

COMUNICACIÓN TECNICA Nº 92
AREA FORESTAL
Ecología Forestal

¿Qué calidad de madera produciremos en el futuro?, un análisis sobre los desafíos de integrar valor adaptativo y tecnológico ante un clima cambiante.

**Martinez Meier, Alejandro; Sergent Anne Sophie;
Dalla Salda, Guillermina; Caballé, Gonzalo;
Rozenberg, Philippe; Fernández, María Elena**

2019

■ **Ediciones**

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Centro Regional Patagonia Norte
Estación Experimental Agropecuaria Bariloche. "Dr. Grenville Morris"
biblioteca@bariloche.inta.gov.ar



¿Qué calidad de madera produciremos en el futuro?, un análisis sobre los desafíos de integrar valor adaptativo y tecnológico ante un clima cambiante

La madera cumple funciones de transporte y almacenamiento de agua, nutrientes y carbohidratos, fundamentales para la sobrevivencia de las especies leñosas frente a variaciones del ambiente. La densidad de la madera, una propiedad emergente de las características anatómicas (proporción de lúmenes y paredes celulares), se relaciona con la capacidad de conducción de agua en el xilema, siendo una variable clave en la arquitectura hidráulica de la planta. Sirve de soporte mecánico y es materia prima para la industria, con lo cual se constituye en una variable de gran valor tecnológico, cobrando relevancia para los procesos de producción, creación, diseño e implementación de productos para el agregado de valor en origen. Se suele afirmar que la densidad permite identificar la calidad de una madera en relación a su uso final: estimar su dureza, porosidad, comportamiento frente a esfuerzos mecánicos, cambios dimensionales, calidad de acabados y rendimiento de distintos procesos industriales, entre otros.

Numerosos estudios describen las propiedades físicas y mecánicas de la madera y otros tantos, se enfocan en las propiedades hidráulicas, para comprender cómo los árboles son capaces de armonizar sus estructuras en respuesta a las variaciones ambientales. Sin embargo, son escasas, casi nulas, las referencias que relacionan ambos aspectos y que permitan saber si es posible promover una silvicultura y/o una selección de genotipos con características tecnológicas deseables sin condicionar su capacidad de respuesta frente al aumento del estrés abiótico producto del cambio climático.

Las prácticas silvícolas como podas y raleos tienen el potencial de mejorar las características de la madera y las oportunidades para agregar valor en etapas posteriores de transformación por maquinado, además de modificar la ecofisiología de las plantas con impactos sobre su eficiencia de crecimiento. Por otro lado, la variación de la densidad de la madera entre individuos y dentro de estos puede ser atribuida al acervo genético propio de cada individuo, la edad cambial¹, la disponibilidad de recursos, como así también es afectada por condiciones ambientales, como el clima.

Tanto a nivel mundial, como nacional y regional, existe una creciente preocupación sobre los escenarios climáticos futuros. La SAyDS de la Nación ha publicado en su 3° Comunicación Nacional sobre Cambio Climático que, en los últimos 50 años, la temperatura en Argentina aumentó menos de 0,5° C a nivel de todo el país y más de 1° C en la región Patagónica. De la misma manera, ha aumentado el índice de eventos climáticos extremos, mientras que las proyecciones para un futuro inmediato hablan de un aumento de temperatura independientemente de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La reducción del crecimiento y la mortalidad de árboles, documentados en varias regiones del planeta (Fig. 1), son asociados con procesos fisiológicos de estrés inducidos por un factor causal en común: elevada temperatura y/o estrés hídrico. Independientemente de si existen limitaciones para el crecimiento desde el punto de vista climático, no existe tipo forestal o zona

¹ Edad cambial: hace referencia a la variación de la densidad de la madera a lo largo del radio de un árbol, que es atribuible a la edad del cambium. El cambium es el tejido meristemático que da origen a los elementos constitutivos del xilema y el floema, siendo responsable del crecimiento secundario de los árboles.

climática que no sea vulnerable al proceso de cambio climático. Lo mismo es de esperar para las distintas regiones forestales de Argentina, aunque seguramente los efectos tendrán distinta magnitud de acuerdo a la zona, la especie y el sitio. Sin necesidad de llegar a los extremos del decaimiento generalizado seguido de muerte, la reducción del crecimiento en plantaciones forestales puede ser considerada un fracaso económico del sistema productivo produciendo serios perjuicios, no sólo a las finanzas de los productores/empresas forestales, sino al Estado Nacional, dado que, la plantación de especies forestales es una actividad hoy día –y desde hace varias décadas- subsidiada a partir de diferentes mecanismos de promoción nacional.

