

EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA LAMINAR MEDIANTE ANÁLISIS DENDROGEOMORFOLÓGICO DE RAÍCES EXPUESTAS

J.M. Bodoque (1), J.M. Rubiales (2), J.A. Ballesteros (3), A. Díez-Herrero (3)

- (1) Departamento de Ingeniería Geológica y Minera, Facultad de Ciencias del Medio Ambiente, Universidad de Castilla-La Mancha, Campus Fábrica de Armas, 45071 Toledo
- (2) Departamento de Silvopascicultura, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, 28040 Madrid
- (3) Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 28003 Madrid

Contacto: josemaria.bodoque@uclm.es / Teléfono: 925 268800 EXT: 5445

Resumen

En este trabajo se describe la utilización de la dendrogeomorfología para determinar tasas de erosión hídrica en la Senda Schmidt. Este camino se ubica en los Montes de Valsaín (vertiente septentrional de la Sierra de Guadarrama), provincia de Segovia. Se trata de un lugar en el que se ha producido una erosión acelerada del suelo en los últimos años, como consecuencia de actividades de ocio (senderismo). Precisamente, la denudación ‘acelerada’ ha dejado expuestas en superficie un gran número de raíces, lo que ha permitido experimentar en el área objeto de estudio esta rama de la ciencia. Los objetivos a alcanzar fueron: a) estimar las tasas de erosión laminar, para lo cual se ha prestado especial atención a la caracterización de distintos parámetros anatómicos; b) determinar la influencia de distintos factores ambientales en las tasas calculadas.

Palabras clave: Dendrogeomorfología, erosión hídrica, valor recreacional, Senda Schmidt

1. INTRODUCCIÓN

La Sierra de Guadarrama recibe un flujo continuo de visitantes que acuden a este espacio para disfrutar de actividades al aire libre como el senderismo. La consecuencia más inmediata es una disminución del valor recreacional y natural de las sendas y caminos, debido a que aumenta la intensidad con la que actúa la erosión hídrica. Para paliar este impacto los gestores necesitan información objetiva y fiable, en relación a los factores que inducen la degradación del suelo así como las tasas correspondientes.

Desde mediados del siglo pasado se han estado utilizando raíces expuestas en estudios dendrogeomorfológicos (Alestalo, 1971) para estimar tasas de erosión hídrica, sobre la base del análisis del cambio del patrón de crecimiento de los anillos (Figura 1; Carrara & Carroll, 1979; Bodoque *et al.*, 2005). Este método lleva asociado errores en la estimación de las tasas (Bodoque *et al.*, 2005). Una alternativa más precisa consiste en analizar los cambios en la estructura anatómica de los anillos de crecimiento debido a la exposición (Bodoque *et al.*, 2005; Gärtner, 2007; Rubiales *et al.*, 2008).

El objetivo de este trabajo es describir la respuesta anatómica de raíces expuestas de *Pinus sylvestris*, al objeto de determinar con un alto grado de certidumbre el primer año de exposición. Precisamente la estimación de este parámetro permite cuantificar tasas de erosión hídrica, sobre la base de la determinación del cociente entre altura de suelo denudado y número de años que la raíz ha permanecido expuesta.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El área muestreada corresponde a un camino bien conocido dentro de la Sierra de Guadarrama: la Senda Schmidt (Figura 2). Esta Senda tiene un uso recreativo casi exclusivo, generalmente asociado a senderismo (Bodoque *et al.*, 2005).

3.1. Muestreo

En la senda Schmidt se cortaron 36 secciones de raíces expuestas de *Pinus sylvestris* (Figura 3), de las cuales se seleccionaron 18 para realizar el análisis anatómico. Las secciones se cortaron con una sierra de mano, obteniéndose testigos cilíndricos de unos 15 cm de longitud. En todos los casos se tomaron muestras de raíces orientadas según la dirección de máxima pendiente de la ladera y a una distancia del tronco superior a un metro y medio (Carrara & Carroll, 1979).

