de las raíces fue realizado durante el verano de 2001, a lo largo de la llamada Senda Schmidt (Sierra de Guadarrama, Segovia). Fueron recogidas secciones de raíces de *Pinus sylvestris* L. orientadas según la línea de máxima pendiente de la ladera. Se cortaron con sierra manual al menos a un metro y medio de distancia del fuste, para eliminar en la medida de lo posible la influencia del crecimiento general del árbol. Del mismo individuo se recogió una raíz testigo no afectada por la erosión, del mismo grosor y en condiciones vegetativas similares a las de las raíces muestreadas, con el objetivo de comparar la estructura y las pautas de crecimiento del árbol en el mismo periodo de años. Se tomaron también datos de localización geográfica y de pendiente para cada raíz.

Se realizaron cortes sobre paralelepípedos de madera sometidos a tratamientos de ablandado mediante una mezcla con glicerina y alcohol (BAREFOOT & HANKINS, 1982). Este tratamiento es el que se aplica de manera usual en la mayoría de las maderas para su preparación a fin de estudiar su estructura anatómica. Después de empapar el cubo, se sumerge en una solución de alcohol y glicerina en proporción 1:1. Esta solución lubrica y ablanda a la mayoría de las maderas lo suficiente para su preparación en lámina delgada sin necesidad de posteriores tratamientos.

La preparación consistió en la obtención de un corte limpio al microtomo de carro, para poder observar la estructura microscópica (traqueidas, radios leñosos y canales resiníferos) mediante la técnica de luz incidente. Las muestras permanecieron durante más de un mes en disolución de glicerina y alcohol en proporción 1:1.

El análisis biométrico de las muestras se realizó con analizador de imagen sobre fotografías digitales en dos fases:

I) La primera fase consistió en, mediante un estudio piloto, identificar cuáles eran los parámetros que varían con mayor seguridad entre maderas afectadas y no por la erosión. Para esto se realizaron:

A) Mediciones en cada anillo de crecimiento de:

- Grosor.
- Número de células en dirección radial
- Porcentaje de madera tardía.
- Frecuencia cada anillo de canales resiníferos.

B) Una vez identificadas, con los dos parámetros anteriores, las zonas de cambio se procedió a la medición en un intervalo de seis anillos de:

- Dimensiones del lumen celular en madera temprana y tardía
- Dimensión de la pared celular en madera temprana y tardía

II) La segunda fase consistió en analizar con más detalle los caracteres seleccionados en el paso I como marcadores de exposición. Los caracteres analizados fueron:

- Grosor del anillo
- Número de células por anillo
- Porcentaje de madera tardía
- Diámetro radial del lumen celular en madera temprana

En las mediciones del grosor del anillo, número de células por anillo y porcentaje de madera tardía se siguieron dos radios de la sección, de los que uno era el de máximo crecimiento (eje vertical). Con los datos de las dos secciones se examinó la posible presencia de anillos irregulares (dobles o ausentes) y se obtuvo un valor medio del crecimiento. Las medidas relativas a elementos celulares fueron realizadas sobre 12 traqueidas cogidas al azar en cada anillo. Los datos fueron divididos en grupos según la hipótesis de exposición a la erosión y analizados mediante test ANOVA y Kruskal-Wallis para el análisis de varianza.

Las tasas de erosión calculadas mediante la datación del evento erosivo usando los marcadores anatómicos puede llevarse a cabo contando el número de anillos existente entre aquel en el que se observa el cambio brusco anatómico y el último anillo desarrollado (Figura 1). La división entre la

distancia entre la cara superior de la raíz y el suelo (D) y el tiempo transcurrido entre la datación del proceso erosivo y la actualidad ( $t'$ ) permite obtener una estimación de las pérdidas de suelo.

### 3. RESULTADOS

En los anillos de maderas de raíces sometidas a erosión se observa una pauta similar en cada una de las muestras (Figura 2), que es la siguiente:

#### A. Crecimiento anual (número de células):

En todas las muestras se observan perturbaciones similares. Se produce un aumento muy brusco del crecimiento en los anillos.