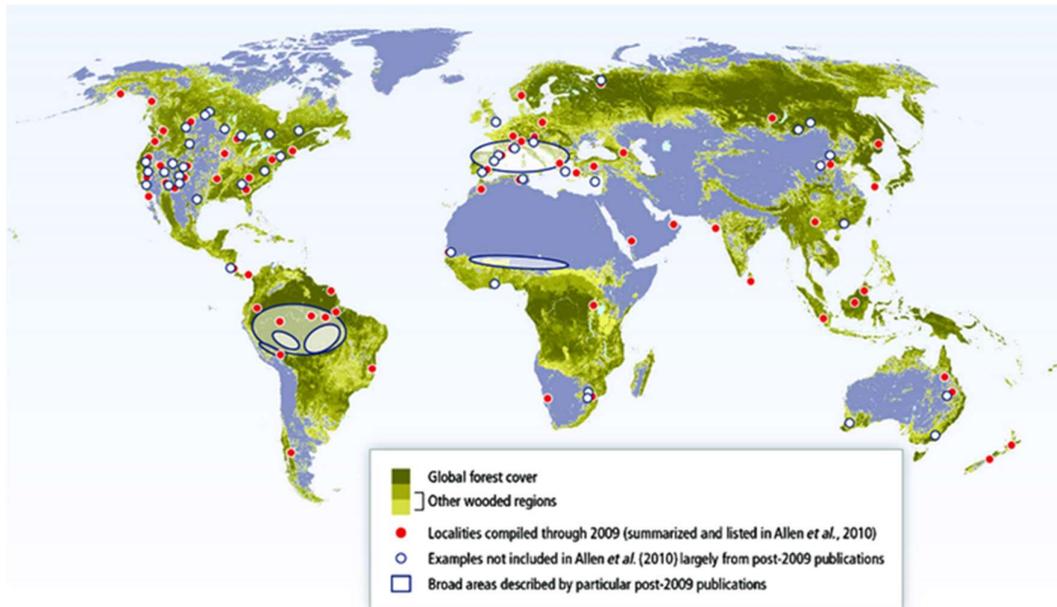


Figura 1. Decaimientos forestales en el mundo. Tomado de Hartmann et al. 2015. Research Frontiers in Drought-Induced Tree Mortality: Crossing Scales and Disciplines. New Phytologist 205 (3): 965-69. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.13246/full#nph13246-fig-0001>.

Estudios llevados a cabo en el pino oregon (*Pseudotsuga menziesii*) (Fig. 2), pusieron en evidencia a la sequía como la causa principal de los decaimientos registrados. La alta sensibilidad del crecimiento radial al déficit hídrico permitió asociar su decaimiento a la baja reserva útil de agua en el suelo. Los suelos con bajo contenido de agua disponible constituyen un factor de vulnerabilidad al decaimiento, mientras que la fertilidad mineral aparece como un factor clave en su capacidad de recuperación. A partir de muestras de tarugos de 5 mm de diámetro, los cuales fueron radiografiados para la obtención de perfiles de microdensidad (Fig. 3), se pudo comparar la variación de la densidad de la madera del tronco de árboles vivos (sin síntomas visibles de afectación) y árboles muertos por la sequía y ola de calor ocurridas en Europa en el año 2003. Los árboles vivos presentaban mayor densidad de madera en varios anillos de crecimiento precedentes al evento de estrés abiótico, en comparación con los árboles que murieron tras el evento extremo (Fig. 4). De manera particular, el anillo del año 2003 apareció como un anillo incompleto, prácticamente sin leño tardío. El estudio de la respuesta inmediata, permitió establecer diferencias significativas respecto de los anillos precedentes y posteriores a la sequía. La disminución del crecimiento, como así también su estructura (menor densidad en el leño tardío) mostraron estar genéticamente determinadas. De esta manera, las diferencias para los parámetros de microdensidad de madera entre árboles vivos y muertos fueron

comprendidas como variables de relevancia adaptativa, pues se encuentran en relación con la capacidad de sobrevivencia.



