

Efecto de la roya sobre el desarrollo de raíces en estaqueros de *Populus deltoides*

CORTIZO, S.^{1,2}; BOZZI, J.³; GRACIANO, C.⁴ y GUIAMET, J.⁴

1. EEA Delta del Paraná – INTA.

Coordinadora Proyecto de Mejoramiento de Salicáceas para usos de alto valor.

Coordinadora Subprograma Salicáceas y otras Latifoliadas. Programa de Mejoramiento de especies forestales nativas e introducidas para usos sólidos de alto valor (PROMEF).

scortizo@correo.inta.gov.ar

2. Cátedra de Genética, Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.

3. EEA Bariloche. – INTA Becario.

4. INFIVE. CONICET-Universidad Nacional de La Plata.

RESUMEN

Las distintas especies de roya, son consideradas el factor biótico de mayor importancia en todo el mundo, por sus efectos detrimentales en la cantidad y calidad de madera producida, y han sido la principal causa del recambio clonal en la región del Delta del Paraná. Existen antecedentes que indican que la reducción del crecimiento se debe tanto a la modificación de la dinámica foliar como a la disminución del nivel de fotosíntesis de las hojas remanentes y que afecta tanto al crecimiento de la temporada correspondiente al ataque del patógeno como al rebrote de la siguiente temporada. Sin embargo su efecto sobre el sistema radical no ha sido bien estudiado. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de la enfermedad sobre el desarrollo de raíces en estaquero, utilizando como modelo al clon de *Populus deltoides* 'Onda' (ex "I 72/51") altamente susceptible a roya. El experimento se estableció en el campo experimental de la E.E.A. Delta del Paraná del INTA. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones de veinticuatro plantas para cada uno de los tratamientos: sin roya, pulverizado periódicamente con 25,8 g pa/ha de tebuconazole y con roya (no pulverizado). Durante el invierno y antes del nuevo rebrote se tomaron en cada parcela 16 muestras de raíces, con un cilindro de 8,5 cm de diámetro y 15 cm de largo, extraídas a 20 cm de la cepa en direcciones perpendiculares entre sí, en cada una de las parcelas. En cada muestra se descartaron los primeros 5 cm de suelo y se colectaron las raíces del resto del suelo. Las raíces fueron lavadas, divididas en dos grupos (mayores a 5 mm y menores a 5 mm) y llevadas a peso seco en estufa. Las variables analizadas fueron: peso seco y nitrógeno total. Nuestros resultados indican que la roya no afectó el crecimiento de las raíces mayores a 5 mm pero sí el crecimiento de las raíces menores a 5 mm ($F = 767.46$; $P = 0.0001$), lo cual es evidenciado a través del peso seco (0.530 g para las plantas sanas vs. 0.315 g para las plantas enfermas). La concentración de nitrógeno por gramo de materia seca fue variable dentro de cada uno de los tratamientos, pero no resultó ser significativamente diferente entre tratamientos. Sin embargo, dado que la cantidad de raíces fue mayor en los tratamientos pulverizados, la cantidad total de nitrógeno disponible para iniciar una nueva temporada de crecimiento resultó ser significativamente mayor en las plantas sanas. Estas condiciones limitan el desarrollo de las hojas nuevas dando como resultado plantas de menor tamaño, con menor área fotosintética total, que pueden acumular menor cantidad de materia seca resultando en una reducción del crecimiento.

Palabras claves: *Populus deltoides*, roya, raíces, nitrógeno, reservas.

Introducción

Desde tiempos remotos, los álamos han sido de utilidad para la humanidad gracias a su rápido crecimiento, facilidad de propagación, adaptabilidad a diferentes sitios y variados usos de la madera (aserrado, debobinado, celulosa, fibras y/o partículas para la producción de tableros y biomasa con fines energéticos) (Zsuffa *et al.*, 1996, Dickmann, 2001). También juegan un rol de importancia en la mejora y conservación del ambiente, especialmente en la protección de las cuencas y cultivos, en la remediación de aguas y suelos contaminados y en el balance de dióxido de carbono (Wang *et al.*, 1999; Schultz *et al.*, 2000; Isebrands and Karnosky, 2001; Pilipovic *et al.*, 2006). Se los puede encontrar en bosques nativos o en plantaciones en macizos, cortinas o pequeños grupos de árboles aislados, según cuál sea el objetivo, y en sistemas silvopastoriles (Pincemin *et al.*, 2007).

