

LA RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN SE RELACIONA A CAMBIOS EN LA ARQUITECTURA HIDRÁULICA EN *Pinus taeda*

Laura I. Faustino¹, Corina Graciano² y Juan José Guiamet³

1: Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE), CONICET - UNLP. CC 327, 1900 - La Plata, Argentina. Lugar de trabajo actual: EEA Delta del Paraná - INTA. laurafaustino@agro.unlp.edu.ar

2: Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE), CONICET - UNLP. CC 327, 1900 - La Plata, Argentina. corinagraciano@agro.unlp.edu.ar

3: Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE), CONICET - UNLP. CC 327, 1900 - La Plata, Argentina. jguiamet@fcnym.unlp.edu.ar

Resumen

La disminución de las concentraciones de macronutrientes en los suelos luego de un turno de plantación con especies de rápido crecimiento podría repercutir sobre la productividad del sitio, haciendo necesaria la aplicación de fertilizantes para mantener los rendimientos y la sustentabilidad del sistema. En plantaciones de *Pinus taeda* sobre suelos rojos del noreste de Argentina y sur de Brasil se ha observado diferente respuesta a la fertilización. En general, la aplicación inicial de fósforo tiene un efecto positivo, mientras que la fertilización con nitrógeno reduce el crecimiento. El objetivo de este trabajo fue evaluar, a nivel de individuo, las modificaciones en el crecimiento y la arquitectura hidráulica de plantas fertilizadas con nitrógeno y fósforo, y el efecto de estas modificaciones frente a diferentes disponibilidades de agua.

Se realizaron una serie de experimentos a campo y bajo condiciones controladas. La adición de nitrógeno exacerbó el estrés por sequía en suelos rojos y determinó modificaciones fisiológicas que causaron el efecto depresivo en el crecimiento de plantas jóvenes, que no fueron observadas para el fósforo. Sin embargo, la fertilización con ambos nutrientes estimuló el crecimiento en sustratos con mayor conductividad hidráulica. La fuente de nitrógeno utilizada no tuvo impacto en las respuestas al igual que la forma de aplicación del fertilizante. Existió variabilidad en la respuesta a la fertilización entre familias genéticamente seleccionadas. El conocimiento de las respuestas fisiológicas de esta especie brinda nuevas herramientas para la toma de decisiones en el uso de la tierra y el manejo sustentable de la producción.

Palabras clave: nitrógeno, fósforo, efecto depresivo, suelos rojos

Summary

Decreases in soil nutrient concentration after a cycle of fast-growing species plantation could affect the potential productivity of this site, and consequently demand fertilization to maintain the yield and sustainability of this system. In *Pinus taeda* plantations on red soils in the northeast of Argentina and south of Brazil different responses to fertilization have been observed. , phosphorus fertilization usually has a positive effect at the beginning of plantation meanwhile the growth decreases in the case of nitrogen fertilization. The aim of this work was to evaluate at individual plant level, the changes on growth and hydraulic architecture in plants fertilized with nitrogen and phosphorus, and the effect of these changes in young plants growing at different water availability regimes. Field and pot experiments were established. The nitrogen exacerbated the drought effect in red soils and triggered physiological changes with depressive effect in the growth of young plants. This depressive effect has not been observed in the case of phosphorus fertilization. However, fertilization with both nutrients increases growth in substrates with higher hydraulic conductivity. The chemical source of nitrogen and the fertilization method had no effect on growth. Variability in the magnitude of the responses was observed among genetically selected families. Knowledge about physiological responses of *Pinus taeda* provides new tools for land use decisions and sustainable forest management.

Key Words: nitrogen, phosphorus, depressive effect, red soils

Antecedentes

La cosecha de pinos en Misiones implica la extracción de 550 kg de nitrógeno (N) y 20 kg de fósforo (P) por hectárea [11]. La disminución de las concentraciones de macronutrientes en el suelo luego de un turno de plantación con *P. taeda* [11, 15] podría repercutir sobre las tasas de crecimiento de las rotaciones siguientes, haciendo necesaria la aplicación de fertilizantes para mantener los rendimientos. Además, dada la alta exportación de nutrientes, su reposición es imprescindible para mantener la sustentabilidad de la producción forestal. Sin embargo, la fertilización en plantaciones comerciales en Misiones no es habitual.