Figura 2. Pino oregon. Ensayo de procedencias sobre el cual pudieron establecerse diferencias significativas entre árboles vivos y muertos luego de la ola de calor y sequía ocurrida en Europa en el año 2003.

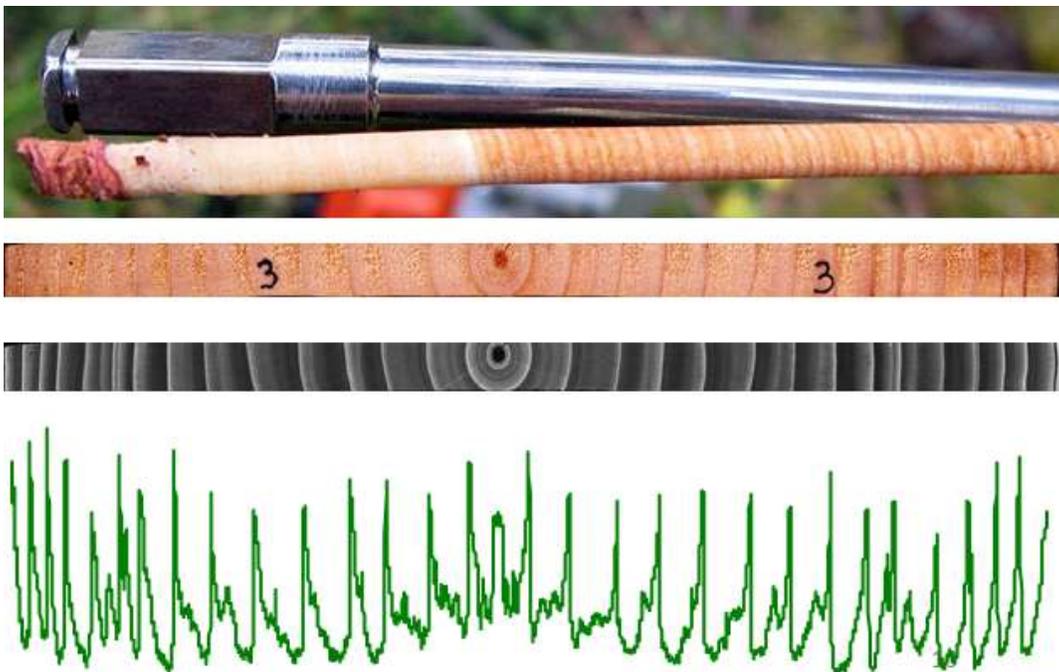


Figura 3. Perfil de microdensidad de madera. A partir de una muestra de madera (tarugo de 5,15 mm de diámetro) tomada con barreno forestal, es posible determinar los valores de densidad madera (gráfico inferior de trazos verdes) en pequeños intervalos de distancia. Para ello, se toma una radiografía de rayos x, cuyos valores de grises se transforman en valores de densidad de madera. En especies que marcan claramente anillos de crecimiento, como el pino oregon, cada sucesión de picos representa un año de crecimiento. De esta manera se logra una descripción rigurosa de la variación de la densidad de la madera a lo largo del perfil radial de un árbol, entre e intra anillos de crecimiento. La resolución depende de la calidad de revelado, pudiendo variar entre 10 y 25 micrones.