En las plantaciones de producción, el rendimiento económico estará determinado por la acumulación de materia seca resultante de la conversión de la energía proveniente del sol, a través del proceso de fotosíntesis (Dawson *et al.*, 2005; Dillen *et al.*, 2010), en la parte del árbol que se cosecha, que en el caso particular de los estaqueros y de algunos sistemas de producción de alta densidad utilizados frecuentemente para bionergía, son las guías.

Aún cuando las hojas, las cepas y las raíces en este tipo de sistemas no sean cosechadas, éstas tienen una importancia relevante en la determinación del rendimiento biológico. Por esta razón, para poder maximizar el retorno económico en sistemas de alta producción, es importante minimizar el efecto negativo de factores bióticos y abióticos sobre estos componentes (Dawson *et al.*, 2005).

Para la obtención de genotipos superiores que permitan maximizar la ganancia económica, los programas de mejoramiento no sólo tienen en cuenta el incremento del rendimiento y la mejora de la calidad de la madera para los usos específicos, sino también la tolerancia a plagas y enfermedades (Bradshaw and Strauss, 2001; Stanton, 2009).

Para lograr un aumento del rendimiento los mejoradores se concentran principalmente en: incrementar la eficiencia fotosintética y la intercepción de la luz por parte de la canopia; mejorar el uso del agua, modificar el índice de cosecha a fin de acumular más fotosintatos en el tallo que en las hojas, ramas, raíces y tejidos reproductivos; reducir el gasto de energía en la formación de moléculas con mecanismos de producción altamente costosos, tales como la lignina, más allá de los límites necesarios para el mantenimiento de la estructura del árbol y la defensa contra herbivoría; incorporar genes de tolerancia a factores de estrés bióticos y abióticos (Bradshaw and Strauss, 2001; Dillen *et al.*, 2010).

Entre los factores bióticos que atacan al follaje, las distintas especies de roya son consideradas las de mayor importancia en todo el mundo, por sus efectos detrimentales en la cantidad y la calidad de la madera producida (Widin and Schipper, 1981; Newcombe, 1996; Steenackers *et al.*, 1996; Tabor *et al.*, 2000; Nischwitz and Newcombe, 2004; May-de Mio *et al.*, 2006; Pinon *et al.*, 2006), y han sido la principal causa del recambio clonal en la región del Delta del Paraná (Cortizo, 2005). La reducción del crecimiento, que puede alcanzar valores del 30% al 60% (Widin and Schipper, 1981; May-de Mio *et al.*, 2006; Pinon *et al.*, 2006), se debe tanto a la modificación de la dinámica foliar, como a la disminución del nivel de fotosíntesis de las hojas remanentes (Cortizo *et al.*, 2006, 2009, 2010; Gortari *et al.*, 2010) y afecta tanto al crecimiento de la temporada correspondiente al ataque del patógeno, como al rebrote de la siguiente temporada (Paillassa, 1996; Cortizo *et al.*, 2007).

Pese a la importancia de las raíces en el crecimiento, por su rol en el acceso a los recursos del suelo y en la acumulación de reservas (Dillen *et al.*, 2010), el efecto de la roya sobre el crecimiento y la acumulación de reservas en el sistema radical no ha sido bien estudiado. Sin embargo, Spiers en 1975 reporta una importante reducción del peso de las raíces en *P. nigra* cv 'Sempervirens' y en *P. x canadensis* 'I-214'.

El presente trabajo tiene como objetivo la evaluación del efecto de la enfermedad sobre el sistema radical (desarrollo de raíces y acumulación de nitrógeno) en sistemas de alta producción, utilizando como modelo al clon de *Populus deltoides* 'Onda' (ex "I 72/51") altamente susceptible al ataque de roya.

Materiales y Métodos

Este estudio se realizó en un ensayo instalado en el año 2000, sobre un terreno protegido por un dique total en la E.E.A. Delta del Paraná (Lat: 34°32' 48" S., Long: 58°29' 28" O).

Como material vegetal se utilizaron estacas de 60 centímetros de largo y sección homogénea, tomadas a alturas similares de guías de año de *Populus deltoides* Marsh 'Onda' (ex "I 72/51"), altamente susceptible al ataque de *Melampsora medusae* Thüm, agente causal de la roya del álamo en esta especie.