#### B. Crecimiento anual (métrico):

En todas las muestras se observan perturbaciones similares. Se produce un aumento muy brusco del crecimiento en los anillos.

#### C. Porcentaje de madera tardía / grosor total

El porcentaje de madera tardía es siempre superior al de las raíces no erosionadas, sin alcanzar en ningún momento valores superiores al 30% del grosor del anillo.

#### D. Luz de las traqueidas de madera de primavera

Las traqueidas presentan en el mayor número de casos luces más pequeñas y paredes más gruesas. Por otro lado, la variación no es suficientemente significativa (Tabla 1) en un número importante de casos.

Además de lo anterior, se destaca la nitidez, en los años de erosión, con la que se distingue el límite entre madera temprana y tardía.

Por otro lado, el análisis de los anillos de crecimiento en las secciones de raíces sometidas y no sometidas a erosión desveló que la diferencia en número de anillos (debidos a posibles anillos dobles o ausentes) se estimó en un valor inferior al 4%, error muy aceptable para los objetivos finales de la investigación. Los resultados obtenidos en la aplicación del método al cálculo de tasas de erosión arrojan para un nivel de confianza del 95% unos intervalos de erosión media de 1.7 – 2.6 mm/año, para un periodo de 101 años de exposición. Esto equivale, considerando los valores de densidad media de los suelos erosionados (aprox. 1,7 t/m<sup>3</sup>) a unos valores de 29-44 t/ha año. Estos valores, para los últimos 10 años de exposición aumentan hasta 102-170 t/ha año (nivel de confianza del 95%).

### 4. DISCUSIÓN

En la comparación anatómica entre las raíces sometidas a erosión y las consideradas como testigo (no afectadas) se observa una variación diferencial de los siguientes parámetros: grosor del anillo, número de células en dirección radial en madera temprana y tardía, luz celular en madera temprana y tardía. Sin embargo, los datos obtenidos acerca de la frecuencia de canales resiníferos y el grosor de la pared de las traqueidas no resultaron marcadores claros de exposición.

El análisis estadístico realizado en la segunda fase de estudio permite afirmar que los cambios en crecimiento anual son indicadores constantes de exposición a la erosión, mientras que el porcentaje de madera tardía y las dimensiones de las traqueidas de madera temprana son indicadores del cambio en la mayoría de los casos, pero no en su totalidad (Tabla 1).

Nuestros resultados concuerdan con los efectuados por GÄRTNER *et al.* (2001) sobre raíces de *Larix decidua* Mill en centroeuropa. Esto consituye un nuevo argumento para confirmar la validez del método para constatar el momento de exposición y muerte del cambium vascular en la cara adaxial de la raíz.

No obstante, sería conveniente profundizar en la investigación de este hecho, ya que aún

deberían aclararse ciertas cuestiones. En primer lugar, la identificación de las perturbaciones anatómicas detectadas parece corresponderse claramente con la eliminación del tejido cambial superior y su exposición, pero convendría cuantificar la posible intervención de otros factores ambientales como la disponibilidad hídrica, la funcionalidad estructural, la temperatura o las actuaciones selvícolas. Por otra parte sería también útil cuantificar los cambios en relación al grado de exposición, el tamaño de la raíz al sufrir el efecto erosivo, o incluso relacionarlo con distintas secciones de la raíz a diferente distancia del tronco.

La datación del evento erosivo es un dato clave para la aplicación en la estimación de tasas de erosión por denudación en procesos similares a los analizados en este trabajo. Se puede realizar contando el número de anillos existente entre aquel en el que se observa el cambio brusco anatómico y el último anillo desarrollado. La estimación de las pérdidas de suelo se calcularía dividiendo la distancia entre la pared superior de la raíz y el suelo y el tiempo transcurrido entre la datación del proceso erosivo y la actualidad.