3.2. Preparación de las muestras

Las secciones de las raíces muestreadas se dejaron secar al aire libre durante dos meses. Pasado este tiempo se obtuvieron dos láminas a partir de la sección inicial, esta vez de aproximadamente 1,5 cm de espesor. Posteriormente fueron pulidas. Seguidamente, dichas secciones se escanearon a una resolución de 1200 ppp, para después proceder al estudio macroscópico del patrón de crecimiento anual de los anillos. En lo que al análisis anatómico se refiere, las muestras fueron preparadas de acuerdo con el método descrito por Gärtner *et al.* (2001). El hecho de que algunas muestras presentaran un elevado contenido de resina en el xilema dificultó en un primer momento el análisis. Por ello, se procedió al lubricado y ablandado de las muestras mediante inmersión de las mismas en mezcla de agua y alcohol (Rubiales *et al.*, 2008).

Mediante micrótopo se obtuvieron secciones transversales, de un centímetro de ancho y 20 micras de espesor, de acuerdo con la dirección radial. Las preparaciones fueron teñidas con safranina siguiendo el protocolo descrito por Schweingrüber (1990). Posteriormente, se deshidrataron con alcohol (40 y 96%) y se lavaron con un disolvente apolar compuesto por aceites cítricos (*HistoClear*). Las muestras se montaron sobre portaobjetos y cubreobjetos con una resina tipo epoxy (Eukit), secándose después a temperatura ambiente.

Las secciones transversales fueron observadas al tiempo que fotografiadas haciendo uso de un dispositivo digital situado bajo el microscopio óptico. Se tomaron medidas, perpendicularmente al anillo de crecimiento, de los siguientes parámetros: a) anchura del anillo de crecimiento; b) número de células por anillo; c) porcentaje de madera tardía; y d) diámetro de la luz celular en la madera temprana. La presencia de conductos resiníferos también fue tenida en cuenta. Sobre la base de las medidas obtenidas, se realizó un contraste estadístico de rangos múltiples, al objeto de verificar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos homogéneos de medidas (anillos indicadores de no exposición vs. anillos indicadores de exposición).

Las tasas de erosión hídrica estimadas, mediante determinación del cociente entre altura de suelo desnudo y número de años de exposición, fueron tratadas estadísticamente. Para ello, se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo, así como otro multivariante, en el que las variables independientes consideradas fueron: a) orientación de la ladera; b) orientación local de la raíz; c) pendiente de la ladera; d) pendiente local de la raíz; e) edad de exposición; f) situación en el camino.

2. RESULTADOS

La Figura 4 muestra tres patrones de series de anillos de crecimiento, con características morfológicas y anatómicas claramente diferenciadas.

Zona 1. Representativa de raíces con cobertura edáfica. Se caracteriza por presentar anillos estrechos, ausencia de madera tardía así como límites entre anillos poco claros.

Zona 2. Queda definida por dos o tres anillos de crecimiento que presentan una anchura muy superior a la que exhiben los desarrollados bajo un suelo. Al contrario que en la Zona 1, los anillos se reconocen y delimitan con facilidad, debido a que la madera tardía está constituida por varias filas de traqueidas de pared gruesa. No obstante, se pueden formar falsos anillos reconocibles por la presencia de células características de la madera tardía que se forman dentro de la madera temprana.

Zona 3. La zona 3 se forma una vez la raíz se ha adaptado al estrés resultante de su exposición, y que en un fase inicial explica la formación de la Zona 2. Salvo la presencia sistemática de células de pared gruesa, en la Zona 3 no se han podido definir pautas reconocibles en el total de muestras estudiadas.