Existen numerosos antecedentes de la buena respuesta de *P. taeda* a la fertilización con N y con P en su zona de origen [1, 9, 14]. En cambio, en plantaciones sobre suelos rojos de Corrientes, Misiones y sur de Brasil se ha observado diferente respuesta dependiendo

del nutriente aplicado. En general, el crecimiento es mayor con la aplicación de P, mientras que la aplicación de N en forma de urea reduce el crecimiento con respecto a plantas sin fertilizar en plantaciones realizadas con plantines comerciales de *P. taeda* [3, 5, 16].

La disponibilidad de nutrientes puede modificar el consumo de agua de las plantas a partir de cambios en la partición de materia seca y en la arquitectura hidráulica (i.e. características que afectan el movimiento de agua desde la raíz hasta las hojas) [4]. Estos cambios pueden comprometer el crecimiento, principalmente en los primeros meses del establecimiento de la planta a campo, cuando la exploración del perfil de suelo es escasa y las condiciones de alta evapotranspiración durante los meses más cálidos tienen un gran impacto sobre el ambiente de los individuos. El objetivo de este trabajo fue evaluar integralmente, a nivel de individuo, las modificaciones en la distribución de materia seca y la arquitectura hidráulica de plantas de *Pinus taeda* fertilizadas con N y con P, y el efecto de estas modificaciones en el crecimiento en suelos rojos de la provincia de Misiones, Argentina.

Metodología

Se realizaron una serie de experimentos bajo condiciones controladas y a campo, en los que se midieron variables fisiológicas relativas a la arquitectura hidráulica de la planta (conductancia estomática, potencial hídrico de la hoja, conductividad hidráulica del xilema), la partición de materia seca y el crecimiento (diámetro y altura o materia seca final).

Se plantearon cuatro ensayos en contenedores:

- A. Fertilización con N (urea) y P (super fosfato triple de calcio, SPT) utilizando suelo rojo como sustrato. Riego diario a saturación.
- B. Fertilización con N (urea) y P (SPT) utilizando un sustrato arenoso en el que se probaron dos disponibilidades de agua contrastantes (capacidad de campo y sequía).
- C. Fertilización con N (urea) y P (SPT) en forma dispersa y localizada, utilizando un sustrato arenoso. Riego diario a saturación.
- D. Fertilización con diferentes fuentes de N (urea, nitrato y amonio) utilizando suelo rojo como sustrato. Riego diario a saturación.

Por último, se realizó un ensayo a campo (E) en el que se probó el efecto de la fertilización con N (urea) y P (SPT) en cuatro familias genéticamente seleccionadas,

provenientes del plan de mejoramiento genético de INTA EEA Montecarlo. El ensayo se instaló en un lote con suelo rojo profundo en el establecimiento experimental Campo Anexo Laharrague, perteneciente a la EEA INTA Montecarlo. Las familias se denominan: M8, M20, T25 y T29. Las dos primeras poseen altas ganancias en crecimiento y rectitud de fuste, mientras que las dos segundas poseen bajas ganancias en crecimiento y rectitud de fuste, dentro del conjunto de familias selectas por su rápido crecimiento.

Para todos los experimentos, los datos se analizaron con el análisis de la varianza (ANOVA) ($p < 0,05$). En el caso de existir diferencias significativas, las medias se compararon con el test de Fisher LSD.

Resultados y discusión

En el ensayo A se estudiaron las principales modificaciones fisiológicas que produce la fertilización con N y P en las plantas de *P. taeda* creciendo sobre suelos rojos de la provincia de Misiones. Las plantas fertilizadas con P no tuvieron modificaciones relevantes en crecimiento ni en sus variables fisiológicas con respecto a las plantas sin fertilizar. Sin embargo, la fertilización con N disminuyó significativamente el tamaño del vástago y la raíz, y la proporción de raíces finas con respecto a la materia seca total. La concentración foliar de N y P fue superior a los niveles considerados como limitantes para la especie en todos los tratamientos [2, 12] y los valores concuerdan con los reportados en otros estudios para plantaciones jóvenes de *P. taeda* en suelos rojos de la Mesopotamia [6, 10], lo cual indica que no existieron limitantes en la adquisición de los nutrientes aplicados. Tampoco se encontraron limitantes fotosintéticas para el crecimiento ya que la tasa de fotosíntesis no varió con la fertilización. Las plantas fertilizadas con N consumieron menor cantidad de agua, independientemente de su tamaño, y la capacidad de absorción y conducción de agua de las raíces no disminuyó con la adición de urea. Por lo tanto, las plantas fertilizadas con N no tuvieron limitantes nutricionales ni fotosintéticas para crecer, entonces, ¿por qué consumieron menos agua y crecieron menos? La capacidad conductiva del leño de las plantas fertilizadas con N fue menor y la conductancia estomática tuvo valores siempre menores al resto de los tratamientos. La menor conductancia permitió que al final del día estas plantas recuperaran el potencial de las hojas a valores similares a los que tenían por la mañana. Estas respuestas fisiológicas se asemejan a las modificaciones que se observan en plantas sometidas a sequía [13]. Por lo tanto, el menor crecimiento de las plantas fertilizadas con N en estos suelos se

relaciona con el menor consumo de agua y la menor apertura estomática que limita la fijación de carbono en estas plantas.