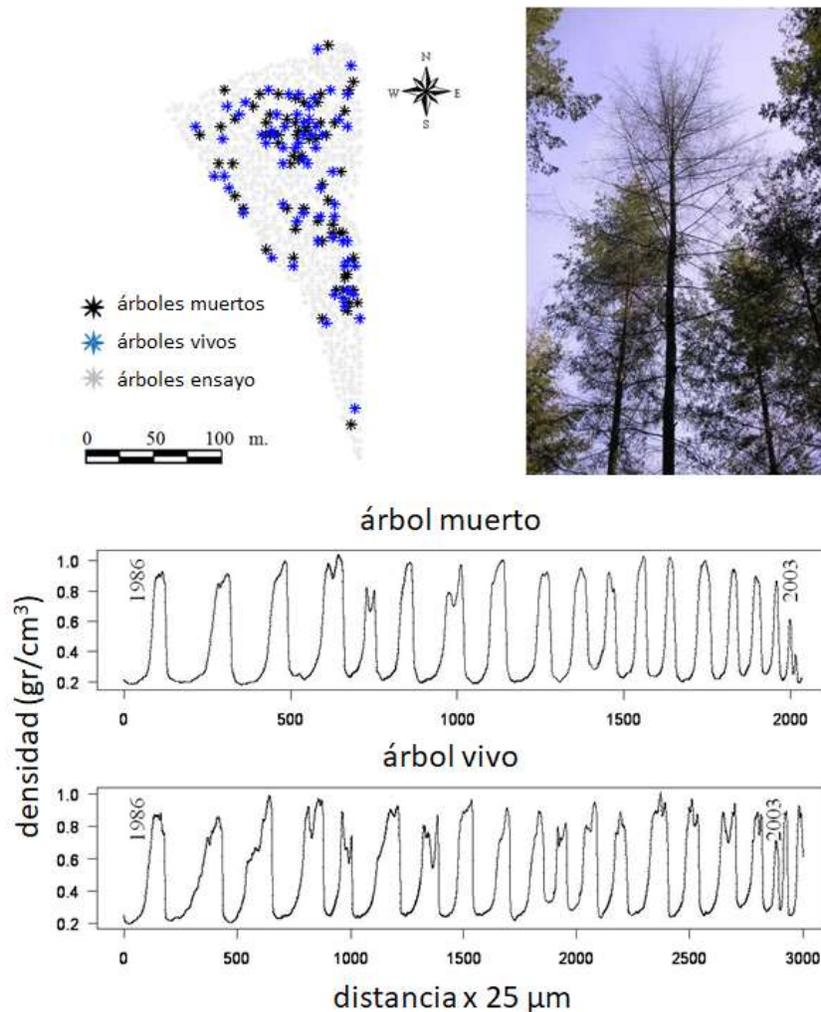


Figura 4. Pino oregon. Distribución de árboles vivos y muertos en el ensayo de procedencias estudiado en Francia. En el extremo superior derecho se evidencian los síntomas de mortandad total de copa como consecuencia de la sequía y ola de calor registrados en el año 2003. En la parte inferior, a modo de ejemplo, puede apreciarse el perfil de microdensidad de un árbol muerto y un árbol vivo.

La capacidad de integrar estudios sobre las propiedades hidráulicas de la madera, permitió comprender las implicancias de estas diferencias significativas de la densidad de la madera en relación directa con la resistencia a la sequía. Disponer de un xilema de mayor densidad de madera, principalmente en el leño temprano, se relacionó con la capacidad de mantener su integridad hidráulica, disminuyendo los riesgos de cavitación ante estrés hídrico (Fig. 5). Así, un incremento de 35 kg.m^{-3} en la primera porción del anillo de crecimiento se relacionó con un incremento en la resistencia a la cavitación de $0,53 \text{ MPa}$. Esto implica un xilema capaz de soportar un incremento en la tensión de la columna de agua, con mayor capacidad de mantener la integridad hidráulica del xilema ante eventos de estrés hídrico.

