

BASE MECÁNICA DE LA INESTABILIDAD DE *PINUS PINASTER* AITON EN PLANTACIONES JUVENILES DE CLIMAS ATLÁNTICOS

Mechanics principles of instability of *Pinus pinaster* Aiton in young plantation in atlantic climates

F. J. Lario Leza y L. Ocaña Bueno

Centro de Mejora y Desarrollo Agroambiental. Tragsa- Unidad de Viveros. Ctra. Maceda-Valdrey km 2, 32700-MACEDA (Ourense, España). Correo electrónico: flario@tragsa.es y locana@tragsa.es

Resumen

Se plantea el modo de dar respuesta a las preguntas: ¿cómo sujeta el suelo al árbol?, o lo que tiene el mismo efecto: ¿cómo se sujeta el árbol al suelo?. A la luz de observaciones no destructivas realizadas en rizotrones y desde la perspectiva de los conceptos físicos universales, se concluyen los parámetros mecánicos radicales básicos directamente implicados en la estabilidad, o calidad mecánica, de *Pinus pinaster* Aiton en campo. Paso fundamental para obtener criterios de evaluación *a priori* de dicha calidad mecánica en vivero y a lo largo del “cultivo” en monte. Finalmente, se plantean las hipótesis que podrían explicar la inestabilidad de estas plantaciones desde las que se apuntan posibles líneas de trabajo a desarrollar para solucionar técnicamente el problema.

Palabras clave: *Inestabilidad, Pinus pinaster, Juvenil, Parámetros*

Abstract

We focus on answering the following questions: How tree is hold by soil?, or, what has the same effect, how tree is hold by itself into soil?. From non destructive observations through ryzotrons and taking into account universal physics concepts, basic root mechanic parameters directly implicated in *Pinus pinaster* Aiton stability or mechanic quality in plantations are concluded. This is a necessary step to obtain *a priori* evaluation criteria for mechanic quality in nurseries and along the culture in older plantations. Finally, hypothesis that could explain instability are presented and work subjects are suggested to achieve technical solutions to this problem.

Keywords: *Instability, Pinus pinaster, Young, Parameters*

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA MECÁNICO

La mecánica de la estabilidad del árbol de plantaciones forestales ha recibido un amplio tratamiento a lo largo del siglo XX. La actividad

replantadora en grandes extensiones de terreno y el manejo del monte productivo han contribuido a la consideración de problemas tecnológicos que anteriormente se despreciaban u obviaban, como son los relativos a la producción en cantidad y calidad de madera. Por otra parte, el vuel-

co parcial o total, sin desarraigo, a lo largo de la vida de un árbol afecta en la calidad de las trozas que se extraen de él, repercutiendo, a su vez, en el rendimiento dinerario del monte.

Nuevos problemas de vuelco se han observado a partir del segundo o tercer año de implantación en monte en masas de *Pinus pinaster* Aiton y *Pinus radiata* D. Don, en el norte de la Península Ibérica, en la zona atlántica. En concreto, en Galicia y en el País Vasco se han encontrado los siguientes síntomas: 1) árboles inclinados, pero no desarraigados ni arrancados; 2) aparición de un hueco entre el suelo y el cuello de la raíz debido al bamboleo de la planta por el viento

Síntomas similares se han encontrado en *Pinus pinaster* en Las Landas, Francia, (AUBERLINDER, 1982), en *Pinus radiata* en Canterbury, Nueva Zelanda (BALNEAVES & DE LA MARE, 1989), en *Pinus contorta* en la Columbia Británica (KRASOWSKI et al., 1996), en *Pinus sylvestris* en Suecia (LINDSTRÖM & RUNE, 1999) y en *Pseudotsuga menziesii* en Irlanda (SUNDSTRÖM & KEANE, 1999).

Por otra parte, se han observado signos de recuperación de la verticalidad del árbol pero conservando una o más curvaturas en la base del tronco, en función de si ha sufrido uno o más episodios de vuelco y sucesivas recuperaciones de la verticalidad (LINDSTRÖM & RUNE, 1999). Estas curvaturas podrían disimularse con el engrosamiento del tronco en etapas posteriores.