Los suelos rojos tienen baja conductividad hidráulica, producto del alto contenido de arcillas [8]. Dado que las plantas del ensayo A manifestaron síntomas de estrés por sequía a pesar de mantener una buena provisión de agua en las macetas, en el experimento B se empleó un sustrato con mayor conductividad hidráulica para asegurar que los tratamientos regados diariamente tengan buena disponibilidad de agua. De este modo se buscó evaluar si la sequía genera patrones de respuesta similares a los encontrados en respuesta a la fertilización nitrogenada en suelos rojos, con buena disponibilidad de agua. Se encontró que ambos fertilizantes estimularon el crecimiento en este sustrato y que las respuestas fisiológicas observadas en las plantas fertilizadas con N y baja disponibilidad de agua eran similares a las halladas en las plantas fertilizadas con N creciendo sobre suelo rojo del experimento A. Entre estas respuestas se destacan la menor conductancia estomática y el menor potencial hídrico de las hojas, así como la menor capacidad de conducir agua del tallo. El sustrato utilizado en este ensayo tuvo una conductividad hidráulica a saturación diez veces superior a la que tienen los suelos rojos. A partir de estos resultados se puede deducir que en suelo rojo, con buen contenido de agua, las plantas fertilizadas con N desarrollan cambios fisiológicos y en partición de materia seca en respuesta a la fertilización que generan un desbalance entre el sistema hidráulico de la planta y el suelo, análogos a los producidos bajo estrés por sequía en un suelo con elevada conductividad hidráulica.

El objetivo del experimento C fue conocer si el sistema radical de *P. taeda* tiene capacidad de detectar parches ricos en nutrientes y generar respuestas a estos parches. Se encontró que la distribución espacial del fertilizante no tuvo influencia en el crecimiento ni afectó diferencialmente la arquitectura hidráulica de las plantas.

En el experimento D se buscó establecer si diferentes fuentes nitrogenadas producen efectos similares en las mermas en el crecimiento y las modificaciones en la arquitectura hidráulica de *P. taeda* observadas con la fertilización con urea. Todas las fuentes de N produjeron una reducción en el crecimiento de las plantas, sin embargo, las plantas fertilizadas con amonio no se diferenciaron significativamente del control. Además, la fertilización con amonio generó cambios en la capacidad de conducir agua del vástago que posiblemente se relacionaron con el mayor crecimiento de estas plantas en relación a las fertilizadas con urea y nitrato.

El objetivo del experimento D fue determinar si existe variabilidad genética en la respuesta a la fertilización con N y P en plantas jóvenes de *P. taeda* y si existen cambios diferenciales en las familias que puedan explicar la magnitud del efecto negativo de la fertilización con N en el crecimiento. Se encontró que la fertilización con P incrementó el crecimiento en todas las familias, mientras que el N tuvo un efecto negativo en las familias de menor tasa de crecimiento (T25 y T29), como se ha observado en estudios previos en plantaciones de *P. taeda* en suelos rojos y en los ensayos anteriormente comentados [3, 5, 7]. Las familias de mayor tasa de crecimiento (M8 y M20) no tuvieron caídas en crecimiento con respecto al control al ser fertilizadas con urea (Figura 1).

