

Método de medición del estrés hídrico por medio de cavitación

Resultados preliminares de su aplicación en Galicia

Xavier Bouteiller

Institut national pour la recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement de Francia

La Asociación Forestal de Galicia está participando en el proyecto FORMANRISK (financiado por el programa Interreg Sudoe de la Unión Europea) que tiene entre sus fines mejorar las técnicas de gestión forestal para adaptarlas al proceso de cambio climático. En este marco se presenta un primer resultado preliminar del ensayo de medición del estrés hídrico de diferentes poblaciones de *Pinus pinaster*.

En la dinámica actual de cambio climático donde los episodios de sequía son al mismo tiempo más frecuentes, más intensos y más largos, que afectan directamente a la supervivencia de los árboles, el estudio de caracteres ligados a la tolerancia a la sequía es primordial para, por una parte, predecir la respuesta de las poblaciones naturales al cambio climático, y por otra, seleccionar los genotipos más resistentes en las plantaciones.

Estudios recientes llevados a cabo en laboratorio han demostrado que la vulnerabilidad a la cavitación está ligada a la tolerancia a la sequía, es decir, a la supervivencia de los árboles en condición de estrés hídrico severo.

La cavitación (o su consecuencia, la embolia) consiste en la aparición de burbujas de aire en los vasos conductores de savia del árbol (xilema), que rompe la columna de agua y los inutiliza para el transporte de la savia. Se produce cuando la presión se vuelve demasiado negativa (potencial hídrico del xilema) después de episodios de sequía intensa y/o prolongada y puede provocar la muerte del árbol.

La resistencia a la cavitación de las especies está correlacionada con su exigencia ecológica y su hábitat: las especies que viven en medios secos o áridos, son más resistentes a la cavitación que las especies de medios húmedos.

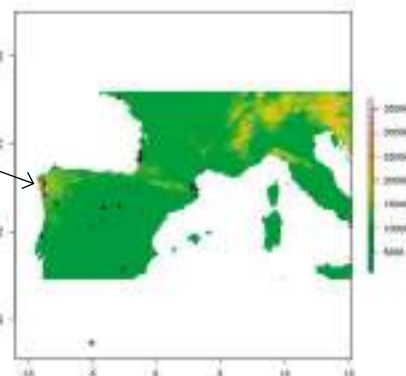
El proyecto Formanrisk tiene como uno de sus objetivos estudiar la vulnerabilidad al estrés hídrico de varias poblaciones de pino marítimo (*Pinus pinaster*) a lo largo de un gradiente latitudinal europeo, poniendo el acento en las poblaciones portuguesas,



españolas y del sur de Francia. Además, dado que se ha observado una fuerte mortalidad entre las plantas jóvenes de pino, se hará una comparación de la vulnerabilidad a la sequía entre los pinos jóvenes y los adultos, lo que se llama el efecto ontogénico.

Material y métodos. De entre las poblaciones de pino marítimo seleccionadas se han recogido muestras de 15 individuos adultos (de más de 25 años) y 15 de individuos juveniles (menos de 6 años).

Mapa de las poblaciones muestreadas en Europa. Las cruces negras corresponden a pino marítimo (*Pinus pinaster*). El color del fondo está relacionado con la aridez del medio (cuanto más bajo es el valor, más intenso es el color y más árido es el medio).



La parcela experimental de Oín

En 1992 la Asociación Forestal de Galicia, estableció una parcela experimental en el monte vecinal en mano común de Santa María de Oín (Rois-A Coruña) de 14,5 ha. Este experimento fue una de las primeras acciones conjuntas de la Unión de Silvicultores del Sur de Europa, y en ella se plantaron plantas de *Pinus pinaster* procedentes de un semillero gallego, de otro procedente de Portugal (Leiría) y semilla mejorada genéticamente de Aquitania (Francia).

El marco de plantación fue de 3,5x3,5 m, con 816 plantas por hectárea, instalándose 3 parcelas de cada una de las tres procedencias en las que se hicieron diferentes tipos de preparación del terreno.

La parcela está a una altitud de 58 a 62 metros, en suelos pardo-forestales, sueltos de profundidad variable, con buena escorrentía interna, bien drenados, sobre granitos. La precipitación media es de 1.600 mm/año, con 14 °C de media anual.

Presentamos ahora un adelanto del análisis de las muestras recogidas en la parcela demostrativa del monte vecinal en mano común de Santa María de Oín (Rois-A Coruña, España) en la que crecen

tres procedencias de pino: portuguesa, española y francesa. Por cada una de las procedencias se recogieron muestras de 15 individuos adultos y 15 individuos jóvenes.