*Pinus sylvestris* puede presentar en un número restringido de casos con crecimientos radiales anómalos, con falsos anillos y/o anillos ausentes debidos a diversos factores ambientales y fisiológicos (PANSHIN & DE ZEEUW, 1970; FRITTS, 1976; SCHWEINGRÜBER, 1996). La existencia de estos cambios confiere un cierto error a la datación que, tras intentar cuantificar, parece asumible a la hora de establecer tasas de erosión en intervalos de tiempo relativamente grandes.

## 5. AGRADECIMIENTOS

A Mar Génova y Fernando Magdaleno por aportarnos comentarios útiles durante la realización del trabajo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

BAREFOOT, A.C. & HANKINS, F.W.; 1982. Identification of Modern and Tertiary Woods. Oxford Science Publications, Oxford. 189 pp.

CARRARA, P.E. and CARROLL, T.R.; 1979. The determination of erosion rates from exposed tree roots in the Piceance Basin, Colorado. *Earth Surface Processes*, 4: 307-317.

DANZER, S.R.; 1996. Rates of slope erosion determined from exposed roots of ponderosa pine at Rose Canyon Lake, Arizona. In: J. Dean, D.M. Meko and T.W. Swetnam (Eds.). *Tree Rings, Environment, and Humanity. Radiocarbon 1996, Proceedings of the international conference*, University of Arizona, Tucson, pp. 671-678.

FRITTS, H.C.; 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press, New York.

GÄRTNER, H., FRITZ, H., SCHWEINGRUBER, F.H. AND DIKAU, R.; 2001. Determination of erosion rates by analyzing structural changes in the growth pattern of exposed roots. *Dendrochronologia*, 19: 1-11.

HEIKKINEN, O.; 1994. Using dendrochronology for the dating of land surfaces. In: C. Beck (Ed.), *Dating in Exposed and Surface Contexts*. University of New Mexico Press, Albuquerque, pp. 213-235.

LAMARCHE, V.C.; 1963. Origin and geologic significance of buttress roots of bristlecone pines, White Mountains, California. U.S. Geological Survey Professional Paper, 475-C: C149-C150.

PANSHIN A. J., ZEEUW DE, C.; 1970. *Textbook of Wood Technology – Volume 1*. Structure, identification, uses, and properties of the commercial woods of the United States and of Canada. McGraw-Hill Book Company, New York, 705.

SCHWEINGRUBER, F.H.; 1996. *Tree rings and environment: dendroecology*. Edited by Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Birmensdorf, Paul Haupt Publishers, Berne, Switzerland.