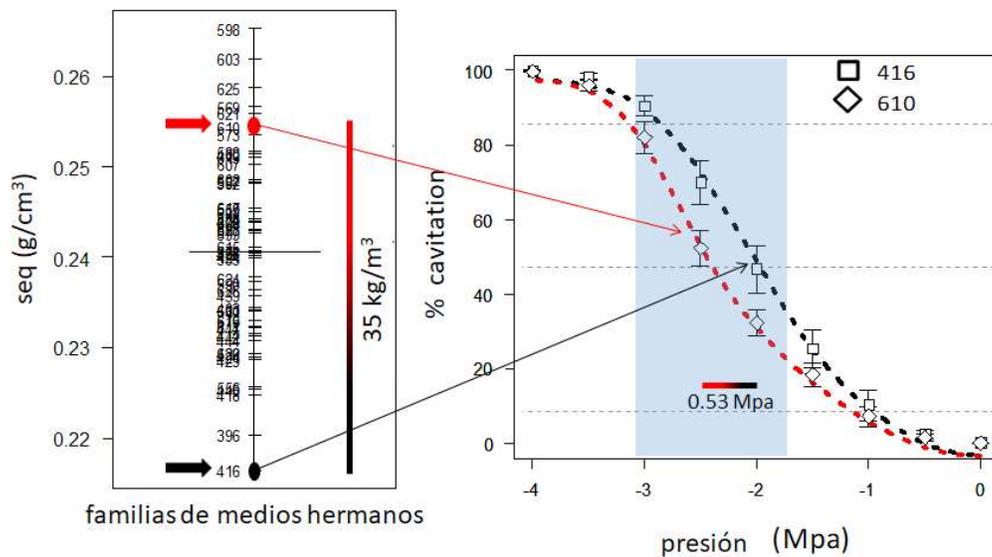


Figura 5 Familias de medios hermanos de pino oregon, seleccionadas por su valor contrastante de *seq* (densidad media de los 100 primeros valores de microdensidad del anillo de crecimiento). El punto rojo sobre el gráfico de la izquierda representa la familia de alta densidad en el leño temprano, mientras que el punto negro representa una familia de baja densidad. En el gráfico de la derecha se puede observar el valor medio de P_{50} , variable que representa la presión a la cual se pierde el 50% de conductividad hidráulica (resistencia a la cavitación), el cual es menor en la familia de baja densidad (menos negativo) que el de la familia de alta densidad. Un aumento de $35 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ implica una diferencia de $0,53 \text{ MPa}$ de presión.

Contrariamente a lo observado en el pino oregon, en el caso del ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*), una conífera nativa de los bosques andino-patagónicos, los árboles sobrevivientes luego de la sequía de 1998-1999, fueron los de menor densidad en el leño temprano. Este evento climático fue identificado como la sequía más intensa de los últimos 90 años en el Norte de la Patagonia. Los individuos con menor densidad de madera demostraron una mayor capacidad de recuperación del crecimiento post-sequía y produjeron un leño con menor densidad tanto antes como después de la sequía. La baja densidad de madera se asocia con una alta conductividad hidráulica, lo que permite hipotetizar que la capacidad de tolerar la sequía está relacionada con su posterior recuperación dado una mayor capacidad de conducción de agua, evitando el desarrollo de altas tensiones en el xilema.

Los dos ejemplos expuestos, ambos en especies de coníferas templadas, ponen de manifiesto el rol adaptativo de la densidad de la madera en la supervivencia ante estrés hídrico. Frente a ello, un desafío mayor se nos presenta: cómo adecuar los esquemas productivos, de manera tal que permitan mantener o incrementar la capacidad productiva de bienes y servicios sin poner en riesgo la capacidad de respuesta a las variaciones ambientales, entendiendo que, tanto los decaimientos como la pérdida de crecimiento, pueden ser interpretados como claros síntomas de mal-adaptación. Más aún, las diferencias encontradas entre árboles que sobrevivieron y aquellos que no, a eventos extremos de sequía y calor, permiten asumir que existe cierto grado

de selección contraria respecto de individuos de baja densidad en el pino oregon y favorable para otras especies, como el caso del ciprés de la cordillera, con posibles consecuencias sobre la calidad de los productos finales.