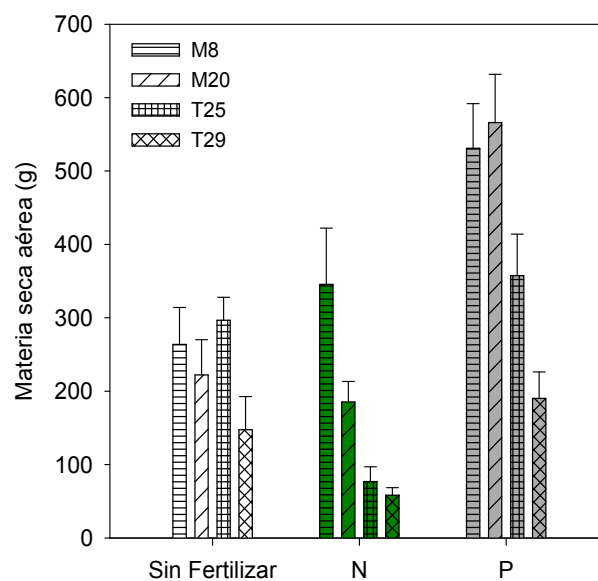


Figura 1: Materia seca total por familia, para las plantas sin fertilizar y fertilizadas con P y N. Las líneas sobre las barras corresponden al error estándar de la media.

Las plantas de la familia T29 se caracterizaron por tener mayor proporción de hojas por rama (Figura 2A), mientras que la fertilización con N aumentó esta proporción en todas las familias (Figura 2B). Para investigar las posibles causas de las diferencias en la respuesta a la fertilización, se comparó la fisiología de las familias más contrastante, M8 y T29.

Las plantas de T29, la familia más afectada por la fertilización con N, tuvieron gran cantidad de hojas por rama, y esta cantidad aumentó con la aplicación de N (Figura 2). Este cambio estuvo acompañado de una caída en la conductancia estomática, en el potencial hídrico de las hojas al mediodía (Figura 3A) y en la capacidad de conducir agua del xilema de la rama (Figura 3B). La alta exigencia hidráulica sufrida por el xilema de las ramas con una gran cantidad de área transpirante a abastecer, seguramente

desencadenó la pérdida de funcionalidad de éste tejido (menor capacidad de conducir agua) producto de la formación de embolismos. Consecuentemente, el cierre estomático y el pobre estado hídrico de las hojas redundaron en el menor crecimiento en esta familia. En la familia M8, la menos afectada por la fertilización con N, el aumento de la cantidad de hojas por rama producto de la fertilización con este nutriente fue acompañado por una reducción de la conductancia estomática, pero en este caso no hubo una caída abrupta del potencial hídrico de las hojas al mediodía, y en consecuencia, la disponibilidad de agua en los tejidos fue adecuada y permitió sostener el crecimiento.

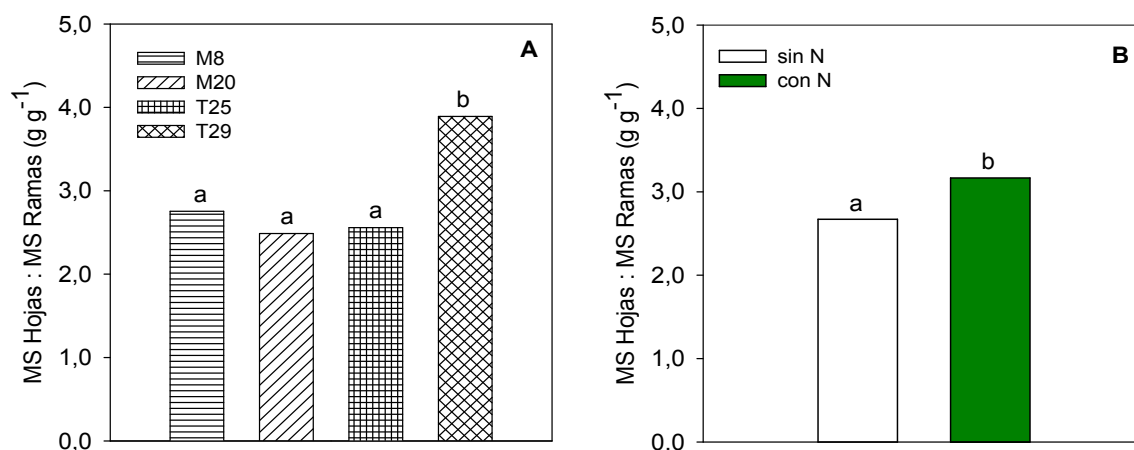


Figura 2: Materia seca de hojas (g) soportada por cada gramo de rama, para cada familia (Panel A) y para las plantas fertilizadas y no fertilizadas con urea (panel B). Las diferentes letras indican diferencias significativas entre medias para cada panel (LSD $p < 0,05$).