Medida de la resistencia a la cavitación y principio del Cavitron

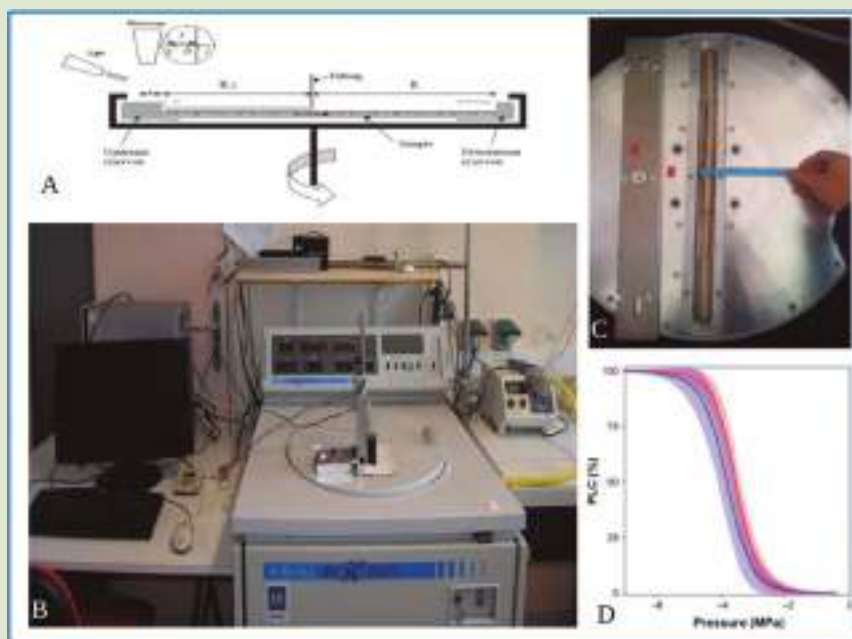
Las medidas han sido efectuadas en la plataforma de fenotipado “CAVIPLACE” que forma parte de la plataforma GENOBOIS que permite cuantificar la capacidad de las plantas para resistir a la cavitación y así caracterizar su tolerancia a la sequía. Desde su creación, hace 7 años, cientos de especies han sido medidas, de las cuales 300 especies de coníferas y miles de genotipos de pino marítimo con el fin de establecer la relación entre genotipo (conjunto de los genes de un individuo) y fenotipo (manifestación variable del genotipo de un organismo en un determinado ambiente).

El Cavitron (figura 2B) es un prototipo capaz de caracterizar la tolerancia a la sequía de las plantas midiendo la conducción hidráulica de una rama bajo presión negativa. Permite obtener una curva de vulnerabilidad a la cavitación que nos indica la tolerancia a la sequía de las especies, de las poblaciones o de los genotipos.

El principio del funcionamiento del Cavitron está basado en el uso de la fuerza centrífuga para generar a la vez una presión negativa en los conductos del xilema (lo que simula una sequía) y un gradiente de presión hidrostático en los dos extremos. La muestra, una sección de rama recta de una veintena de centímetros, se sitúa en una cavidad en la bandeja de la centrifugadora (figura 2C). Cada extremo de la muestra está sumergido en una cubeta de agua de diferente nivel. El nivel máximo de cada cubeta viene determinado por un agujero en ella (figura 2A). Esta diferencia de nivel crea un gradiente hidrostático,

que genera un flujo de agua a través de la rama, desde la cubeta de arriba hasta la de abajo. Tomando medidas en diferentes niveles (diferentes velocidades que inducen diferentes presiones), se puede obtener una curva de vulnerabilidad en menos de 30 minutos (figura 2D) y, de esta manera, se pueden comparar diferentes especies o genotipos.

El Cavitron fue desarrollado por el Dr. Hervé Cochard (Institut National de la Recherche Agronomique de Clermont-Ferrand) en 2005, el prototipo ha sido mejorado y automatizado desde entonces, convirtiéndolo en un instrumento único en el mundo. Recientemente, con la financiación del proyecto Xyloforest, se le han añadido un microscopio electrónico de barrido de última generación.



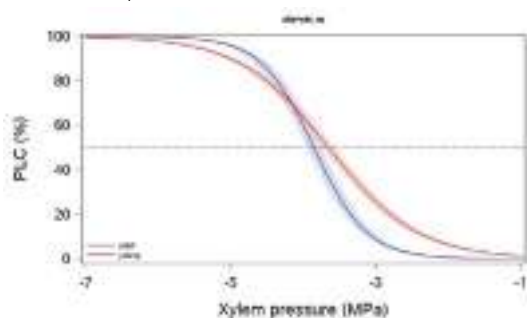
El Cavitron es un prototipo capaz de caracterizar la tolerancia a la sequía de las plantas midiendo la conducción hidráulica de una rama bajo presión negativa.

