
Dendrogeomorfología: la aplicación de anillos de árboles a la datación y estudio de eventos pasados

Dendrogeomorphology: the application of tree rings to the dating and study of past events.

Por: Sara Milena Arias Sierra

Resumen

Está demostrado que los anillos de crecimiento de los árboles son un medio adecuado para comprender la magnitud y frecuencia de algunos procesos geomorfológicos que hacen parte de la evolución de los paisajes y de la dinámica de la superficie terrestre. Cuando estos procesos se dan en áreas de influencia humana, pasan a representar peligros naturales importantes, tornándose pertinente la comprensión de su distribución espacio-temporal e incidencia futura, para tratar de prevenirlos y mitigarlos. En ausencia de registros documentales, los árboles son ese archivo natural que guarda la información del pasado; sus anillos, además de estar influenciados por una composición genética, registran fluctuaciones ambientales y perturbaciones mecánicas que se manifiestan en forma de lesiones, tallos inclinados, erosión de raíces o ramas rotas, modificando las series de anillos y facilitando la datación y reconstrucción histórica. En el presente artículo se presentan algunos ejemplos de los usos de la dendrogeomorfología, con la contextualización de los eventos en que esta disciplina se puede utilizar y se sugieren algunas áreas geográficas hacia las cuales debe extenderse la aplicación de esta novel ciencia.

Palabras clave: dendrogeomorfología, movimientos en masa, perturbaciones características del crecimiento (PCC).

Abstract

Tree rings have proven to be a useful tool for comprehending the magnitude and frequency of some geomorphological processes that are associated to the evolution of landscapes and the dynamics of the Earth surface. When these processes occur in areas where humans influence their environment, such processes represent important natural threats, so the understanding of their space-temporal distribution and future incidence becomes important to try to mitigate them. In the absence of documentary evidence, trees are a natural tracer that store past information. In addition to be affected by their genetic composition, tree rings show environmental fluctuations and mechanical perturbations that are notable via injuries, tilted stems, erosion of roots or broken branches, modifying the tree rings series and facilitating the dating and historical reconstruction. That being said, some study cases are shown to contextualize those events where the dendrogeomorphology (an incipient field) has been used the most, and to know which geographical areas it should cover.

Keywords: dendrogeomorphology, mass movements, characteristic growth disturbances (CGD).

Dendrogeomorfología

Los árboles son excelentes testigos de las interacciones que ocurren con los procesos geomorfológicos en sus bosques de asocio.

En ellos se imprimen marcas del daño que generan varias modalidades de movimientos en masa: avalanchas de nieve, caída de rocas, deslizamientos, inundaciones, terremotos o erupciones volcánicas (Stoffel & Bollschweiler, 2009; Stoffel et al., 2013). El estudio de los anillos de crecimiento de los árboles con la finalidad de rastrear estos fenómenos, conocido como dendrogeomorfología, permite conocer mejor las dinámicas y las frecuencias o períodos de retorno que se presentan, principalmente, en escenarios con alto potencial de pérdidas humanas y económicas. Al integrar estos datos con fuentes históricas de registros, pueden mejorarse los sistemas de alertas de riesgos de desastres en las zonas más vulnerables identificadas (Stoffel & Bollschweiler, 2009; Bouchard d'Aubeterre et al., 2019; Stoffel et al., 2010).

La importancia de la dendrogeomorfología radica en su alcance como actividad complementaria de otros métodos más empíricos, como las fotografías aéreas, las entrevistas y los registros de archivo, usados tradicionalmente para el reconocimiento de eventos (Corona et al., 2012). Estas técnicas pueden presentar ciertas deficiencias, ya que normalmente no proporcionan datos con una resolución espacial y temporal satisfactoria (anual) o con precisiones sobre las distancias recorridas por los movimientos en masa en una determinada zona (Stoffel & Bollschweiler, 2009). Además, la documentación histórica está restringida a sucesos que causaron grandes daños o pérdidas de vida, dando lugar a registros faltantes para otras áreas más despobladas (Corona et al., 2012).

Los movimientos en masa y demás procesos geomorfológicos en general pueden ser inducidos por lluvias, actividad sísmica, deshielos o aumentos de la temperatura ligados al cambio climático (Franco et al., 2017); la reconstrucción de sus cronologías a partir de algunas especies de árboles está limitada por una serie de factores y sigue siendo un gran reto en el proceso investigativo.