Respecto al análisis estadístico realizado, del análisis de los percentiles y cuartiles de la muestra se deriva el dato de que el 75% de las muestras presentan tasas de denudación media inferiores o iguales a 3 mm/año, mientras que en el 25 % restante las tasas están comprendidas en un rango que va de 3 a 8,9 mm/año. Sobre la base del Análisis Multifactor de la Varianza (ADEVA) realizado, se establece que a la vista de los valores de probabilidad obtenidos en la senda Schmidt se acepta la hipótesis nula para todos los factores excepto para las variable 'situación en el camino', pues presenta un p-valor $< 0,05$. Como resultado, el factor 'situación en el camino' tiene efecto estadísticamente significativo sobre la variable respuesta, a un nivel de confianza del 95 %. Además, mediante el desarrollo del contraste de Fisher de mínimas diferencias significativas, se realizó un análisis de comparación múltiple para las clases definidas en los factores 'edad de exposición' y 'situación en el camino'. Los resultados que se derivaron de la aplicación del análisis muestran, a un nivel de confianza del 95%, la existencia de diferencias significativas entre cada uno de los grupos de edad definidos.

4. CONCLUSIONES

Los patrones reconocidos en las series de anillos de crecimiento, tanto a nivel morfológico como anatómico, son semejantes a los definidos en otros estudios basados en el análisis de coníferas (Gärtner, 2001; Gärtner *et al.*, 2003; Hitz *et al.*, 2007). Sobre la base de los resultados obtenidos, se puede concluir que la erosión hídrica y consecuente exposición son el desencadenante de los cambios anatómicos observados. El incremento en la anchura del anillo de crecimiento, tanto en términos absolutos como en el número de células por anillo, y el aumento en el porcentaje de madera tardía definen geoindicadores determinantes para establecer con precisión el primer año de exposición. Una vez determinado éste se pueden cuantificar tasas de erosión hídrica con un grado de precisión razonable.

Agradecimientos

Este trabajo de investigación ha sido financiado parcialmente por el proyecto CICYT Dendro-Avenidas (CGL2007-62063) y por el proyecto Georiada (Instituto Geológico y Minero de España).

REFERENCIAS

- ALESTALO, J.; 1971. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes, *Fennia*, 105, 1–140.
- BODOQUE, J.M., DíEZ-HERRERO, A., MARTÍN-DUQUE, J.F., RUBIALES, J.M., GODFREY, A., PEDRAZA, J., CARRASCO, R.M. AND SANZ, M.A.; 2005. Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorphological analysis of exposed tree roots: two examples from Central Spain. *Catena*, 64, 81–102.
- CARRARA, P.E. Y CARROLL, T.R.; 1979. The determination of erosion rates from exposed tree roots in the Piceance Basin, Colorado, *Earth Surf. Processes*, 4, 307– 317.
- GÄRTNER, H., SCHWEINGRUBER, F.H., DIKAU, R.; 2001. Determination of erosion rates by analyzing structural changes in the growth pattern of exposed roots. *Dendrochronologia*, 19, 81–91.
- GÄRTNER, H.; 2003. The applicability of roots in Dendrogeomorphology. In: Schleser, G., Winiger, M., Bräuning, A., Gärtner, H., Helle, G., Jansma, E., Neuwirth, B. and K. Treydte (Eds.): TRACE - *Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology*, 1, 120-124.
- GÄRTNER, H.; 2007. Tree roots. Methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes. *Geomorphology*, 86, 243-251.
- HITZ, GÄRTNER, H.; HEINRICH, I.; MONBARON, M.; 2007. Application of ash (*Fraxinus excelsior* L.) roots to determine erosion rates in mountain torrents. *Catena*, doi:10.1016/j.catena.2007.05.008.
- RUBIALES, J.M., BODOQUE, J.M., BALLESTEROS, J.A., DíEZ-HERRERO A. (1998). Response of *Pinus sylvestris* roots to sheet-erosion exposure: An anatomical approach. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 8, 223–231.
- SCHWEINGRUBER, F.H.; 1990. *Anatomie Europäischer Hölzer*. Haupt, Bern.