La pérdida de calidad tecnológica de la troza basal, los posibles efectos sobre la supervivencia a medio y largo plazo, y el riesgo de accidentes de derribos de masas adultas justifican la incorporación de los conocimientos disponibles sobre calidad mecánica de la planta y de las plantaciones ejecutadas a las prácticas forestales, y a la legislación.

Los objetivos de este trabajo son, por tanto:

1. Describir el sistema de anclaje de brinzales de regenerado natural y de plantación
2. Determinar los parámetros morfológicos y mecánicos radicales directamente relacionados con la sujeción del árbol al suelo

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ANCLAJE

De la observación de las plántulas de los rizotrones de simulación de regeneración natural, se

distingue, frecuentemente, una raíz principal, al tacto rígida, con un diámetro próximo al del cuello de la raíz. Una zona de rápida reducción del diámetro de dicha raíz principal, y una zona flexible de gran longitud que llega hasta el meristemo de crecimiento primario. Por otra parte, se observa un número variable de raíces secundarias, flexibles o poco rígidas cuyos puntos de inserción se distribuyen por toda la raíz principal, tanto en la zona rígida, como en la zona flexible.

En el caso de los rizotrones de simulación de trasplantes de planta cultivada en envase se observa, también, una raíz principal, prolongación del tallo, en la que se distinguen las mismas 3 zonas que en la planta de regeneración natural. Se diferencia de la planta de regenerado natural en que las longitudes de las 3 zonas son bastante más reducidas. Por contra, el número de raíces secundarias existente es muy superior al de regeneración natural, al menos en la zona de menor profundidad del suelo, dando un aspecto de mayor densidad de raíces.

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS MORFOLÓGICOS Y MECÁNICOS RADICULARES DIRECTAMENTE IMPLICADOS EN LA SUJECIÓN DEL ÁRBOL

El amplio abanico de parámetros morfológicos de parte aérea y parte radicular empleados en los trabajos de estabilidad de árboles y la diversidad de condicionantes distintos en que se han realizado, pone de manifiesto la necesidad de concretar cuál o qué parámetros son los más adecuados para predecir la capacidad del árbol de mantenerse erguido en las condiciones de crecimiento de la zona atlántica de la Península Ibérica. El más interesante de ellos ha sido el área de sección transversal de las raíces en la intersección con un cilindro que, en función del tamaño del sistema radical sería más o menos grande. Este parámetro se ha utilizado para caracterizar morfología radical en alcornoque relacionándolo con parámetros dasométricos y de biomasa de la parte aérea pero no con estabilidad (SERRADA et al., 2001) y en abeto douglas (SUNDSTRÖM & KEANE, 1999), en pino *pinaster* relacionándolo con parámetros de verticalidad, curvatura basal y rectitud, pero con-

siguiendo los máximos coeficientes de correlación (-0,424, -0,462, y 0,196) con los parámetros Sección normal/Sección del cuello de la raíz, Circunferencia normal/Circunferencia cuello de la raíz y Diámetro del pivot a 20 cm de profundidad/Diámetro del cuello de la raíz, respectivamente) (FRANCKET & NAJAR, 1978), y con pino silvestre relacionándolo con el momento de anclaje a través de mediciones con dinamómetros consiguiendo los mejores valores de $r^2=0.9$ (LINDGREN & ÖRLANDER, 1978), y (LINDSTRÖM & RUNE, 1999) consiguiendo muy buenas relaciones con el diámetro del tronco y éste a su vez con los momentos de vuelco medidos también con dinamómetro. Indiscutiblemente, el mejor método para caracterizar la resistencia del sistema radical, y de la parte aérea asociada, es la utilización de dinamómetros.

Por otro lado, existen trabajos para *Pinus pinaster* en que se relacionan el volumen de la zona más profunda del sistema radical en función de la profundidad de aparición con la rectitud del fuste encontrando relaciones significativas de $r^2=0,43$ (DANJON *et al.*, 1999).