Las alteraciones del clima que se producen en el contexto del cambio climático pueden tener implicancias diferentes dependiendo las regiones. Un ejemplo de esto es la disminución de las precipitaciones en Patagonia Norte en contraste con el aumento pronosticado de éstas hacia las altas latitudes producto de una modificación de la circulación de aire a escala global. Esto trae consecuencias a escala regional para los bosques Andinos Patagónicos, de alguna manera contrarias si consideramos los efectos negativos sobre Patagonia Norte, pero positivos sobre Patagonia Sur, dado en este caso, la conjunción de efectos ambientales positivos de aumento de temperatura y de precipitación. Por otro lado, se vuelve relevante distinguir los posibles efectos producto de los cambios en las condiciones medias de temperatura o precipitación, de los efectos de los eventos extremos. Los cambios direccionales y sostenidos de las condiciones medias pueden provocar otros efectos demostrados como la extensión de la duración de las estaciones de crecimiento, incrementando el crecimiento en volumen, en particular en sitios fértiles y sin limitantes hídricas. A nivel mundial se ha demostrado que, a altas latitudes, en el hemisferio norte, entre el año 2000 y el 2010, la estación de crecimiento se ha alargado: el inicio de la estación de crecimiento se ha adelantado 4,7 días y el cierre se atrasó en promedio 1,6 días. En América del Norte en particular la fecha de inicio se adelantó en promedio 11,5 días y el cierre se atrasó 2,2 días, lo mismo que en Eurasia donde el adelanto de la fecha de inicio de crecimiento fue de 2,7 días y el cierre se retrasó 3,5 días.

Como es de esperarse, no sólo se afecta el crecimiento sino también las características de las células formadas. Estudios recientes indican que, la densidad de la madera ha decrecido entre 8 a 12% en los últimos 100 años en las principales especies forestales del Centro de Europa (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea*). Esto ha ocurrido como consecuencia de una disminución de la densidad del leño tardío (en todas) y/o de un aumento de la proporción del leño temprano (en dos de ellas). Estos cambios se relacionan con un aumento en el crecimiento medio de los árboles, lo que podría generar implicancias significativas para el secuestro de carbono de los bosques, el valor energético de la madera, la estabilidad estructural a nivel de árbol frente a vientos y nieve, y en la calidad industrial. Dado que los efectos positivos para el incremento en crecimiento exceden los decrecimientos en densidad de madera, el balance de producción de biomasa sigue siendo favorable y, en algunos casos, dependiendo de los requerimientos de la industria, esta disminución de la densidad podría traer aparejado consecuencias positivas para la producción de laminados provenientes de maderas duras como podría ser el caso de las especies latifoliadas.

Como se vio en los ejemplos precedentes, una disminución de la densidad de madera puede ser favorable en términos adaptativos frente a un evento climático extremo, pero también puede ser desfavorable, aumentando su vulnerabilidad de las especies ante estrés de acuerdo a los mecanismos fisiológicos de respuesta presentes. Por otro lado, estudios de respuesta de distintas especies e individuos frente a sequías extremas demuestran que son los árboles dominantes, de mayor crecimiento, los que en general presentan una mayor susceptibilidad. Y a la vez, son también los árboles más resilientes ante condiciones de sequía moderada. Estos resultados que parecen contradictorios en realidad están mostrando la complejidad de procesos y diferencias entre especies, y la importancia de diferenciar el tipo de evento de sequía, su duración e intensidad.

El escenario de un clima cambiante nos debe plantear el desafío de abordar el estudio conjunto de las propiedades de base (físicas, químicas, mecánicas e hidráulicas) de la madera de manera interdisciplinaria. Por un lado, la madera constituye la materia prima de la industria de transformación química y mecánica, siendo el producto económicamente valorable del proceso de producción. Pero, a la vez, puede constituirse en una herramienta, un elemento, que nos permita estudiar los procesos de adaptación de los árboles al cambio climático, como por ejemplo la diversidad genética adaptativa *in situ* en relación directa con la presión de selección producida en el contexto del cambio climático. Esto permitiría ensayar prospecciones sobre la cantidad y calidad de madera que seremos capaces de producir en un futuro no muy lejano, bajo la hipótesis central de que las variaciones en la densidad de la madera, producto de la calidad de sitio, silvicultura, grado de mejora genética y condiciones climáticas de la estación de crecimiento, se relacionan directamente con respuestas funcionales al estrés abiótico. Por esta razón, la densidad puede ser un carácter a utilizar para el estudio de los procesos adaptativos de las especies arbóreas a las variaciones ambientales, condicionando la aptitud tecnológica de la madera, la calidad de los productos maderables y la capacidad de secuestro de carbono de los sistemas.

<https://www.argentinaforestal.com/2019/09/28/que-calidad-de-madera-produciremos-en-el-futuro-un-analisis-sobre-los-desafios-de-integrar-valor-adaptativo-y-tecnologico-ante-un-clima-cambiante/>