Resultados. El análisis no muestra diferencias de resistencia a la cavitación entre las distintas procedencias (vid tabla y figuras). El modelo sin efecto aleatorio es mejor que el de las procedencias en efecto aleatorio (AIC = 34.0 vs AIC = 35.6). Además, la variación es mucho más importante dentro

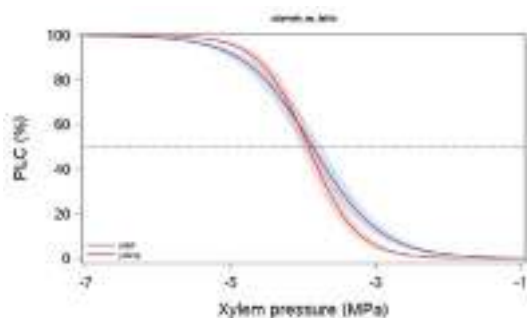
de una procedencia que entre las procedencias (coeficiente de variación: $0.012 / (0.012 + 0.098) = 0.110$). Por otro lado, no hay diferencias significativas entre los pinos juveniles y adultos ($t = 0.27, p = 0.60$).

Curva de cavitación para las 3 procedencias de pino marítimo plantadas en Oín, en función de su edad jóvenes (en rojo) y adultos (en azul)

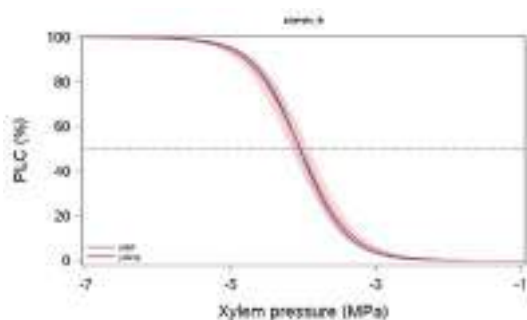
A. Procedencia española



B. Procedencia portuguesa



C. Procedencia francesa



Valor medio de la P50 medido para cada procedencia plantada en Oín

Variedad	Tratamiento	P50 (Mpa)	Nº de individuos medidos
Portuguesa	adulto	-3.92	9
Portuguesa	joven	-3.93	9
Española	adulto	-3.85	9
Española	joven	-3.65	5
Francesa	adulto	-4.05	13
Francesa	joven	-4.04	9

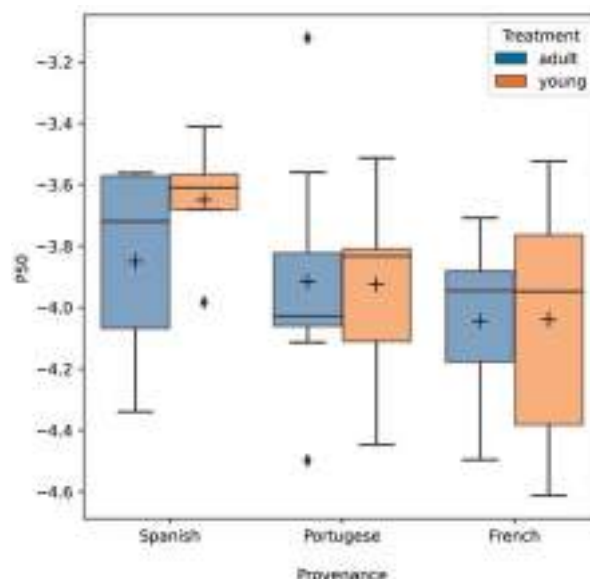


Diagrama de caja de la P50 medida sobre cada una de las muestras recogidas en Oín en función de la procedencia de pino marítimo plantada (española, portuguesa, francesa) y la edad (naranja: joven, azul: adulto). La cruz representa el valor medio para cada uno de los diagramas de caja.

Conclusión. El análisis no muestra diferencias en la resistencia a la cavitación entre las tres variedades. Como han crecido juntas en la misma parcela, esto puede indicar que no existe variación genética entre ellas en cuanto a la resistencia a la cavitación. Sin embargo, es preciso tener en cuenta que estos resultados se refieren a un número limitado de muestras, por ejemplo, de la procedencia española de planta joven sólo se han podido medir con éxito 5 individuos.

También es importante tener en cuenta que la variación en el seno de una procedencia es mayor que la variación entre procedencias. Por otra parte, el estudio no muestra diferencias significativas en la resistencia a la cavitación entre plantas jóvenes y adultas.

Estos resultados son muy preliminares y deben ser considerados con prudencia, el estudio que se está llevando a cabo sobre un gran número de individuos y de poblaciones, debería permitir aportar respuestas sólidas a estas cuestiones •