Los eventos geomorfológicos que comprenden algún peligro natural pueden caracterizarse mediante medidas estadísticas (Stoffel et al., 2010) como la magnitud (tamaño o intensidad), frecuencia, velocidad de inicio, duración, volúmenes y extensión de área, que denotan el número promedio de ocurrencias en relación con un período de tiempo o número de observaciones (Wolman & Miller, 1960). Algunos estudios (Bouchard d'Aubeterre et al., 2019; Stoffel et al., 2010) hacen énfasis en la importancia que tiene la magnitud de los eventos pasados para que se lleguen a dar las reconstrucciones, recopilando varias de las situaciones que se pueden presentar.

En primer lugar, las avalanchas pueden ser de una magnitud suficiente para crear impactos en los árboles; es decir, existe un enlace entre "proceso-evento-respuesta", el cual permite identificar cómo el suceso geomórfico afecta el árbol y cómo reacciona a la perturbación con una respuesta en su crecimiento (Stoffel & Bollschweiler, 2009). A la inversa, puede darse un segundo escenario donde grandes avalanchas eliminan o desvanecen la evidencia de eventos anteriores o posteriores, en caso de que se destruyan grandes partes del bosque o se afecte la viabilidad de los árboles a largo plazo. Lo anterior sugiere, por tanto, que no cualquier tipo de trayectoria es lo suficientemente informativa para las reconstrucciones y seguimientos en lo que

se refiere, por ejemplo, a avalanchas de nieve (Bouchard d'Aubeterre et al., 2019).

La caída de rocas, por su parte, se ha documentado como un proceso geomorfológico que afecta superficies menores, en comparación con las avalanchas o los deslizamientos (Franco et al., 2017), y está definida como el desprendimiento de fragmentos de roca, ya sea en caída libre, a manera de saltos o rodando, con volúmenes que por lo general no superan los 5 m³, por lo que suelen afectar a un número limitado de árboles a lo largo de la trayectoria recorrida, complicando la reconstrucción (Franco et al., 2017). Ello es indicio de que aspectos como el volumen del flujo desencadenado por el tipo de movimiento en masa estudiado también condicionará las marcas y el número de árboles afectados, que luego serán objeto de estudio.

La participación de los árboles en el análisis de los fenómenos descritos se basa en el principio de que ellos forman un anillo de crecimiento por año y los árboles afectados por procesos geomorfológicos registran el evento en forma de perturbaciones características del crecimiento (PCC) en su serie de anillos (Corona et al., 2012). Entre las PCC más presentes en las investigaciones figuran: supresiones del crecimiento, cicatrices de impacto, tejido calloso, hileras tangenciales de conductos de resina traumática (CRT) y madera de compresión. Además, las PCC tienden a complementarse con otras evidencias de árboles defectuosos a simple vista, como son ápices decapitados o pérdida de ramas y troncos parcialmente enterrados o inclinados, junto a denudación de raíces (Stoffel & Bollschweiler, 2009; Stoffel et al., 2010).

Con todas estas evidencias, se constata que cada árbol es un archivo informativo del pasado. Respecto a las especies vegetales,

cada una presenta diferentes grados de susceptibilidad luego del disturbio, unas son muy resilientes y otras no tanto, con una amplia variación entre ambas condiciones.

Las dos consideraciones fundamentales para aplicar las metodologías descritas para estos estudios son la selección de árboles y una mezcla adecuada de especies. Respecto a la reconstrucción de series de tiempo de actividades pasadas de movimientos en masa, los condicionantes básicos es que estén bien balanceadas y mínimamente sesgadas (Corona et al., 2014).

Las clases de edad son otra variable para incluir. Una muestra mixta de árboles, jóvenes y viejos, puede garantizar que los eventos del pasado reciente estén bien representados en las reconstrucciones; esto, porque la sensibilidad de los árboles más viejos para grabar los impactos se reduce por el aumento de edad, mientras que los más jóvenes pueden llevar a la sobreestimación de la actividad más reciente (Franco et al., 2017).