Sin embargo, dada la estrecha relación que es de esperar entre las propiedades de la materia raíz, de resistencia a la tracción y a la compresión y rigidez transmisora de fuerzas, se pretende desarrollar un poco más la caracterización morfológica de las raíces en base al modo en que trabajarían en los momentos de actuación de fuerzas exteriores perpendiculares a la copa de los árboles. Para ello se utilizó la lógica aristotélica, y las leyes de Newton.

Puesto que todos los árboles están en pie orientados de forma natural ortogonalmente al suelo, debe existir una fuerza de reacción (fuerza que ejerce un cuerpo parado, de igual intensidad y dirección y de sentido contrario a la que ejerce otro cuerpo en movimiento sobre el primero), contraria al vuelco, resultado de la interacción raíz-suelo. El árbol sólo está en contacto físico con el suelo, y no apoyado en otros árboles u objetos. El tronco soporta, por tanto, con su rigidez, las distintas ramas y hojas de la parte aérea del árbol. De la misma manera debe existir una parte rígida del árbol por debajo del suelo, continuación del tronco rígido, para mantener el conjunto de la parte aérea erguida. De no ser así, es decir, de ser flexible, el tronco se

inclinaría por la zona de flexibilidad, por ejemplo, a la altura del cuello de la raíz, y eso no ocurre, en condiciones normales. Es decir, el árbol debe estar "clavado" al suelo. STOKES (1999), encontró que al ser aplicada una fuerza con un cabrestante, los árboles de *Pinus pinaster* más grandes se rompían inicialmente en la base de la raíz principal.

Como se observa que las raíces secundarias están insertas a la principal tanto en la zona de rigidez como en la zona de flexibilidad, se considera que la raíces insertas en la zona flexible de la raíz principal no realizarían ningún esfuerzo efectivo en el sistema físico de sostén de la planta. Sólo las raíces insertas en la zona rígida serían capaces de provocar un esfuerzo de tracción transmitido a través de los puntos de inserción, y su módulo (valor de la intensidad con que se aplica una fuerza) sería el de la fuerza de rozamiento de la raíz secundaria y siguientes insertas a la secundaria, en la componente de la dirección del movimiento perpendicular al eje de la parte rígida de la raíz principal.

Finalmente, existirían esfuerzos de reacción del suelo, tanto a la presión transmitida por la parte rígida de la raíz desde la parte aérea, como a los esfuerzos de rozamiento de las raíces secundarias y de orden inferior.

En los primeros momentos de la vida de la plántula las fuerzas de reacción del suelo sujetarían al hipocotilo, que sería la raíz principal rígida, por sí solas. Posteriormente, según se fueran formando las raíces secundarias, éstas generarían esfuerzos de tensión a barlovento sobre distintos puntos de la raíz rígida, que se sumarían al de reacción del suelo.

En árboles jóvenes, regenerados de forma natural, el punto de apoyo de la palanca en el momento de fallo mecánico, manifestado por la inclinación del árbol, sería el cuello de la raíz a nivel del suelo, o el de la inserción de las raíces de sotavento de menor profundidad. En los árboles más jóvenes forzados con un cabestrante (STOKES, 1999) estaban bien anclados al suelo por su raíz principal y se doblaban por el tronco. En árboles jóvenes cultivados en vivero en envase de paredes continuas con las puntas de las raíces secundarias concentradas en el fondo del envase, el punto de apoyo de la palanca en el momento de fallo mecánico sería la punta distal

de la raíz principal rígida o la zona basal del antiguo cepellón del envase del que parten la mayoría de las raíces secundarias tras la implantación en campo.

En síntesis, el sistema mecánico asimilado para describir la interacción física raíz-suelo estaría formado por:

- una raíz rígida, continuación del tronco del árbol, sobre la que se ejercen las fuerzas de sustentación del suelo y raíces secundarias
- raíces secundarias, que ejercerían esfuerzos de tracción sobre la raíz rígida
- suelo suficientemente coherente para ejercer fuerzas de reacción equivalentes a las que la raíz rígida transmitiría, tanto de presión de dicha raíz rígida, como de rozamiento de las raíces secundarias y de orden inferior

Por tanto, el problema de la inestabilidad en edades tempranas puede tener distintas causas:

- ausencia de suficiente prolongación rígida del tronco del árbol en la raíz en el suelo. Entre otras cosas la rectitud del tronco está influenciada por la regeneración de la raíz principal o raíces verticales después de la plantación (DANJON et al., 1999).
- con una adecuada prolongación rígida de la raíz principal, ausencia de raíces secundarias en posición de trabajo que refuercen el efecto de "sujeción" del suelo. A mayor ramificación radical, a través de las raíces secundarias, menor aprovechamiento de su sección como trasmisora de fuerzas (COUTTS, 1983). Sin embargo, ante el inevitable encuentro de las raíces en profundidad con impedimentos físicos del suelo, las raíces secundarias son una adaptación al sostenimiento mecánico del árbol, quizá menos efectivo que las raíces rígidas en profundidad pero que sumarían esfuerzos
- con una adecuada prolongación rígida de la raíz principal y suficiente número de raíces secundarias posicionadas adecuadamente para ejercer fuerzas, incoherencia del suelo donde se ubica la raíz.

Se necesitaría estimar las fuerzas por unidad de superficie del sistema, en el momento de fallo mecánico o vuelco, para cada tamaño-edad del árbol y para condiciones medioambientales diferentes. En los momentos de estabilidad la suma de estas fuerzas será mayor o igual a la de reacción

del suelo. En el caso de que se consideraran roturas habría que comprobar las resistencias de las raíces a los esfuerzos de tracción y compresión.

Según los esfuerzos máximos desarrollados por suelo, raíz rígida y raíces secundarias, se podrían adoptar unas u otras medidas para el reajuste del manejo de planta forestal cultivada en vivero.

Si la opción conveniente es la de gestionar las raíces secundarias, esto se tendrá que hacer con la incorporación al sistema de cultivo de envases perforados que no modifiquen la dirección de las raíces (FRANCLLET, 1981; WRIGHT et al., 1998). Ya que raíces secundarias, colocadas en posiciones no actuantes en tracción no favorecerán la estabilidad del árbol.

Si la opción conveniente es la de favorecer la formación de partes rígidas en la raíz, incluida la principal, esto se tendrá que hacer con la incorporación, al sistema de cultivo y a los trabajos de diseño y ejecución de repoblaciones, de los factores que favorezcan el crecimiento secundario, en grosor, de la raíz.

Si la opción conveniente es la de gestionar el suelo, hay que elegir la estación forestal adecuada, donde la cohesión del suelo sea suficiente para contrarrestar las fuerzas transmitidas a éste por las partes rígidas del árbol.

Agradecimientos

Los resultados y compilación informativa han sido presentados gracias a la financiación de la Consellería de Medio Ambiente de la Xunta de Galicia dentro de la asistencia técnica: "Estudio de los procesos de producción de planta en envase y de repoblación con especies del género *Pinus* en Galicia. Influencia en la supervivencia, desarrollo y estabilidad de las plantaciones" nº 23/01. Así mismo, agradecemos la colaboración prestada por VIFOGA y CIFA Lourizán en el impulso de definición de los trabajos iniciales.

BIBLIOGRAFÍA

AUBERLINDER, V.; 1982. De l'instabilité du pin maritime. *Afocel Annales*: 139-176.