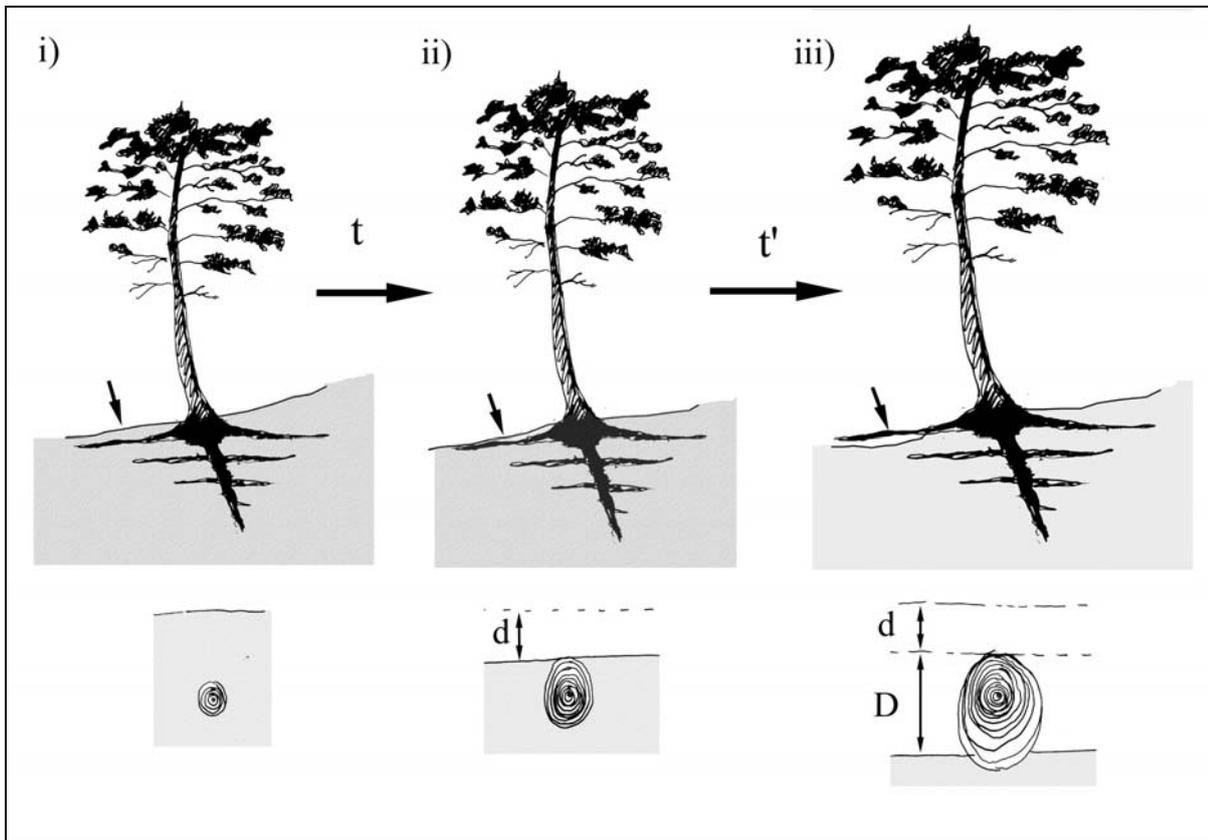
SHRODER, Jr., J.F. AND BUTLER, D.R.; 1987. Tree-ring analysis in the earth sciences. In: G.C. Jacoby, Jr. and J.W. Hornbeck (Eds.), *Proceedings of the International Symposium on Ecological Aspects of Tree-Ring Analysis*. Publication CONF-8608144. U.S. Department of Energy, Tarrytown,

New York, pp. 186-212.