Figura 1

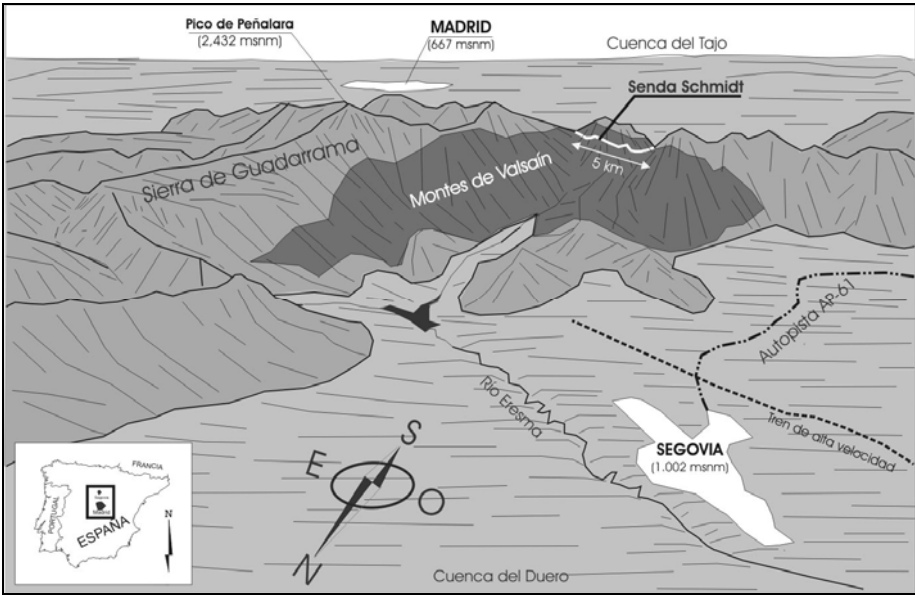


Figura 2



Figura 3

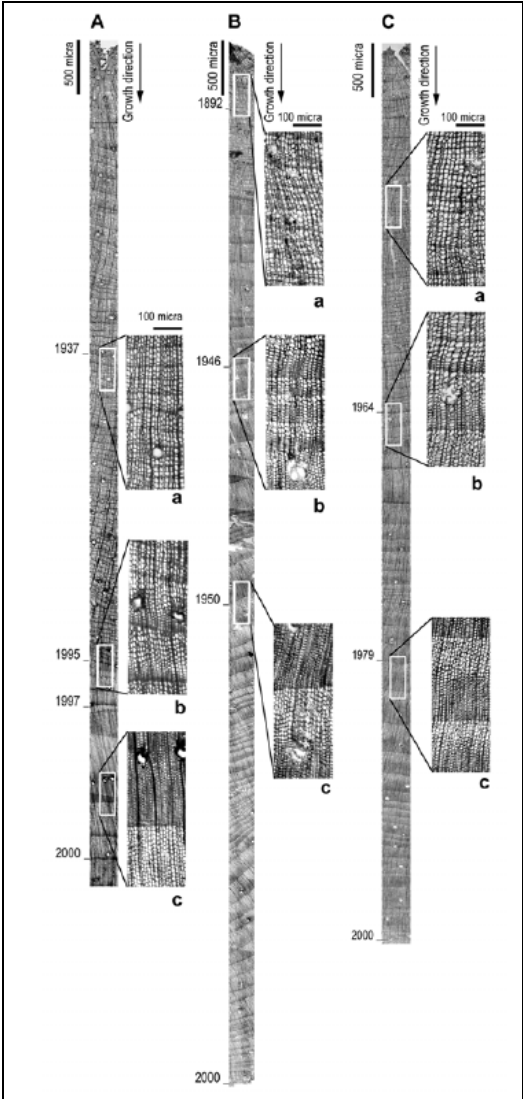


Figura 4

PIES DE FIGURA

Figura 1. Sección de raíz expuesta con crecimientos excéntricos.

Figura 2. Localización del área de estudio en el contexto de la sierra de Guadarrama y los montes de Valsaín.

Figura. 3. Raíces expuestas de *Pinus sylvestris* en la senda Schmidt.

Figura 4. Secciones transversales y zonas características representativas de los testigos de raíz de raíz muestreados.