- BALNEAVES, J.M. & DE LA MARE, P.J.; 1989. Root patterns of *Pinus radiata* on five ripening treatments in a canterbury forest. *New Zealand J. For. Sci.* 19(1): 29-40.
- COUTTS, M.P.; 1983. Root architecture and tree stability. *Plant and Soil* 71: 171-188.
- DANJON, F.; BERT, D.; GODIN, C. & TRICHET, P.; 1999. Structural root architecture of 5-year-old *Pinus pinaster* measured by 3D digitising and analysed with AMAPmod. *Plant and Soil* 217(1/2): 49-63.
- FRANCLET, A.; 1981 La motte de culture "melfert". *Afocel Fiche Informations Forêt*: 1-15.
- FRANCLET, A. & NAJAR, M.; 1978. "Conséquences différées des déformations racinaires chez le pin maritime." *Afocel Annales* 1978: 177-203.
- KRASOWSKI, M.J.; HAWKINS, C.D.B.; COATES, H. & OTT, P.K.; 1996. Static tests of lodgepole pine stability in the central interior of British Columbia. *Can. J. For. Res.* 26(8): 1463-1472.
- LINDGREN, O. & ÖRLANDER, G.; 1978. A study on root development and stability of 6 to 7-year-old container plants. In: *Root form of planted trees*: 142-144. Victoria. Columbia Británica.
- LINDSTRÖM, A. & RUNE, G.; 1999. Root deformation in plantations of container-grown Scots pine trees: effects on root growth, tree stability and stem straightness. *Plant and Soil* 217(1/2): 29-37.
- SERRADA, R.; VILLAR, P.; DOMÍNGUEZ, S.; GARRACHÓN, S. Y SERRADA, M.; 2001. Propuesta de metodología para estudios sobre morfología radical arbórea. En: Junta de Andalucía-SECF (eds.), *Actas del III Congreso Forestal Español III*: 467-472. Coria Gráficas S.A. Sevilla.
- STOKES, A.; 1999. Strain distribution during anchorage failure of *Pinus pinaster* Ait. at different ages and tree growth response to wind-induced root movement. *Plant and Soil* 217(1/2): 17-27.
- SUNDSTRÖM, E. & KEANE, M.; 1999. Root architecture, early development and basal sweep in containerized and bare-rooted Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*). *Plant and Soil* 217: 65-78.
- WRIGHT, J.A.; ESCOBAR, J. & HENDERSON, G.; 1998. *Utilization of Jiffy pellets in the production of pine and eucalypt seedlings, pine rooted cuttings and native species propagation: nursery and field comparisons*. Southern Forest Nursery Association. Lafayette.

ANEXO FOTOGRÁFICO



Figura 1. Situación de masas de *Pinus pinaster*, de 5 años en Toén (Ourense)



Figura 2. Masas de *Pinus pinaster* de 3 años en Pereiro de Aguiar (Ourense)



Figura 3. Estado del desarrollo del sistema radical de *Pinus pinaster* de semilla el 17/9/2002 (arriba), y estado el 3/7/2003 (derecha)

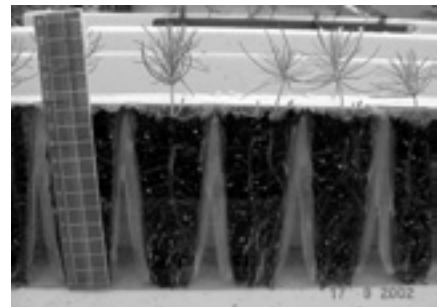


Figura 4. Estado del desarrollo del sistema radical de *Pinus pinaster* cultivado en envase el 17/9/2002 (arriba), y estado el 3/7/2003 (derecha) tras su trasplante a las 16 semanas de cultivo

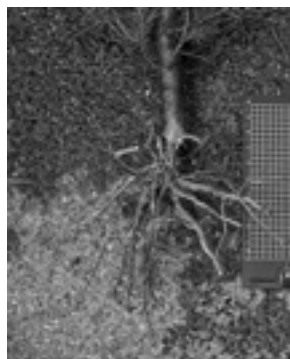
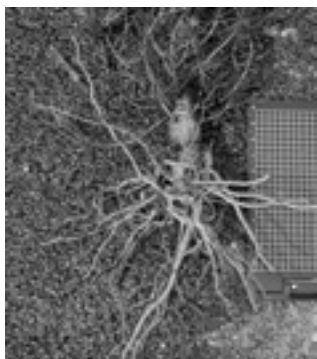
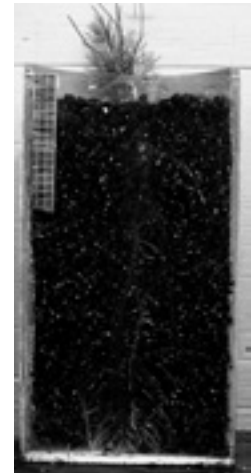


Figura 5. Detalle de raíces estructurales de *Pinus pinaster* procedentes de la misma repoblación en Melide, Lugo. El árbol de la izquierda se encontró inclinado y el árbol de la derecha se encontró erguido