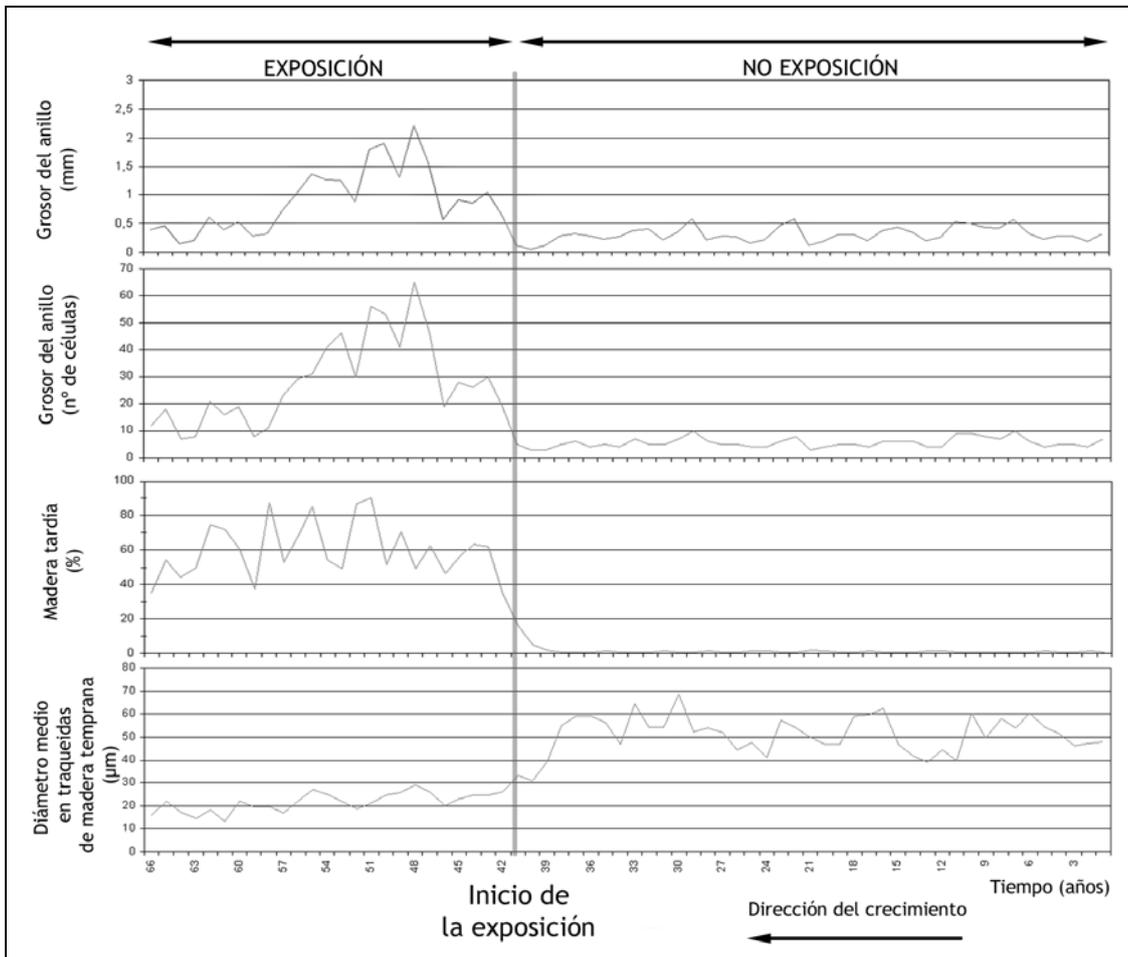
SHRODER, Jr., J.F.; 1980. Dendrogeomorphology: review and new techniques of tree-ring dating. *Progress in Physical Geography*, 4(1): 161-188.

STRUNK, H.; 1997. Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods. *Catena*, 31(1-2): 137-151.

VANDERKERCKHOVE, L., MUYS, B., POESEN, J., DE WEERDT, B. and COPPÉ, N.; 2001. A method for dendrochronological assessment of medium-term gully erosion rates. *Catena*, 45: 123-161.



**Figura 1. Proceso de denudación y parámetros utilizados para el cálculo de tasas de erosión: i) Desarrollo normal; ii) Inicio de la exposición de la raíz; iii) Momento del muestreo con raíz expuesta.**



**Figura 2: Variaciones en los parámetros estudiados en una raíz de *Pinus sylvestris*: i) Grosor del anillo (mm), ii) Grosor del anillo (n° de células), iii) Porcentaje de madera tardía, iv) Diámetro medio de traqueidas en madera temprana.**

	<i>SSC23</i>	<i>SSC27</i>	<i>SSC29</i>	<i>SSC29b</i>	<i>SSC35</i>	<i>SSC36</i>	<i>SSCE1</i>
<i>Crecimiento anual (mm)</i>	1.104	0.564	0.805	0.397	0.939	0.916	1.198
<i>Células por anillo de crecimiento</i>	27.9	21.6	17.0	8.1	24.9	20.1	13.43
<i>% de madera tardía</i>	42.7	57.4	39.8	26.5	*1.47	*3.12	6.45
<i>Diámetro de la luz celular en madera temprana (mm)</i>	0.015	0.029	0.016	*0.002	*0.003	*0.001	0.026

**Tabla 1: Diferencias entre grupos (erosion/no erosión) delimitadas bajo el test de rango múltiple (*Fisher's least significant difference (LSD) method*). Las casillas marcadas con \* muestran una diferencia no suficientemente significativa.**