Es pertinente señalar que en la mayoría de los estudios dendrogeomorfológicos realizados se han empleado coníferas. Esto se debe a que está demostrado que muchas de las especies de esta subdivisión de las plantas Gimnospermas presentan la mayor idoneidad para la realización de estas investigaciones. Entre las coníferas con las mejores propiedades, en las cuales el uso de CTR es muy valioso, se destacan *Abies alba*, *Larix decidua*, *Picea abies* y *Pseudotsuga menziesii*. En contraste, las coníferas del género *Pinus* presentan menor aptitud para este tipo de investigaciones, ya que carecen de CTR y poseen una resistente corteza que previene las heridas que penetran en la madera y borra paulatinamente las cicatrices (Franco et al., 2017).

Respecto al uso de especies de la subdivisión de plantas Angiospermas o latifoliadas, ya se ha considerado su aplicabilidad en la dendrogeomorfología (Favillier et al., 2015), aunque prevalece una gran brecha respecto a la utilización de Gimnospermas. Las latifoliadas tienen tres características típicas que las hacen muy adecuadas para el conteo de cicatrices y la respectiva datación empleando sus anillos (Favillier et al., 2015; Stoffel et al., 2012): suelen ser dominantes en altitudes que pertenecen al cinturón submontano, donde los desprendimientos de roca son más frecuentes que en altitudes superiores; son árboles con una estructura de corteza más delgada y más susceptible a heridas; y la visibilidad de las cicatrices en la superficie del tallo es más conspicua.

No obstante, las latifoliadas son menos longevas que las coníferas, pero no por ello dejan de ser interesantes para este tipo de estudios. Su uso tiende a ser limitado en la reconstrucción de series de tiempo muy largas, pero son excelentes registradoras de actividad reciente (Stoffel et al., 2012); esto sugiere que, en la medida de lo posible, son más apropiados los muestreos con mezclas de ambos tipos de árboles.

Un buen ejemplo de ello se encuentra en la publicación acerca de la caracterización del terremoto producido en El Salvador en 2001 (Ruiz et al., 2010). El estudio en mención usó diez especies arbóreas subtropicales (latifoliadas), con potencial desconocido en la datación de eventos sísmicos (*Ficus* sp., *Mangifera indica*, *Lonchocarpus salvadorensis*, *Bursera simaruba*, *Sapium aucuparium*, *Persea americana*, *Ceiba pentandra*, *Andira inermis*, *Astronium graveolens* y *Cedrela odorata*), junto con una especie del género *Pinus* sp. Entre los resultados, se determinó el potencial de *Ceiba pentandra* y *Cedrela odorata* como especies

que presentan límites de anillos bien definidos y, por lo tanto, con grandes potencialidades para investigaciones posteriores en zonas tropicales con tendencia a la ocurrencia de este tipo de eventos.

Colombia, en particular, presenta una gran complejidad geológica, debido a la interacción de tres placas tectónicas: Suramericana, Nazca y Caribe, lo que se expresa en un territorio caracterizado por cadenas montañosas jóvenes, en las que se favorecen los sismos, las erupciones volcánicas y los movimientos en masa, potenciados por lluvias intensas, pendientes fuertes, y materiales fracturados y meteorizados (Ruiz et al., 2017). En estas condiciones, las especies antes mencionadas, entre otras latifoliadas, deberían ser utilizadas para analizar patrones de crecimiento de los anillos de árboles afectados, en las zonas más vulnerables y sensibles, como la región Andina, donde habita más del 70% de la población y se encuentran la mayoría de las principales ciudades del país.

En otras zonas tropicales, como Piracicaba (Brasil) y Machu Picchu (Perú), se ha diversificado la aplicación de los estudios de anillos de crecimiento en la raíz de los árboles de latifoliadas. En Brasil, *Schizolobium parahyba* demostró potencial dendrogeomorfológico para la datación erosiva, a través de cicatrices en raíces expuestas, establecidas por flujo de agua, sedimentos y escombros; arrojando, para el caso específico, una tasa promedio de erosión del suelo en el área de estudio de 3,41 cm por año (Bovi, 2013). En el caso de Perú, Winchester et al. (2007) usaron especies como *Eritrina falcata*, *Inga adenophylla*, *Trema micrantha*, *Mycine laticifolia*, *Clusia parvifolia* y *Alnus acuminata*, en estudios sobre la erosión ocasionada por una precipitación alta y con tendencia a concentrarse en ciertas épocas del año. Los

resultados pueden ser un punto de referencia para estudios posteriores de este tipo.