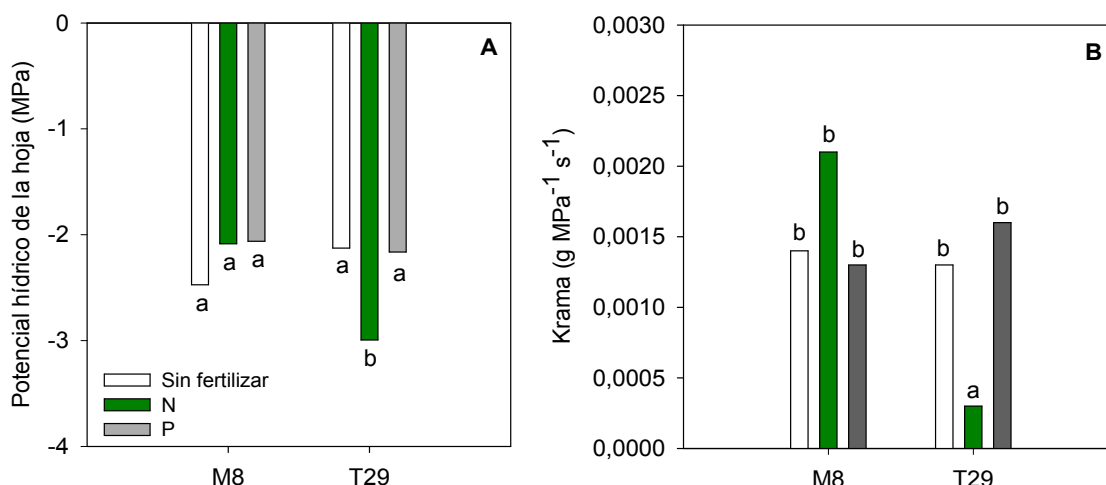


Figura 3: Potencial hídrico de las hojas al mediodía (panel A) y capacidad de conducir agua del xilema de la rama (panel B), para las plantas de las familias M8 y T29, fertilizadas con N, P y sin fertilizar. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre medias para cada panel (LSD $p < 0,05$).

Conclusiones y recomendaciones

Los importantes cambios que se generan en la compartimentalización de la materia seca de las plantas jóvenes producto de la fertilización con N y la baja disponibilidad de agua, comprometen el abastecimiento de agua a las hojas y, por lo tanto, la fijación de carbono que se refleja en un menor crecimiento. Los suelos rojos son muy aptos para el crecimiento inicial de la especie, incluso en condiciones naturales de baja disponibilidad de agua ya que las plantas desarrollan un sistema radical adecuado al sitio y tienen una gran capacidad de crecimiento en los ambientes de la Mesopotamia Argentina. Con la adición de N, se produce un cambio en el equilibrio entre la cantidad de tejido absorbente y transpirante, limitando el abastecimiento de agua y el crecimiento de manera general en los genotipos comerciales. Sin embargo, existe variabilidad entre genotipos en la respuesta a la fertilización con N. Los genotipos con alta capacidad de adecuar su sistema hidráulico a la disponibilidad de agua, logran mantener las tasas de crecimiento cuando son fertilizados con N. La fertilización con P no produce modificaciones importantes de la arquitectura hidráulica y estimula el crecimiento en todas las condiciones ensayadas.

Los buenos resultados de la fertilización inicial con P en plantaciones ubicadas en suelos rojos profundos, pueden maximizarse si se utilizan genotipos seleccionados. Las familias M8 y M20 del Plan de Mejoramiento Genético de INTA, caracterizadas por tener altas tasas de crecimiento, han demostrado además tener una mejor respuesta a la fertilización con P que las otras familias puestas a prueba.

Los efectos negativos descritos de la fertilización inicial con N en plantaciones ubicadas en suelos rojos profundos pueden evitarse si se utilizan genotipos seleccionados. La familia M8 del Plan de Mejoramiento Genético de INTA, tiene características morfológicas y fisiológicas que le permiten mantener el crecimiento en niveles similares a las plantas sin fertilizar. De cualquier manera, dada la falta de respuesta, la recomendación de la fertilización inicial con urea en este caso es inviable. Por otra parte, el hecho de que la fertilización con N no reduzca el crecimiento de esta familia es producto de un conjunto de atributos importantes y deseables desde el punto de vista productivo. El mantenimiento del crecimiento frente a la fertilización es consecuencia de la eficiente adecuación de la arquitectura hidráulica de estas plantas a la disponibilidad de agua del suelo, que les permite un mejor desempeño frente a condiciones de sequía en relación al resto de los genotipos analizados. Es necesario profundizar las investigaciones sobre la respuesta a la fertilización en etapas avanzadas del turno de la plantación, considerando que el impacto

de la fertilización con N podría ser menor en los sistemas radicales con mayor desarrollo y no desencadenaría modificaciones en la arquitectura hidráulica de los árboles que repercutan en el crecimiento.