Otro factor crítico para evaluar es la cantidad de árboles que deben muestrearse y cuántos de ellos requieren evidenciar respuestas en sus anillos. La investigación realizada por Corona et al. (2014) revela que tan solo 50-100 árboles pueden ser suficientes para obtener coincidencias razonables de reconstrucciones de eventos con archivos, pero no es un tamaño considerado estándar y además fue sugerido para deslizamientos de tierra, un evento de gran extensión que, por lo tanto, puede dejar impactos mayores bien representados en tamaños de muestra más pequeños; algo que también podría ser aplicable a avalanchas, pero más cuestionable para caídas de roca, pues, como ya se expuso, son más moderadas. Los tamaños de muestra pequeños también están justificados en el muestreo estratificado de los árboles más afectados con un patrón homogéneo en el área de estudio, ya que pocos árboles muestreados en las ubicaciones correctas pueden dar la misma información que una cantidad mayor de ellos seleccionados al azar, lo que facilita el trabajo de campo.

En avalanchas de nieve, el tipo de trayectoria a monitorear es indispensable, debido a que las características morfométricas de los caminos de avalancha y su cobertura forestal podrían tener impactos significativos en la longitud y confiabilidad de las reconstrucciones por medio de anillos (Bouchard d'Aubeterre et al., 2019). Un estudio que trata de probar esta hipótesis (Bouchard d'Aubeterre et al., 2019) evaluó cuatro caminos de avalancha en el macizo de Queyras (Alpes franceses), encontrando que las rutas más activas, caracterizadas por áreas de liberación cubiertas por pastizales a gran altitud, donde solo hay algo de cobertura

arbustiva, permiten reconstrucciones con anillos que no superan un siglo de duración, con intervalos de recurrencia de eventos de alta magnitud > 25 años.

Por el contrario, en las rutas donde las pendientes son más bajas y la cobertura forestal (*L. decidua*, *Rhododendron ferrugineum*, *Juniperus communis* y *Vaccinium myrtillus*) limita la intensidad de los eventos, la frecuencia de las avalanchas de nieve es 2.5 veces mayor, las reconstrucciones abarcan periodos más largos y la tasa de convergencia con archivos históricos que operan para la zona es mayor. En Francia, las observaciones de eventos de avalancha se documentan en L'Enquête Permanente sur les Avalanches (EPA o Encuesta Permanente de Avalanchas), una base de datos que contiene información de estos eventos para aproximadamente 4.000 senderos reconocidos en los Alpes franceses y los Pirineos.

En definitiva, deben reconocerse las diferencias de la naturaleza de cada uno de los eventos geomorfológicos para poder llevar a cabo su estudio y seguimiento particular por medio de los anillos de árboles, ya que a cada uno se asocian diferentes dimensiones y frecuencias. En conjunto, todo lo mencionado hasta este punto permitirá mejorar la comprensión de la evolución de los paisajes y de los procesos que dan forma a la superficie de la tierra, con sus variaciones en el tiempo y el espacio. Además, los anillos son una herramienta de predicción de cambios futuros que, en combinación con datos meteorológicos o sismológicos, pueden ayudar a comprender preocupaciones actuales como el cambio climático (Stoffel & Bollschweiler, 2009).

El empleo de la dendrogeomorfología en la actualidad sigue estando muy cuestionado. Algunas investigaciones (Corona et al., 2012;

Bouchard d'Aubeterre et al., 2019) afirman que produce subestimaciones generalmente equivalentes al 50% y 60%, respectivamente, de la actividad natural del proceso bajo investigación. Se aconseja que el número de eventos reconstruidos sea considerado como la frecuencia mínima de la actividad en estudio, ya que muchos de ellos no tienen la magnitud suficiente para provocar impactos significativos en los árboles; en el caso de las avalanchas, esta magnitud ha sido estimada en masas >100 m³, con trayectorias superiores a 100 m y una presión de impacto > 50 KPa (Corona et al., 2012).

Cabe resaltar que el campo de acción de la dendrogeomorfología está aún en su génesis y abierto a propuestas. Hasta ahora, la investigación basada en procesos geomórficos se ha centrado, principalmente, en las regiones y cadenas montañosas de América del Norte y los Alpes europeos, aunque parece haber potencial en otras zonas, en las que en menor medida se han utilizado estas herramientas. Por lo tanto, se hace un llamado a mayores esfuerzos investigativos en el Norte y Este de Europa, en América del Sur, India, África y, en general, en las zonas tropicales (Stoffel & Bollschweiler, 2009).

En la perspectiva futura de un mayor desarrollo y diversificación de las aplicaciones de la dendrogeomorfología, es necesario identificar más especies con potencial para su aplicación, tales como los árboles tropicales con anillos cuya anualidad haya sido probada. Otro objetivo tiene que ser el de garantizar la protección de individuos arbóreos muy longevos de estas especies, ya que muchos de ellos guardan una gran cantidad de información y las fuertes presiones antrópicas a los que pueden estar sujetos amenazan gravemente estos invaluable e imprescindibles testimonios.

Además, es imperativo el perfeccionamiento de las técnicas para lograr procedimientos más estandarizados, que permitan separar las influencias en los árboles generada por presiones geomórficas, de aquellas ocasionadas por otros factores (ruido).

La comprensión del pasado es la clave del futuro (Stoffel & Bollschweiler, 2009). Seguir en detalle la dinámica de los procesos geomorfológicos permitirá hacer predicciones futuras, mediante la creación de cronologías de eventos importantes.

Referencias bibliográficas

BOUCHARD D'AUBETERRE, Géraud et al. Tree-ring reconstruction of snow avalanche activity: Does avalanche path selection matter? In: Rev. Science of the total environment, septiembre de 2019, No. 684, pp. 496-508.

BOVI, Renata. Avaliação espacial e temporal de processos erosivos e dendrogeomorfologia em um fragmento de Mata Atlântica em Piracicaba-SP (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo). En: Catálogo USP. Piracicaba, agosto de 2019.

CORONA, Christophe et al. Defining optimal sample size, sampling design and thresholds for dendrogeomorphic landslide reconstructions. In: Rev. Quaternary Geochronology, agosto de 2014, No. 22, pp. 72-84.

CORONA, Christophe et al. How much of the real avalanche activity can be captured with tree rings? An evaluation of classic dendrogeomorphic approaches and comparison with historical archives. In: Rev. Cold Regions Science and Technology, mayo de 2012, No. 74-75, pp. 31-42.

FAVILLIER, Adrien et al. Potential of two submontane broadleaved species (*Acer opalus*, *Quercus pubescens*) to reveal spatiotemporal patterns of rockfall activity. In: Rev. Geomorphology, octubre de 2015, No. 246, pp. 35-47.

FRANCO, Osvaldo et al. Tree- ring based reconstruction of rockfalls at Cofre de Perote volcano, Mexico. In: Rev. Geomorphology, agosto de 2017, No. 290, pp. 142-152.

STOFFEL, Markus & BOLLSCHWEILER, Michelle. What tree rings can tell about Earth-surface processes: teaching the principles of dendrogeomorphology. In : Rev. Geography Compass, mayo de 2009, No. 3, pp.1013-1037.

STOFFEL, Markus et al. Dendrogeomorphology: Dating Earth-Surface Processes with Tree Rings. In: Rev. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 2013, No. 12, pp. 125-144.

STOFFEL, Markus et al. Mass movements and tree rings: A guide to dendrogeomorphic field sampling and dating. In: Rev. Geomorphology, octubre de 2013, No. 200, pp. 106-120.

STOFFEL, Markus et al. Tree Rings and Natural Hazards, In: Advances in Global Change Research, Vol 41. Springer, Dordrecht, 2010.

RUIZ, Virginia et al. Aplicación de métodos dendrogeomorfológicos a la datación de eventos sísmicos: terremoto de el salvador, España: Avances de la Geomorfología en España 2008-2010, 2010.

RUIZ, Gloria et al. Las amenazas por movimientos en masa de Colombia. Una visión a escala 1:100.000, Bogotá: Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2017.

WINCHESTER, Vanesa et al. Dendrogeomorphological applications, Editorial P3K, 2007.

WOLMAN, Markley & MILLER, Jhon. Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. In: Rev. The Journal of Geology, enero de 1960, No. 68, pp. 54-74.

Cómo citar este artículo:

Arias Sierra, S. (2019). Dendrogeomorfología: La aplicación de anillos de árboles a la datación y estudio de eventos pasados. Revista Ambiental Éolo, (18).

Estudiante de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
Contacto: smariass@unal.edu.co