El uso de fuentes alternativas de N (diferentes a la urea) no aseguraría evitar el efecto negativo de la aplicación durante el establecimiento de la plantación. Finalmente, la disposición espacial del fertilizante, ya sea colocado en hoyos en profundidad o distribuido sobre la superficie del suelo, genera igual efecto en el crecimiento y en la arquitectura hidráulica, por lo que ambos tipos de aplicaciones son factibles de ser utilizados en esta especie.

Agradecimientos

A Martín Pinazo y Nardia Bulfe de la EEA INTA Montecarlo por el apoyo para realizar el experimento a campo. Este trabajo se financió con fondos de los proyectos PIP 1885 (CONICET) y Proyecto de Incentivos 11/A242 (UNLP). LIF es becaria del CONICET. CG es investigadora del CONICET y docente de la FCAyF- UNLP. JJG es investigador de la CIC PBA y docente de la FCNyM- UNLP.

Bibliografía

1. Albaugh, T.J., et al., *Nutrient use and uptake in Pinus taeda*. Tree Physiology, 2008. 28 (7): p. 1083-1098.
2. Allen, H.L., *Forest fertilizers: Nutrient amendments, stand productivity, and environmental impact*. Journal of Forestry, 1987. 85 (2): p. 37-46.
3. Costa Muniz, P.J., et al., *Ensaio de adubação em Pinus elliotti e Pinus taeda no sul do Brasil*. Floresta, 1975. 6 (1): p. 5-13.
4. Faustino, L.I., et al., *¿Cómo afectan los nutrientes el uso del agua en plantas leñosas?* Ecología Austral, 2011. 21 (3): p. 233-250.
5. Fernández, R.A., et al. *Respuesta del Pinus taeda y la Araucaria angustifolia a la adición de N, P y K en la implantación*. en *Silvoargentina I*. 2000. Gdor. Virasoro, Corrientes: Asociación Forestal Argentina.
6. Fernández, R.A., et al., *Efecto de técnicas de establecimiento de bajo impacto para segunda rotación sobre el crecimiento inicial del Pinus taeda en el NE de la Argentina*. Avances en Ingeniería Agrícola, 2000: p. 249-254.

7. Fernández, R.A., et al., *Efectos de diferentes prácticas de preparación del terreno y fertilización sobre el crecimiento inicial del Pinus spp en el NE argentino*. Bosque, 1999. 20 (1): p. 47-52.
8. Fernández, R.J. y N. Trillo, *La textura del suelo como fuente de heterogeneidad; sus efectos sobre la oferta de agua para las plantas*, en *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León*, M. Oesterheld, et al., Editors. 2005, Editorial Facultad de Agronomía: Buenos Aires. p. 171-192
9. Fox, T.R., et al., *Forest fertilization in southern pine plantations*. Better Crops, 2006. 90 (3): p. 12-15.
10. Goya, J.F., et al., *Foliar nutrient concentration in plantation of different ages of Pinus taeda L., in the north of Misiones, Argentina*. Revista Forestal Yvyrareta, 2010. 16 (1): p. 1-6.
11. Goya, J.F., et al., *Impacto de la cosecha y destino de los residuos sobre la estabilidad del capital de nutrientes en plantaciones de Pinus taeda L.* Ecología Austral, 2003. 13 (1): p. 139-150.
12. Jones Benton, J., *Modern interpretation systems for soil and plant analyses in the United States of America*. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1993. 33 (8): p. 1039-1043.
13. Maseda, P.H. y R.J. Fernández, *Stay wet or else: three ways in which plants can adjust hydraulically to their environment*. Journal of Experimental Botany, 2006. 57 (15): p. 3963-3977.
14. Nilsson, U. y H.L. Allen, *Short- and long-term effects of site preparation, fertilization and vegetation control on growth and stand development of planted loblolly pine*. Forest Ecology and Management, 2003. 175 (1): p. 367-377.
15. Pérez, C.A., et al., *Productividad aérea y ciclo de nutrientes en plantaciones de Pinus taeda L. en el norte de la provincia de Misiones, Argentina*. Interciencia, 2006. 31 (11): p. 794-801.
16. Vogel, H.L.M., et al., *Crecimiento inicial de Pinus taeda L. relacionado a dosis de N, P e K*. Ciência Florestal, 2005. 15 (2): p. 199-207.