La preparación del terreno se realizó con un arado de discos y se acondicionaron 6 parcelas con un mulching de plástico negro de 100 µm de espesor, separadas por calles de 4 metros de ancho para facilitar las tareas de pulverización.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones de veinticuatro plantas por parcela, distanciadas a 80 x 80 centímetros, para cada uno de los tratamientos (sin roya, pulverizado, y con roya, no pulverizado).

El ataque de roya fue monitoreado, quincenalmente durante cada ciclo de crecimiento, contabilizando el número de pústulas por centímetro cuadrado en una muestra de 10 hojas tomadas al azar entre las más atacadas en ambos tratamientos.

Para mantener las parcelas libres de roya se aplicó tebuconazole, en una concentración de 25,8 g de principio activo por hectolitro de agua, hasta punto de goteo, utilizando una pulverizadora a motor de mochila. La primera aplicación se realizó a finales de diciembre de cada año ante la aparición de las primeras pústulas y las restantes cada aproximadamente 21 días. El intervalo entre pulverizaciones fue mayor en los casos en los cuales las condiciones climáticas (altas temperaturas y baja humedad relativa) impidieran o limitaran nuevas infecciones durante dicho período. Para tomar la decisión del momento oportuno de pulverización, además de las variables climáticas, se tuvo en cuenta si las hojas presentaban puntuaciones cloróticas, lo cual constituye el primer síntoma visible de ataque por parte del patógeno.

El ensayo fue conducido realizando las tareas culturales propias de un estaquero comercial (recepado de guías durante el período de reposo invernal, control mecánico y químico de malezas en las calles, control de hormigas). No se realizaron podas de conducción.

Durante el invierno del 2008 y antes del nuevo rebrote se eligieron al azar 4 plantas por parcela y se tomaron 4 muestras de suelo a 20 cm de cada cepa elegida en dos direcciones perpendiculares entre sí con un cilindro de 8,5 cm de diámetro y 15 cm de largo.

En cada muestra se descartaron los primeros 5 cm de suelo y se colectaron las raíces del resto del suelo. Dado que el sistema radical del género *Populus* se desarrolla entre los 5 y 20 cm de profundidad (Pregitzer and Friend, 1996), se esperaba que las muestras contuvieran una adecuada cantidad de raíces para realizar las evaluaciones previstas. Las raíces fueron lavadas, divididas en dos grupos (mayores a 5 mm y menores a 5 mm de diámetro) y llevadas a peso seco y enviadas al laboratorio para la determinación del nitrógeno total.

Para evaluar la influencia de la roya sobre la estructura del sistema radical se descalzó una planta en cada una de las repeticiones de los distintos tratamientos. Se contó el número de raíces y el diámetro de las mismas en las proximidades del punto de inserción a la cepa.

Los datos fueron analizados utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.1.3. En todos los casos se comprobó el cumplimiento de los supuestos necesarios para el análisis de varianza.

Resultados

Las primeras pústulas fueron observadas entre la última semana de diciembre y la primera semana de enero de cada ciclo vegetativo. La severidad de la enfermedad varió con el año, con un pico de ataque durante la segunda quincena de enero (Figura 1).

Las plantas pulverizadas no presentaron síntomas de la enfermedad.

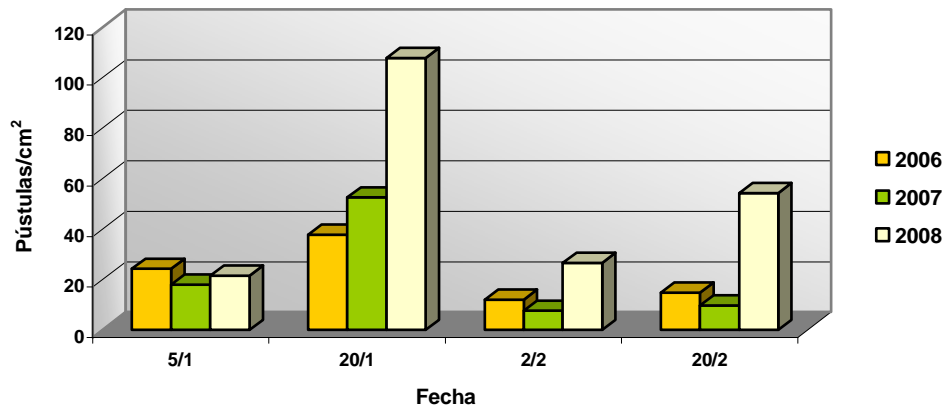


Figura 1: Distribución del ataque de roya en las distintas temporadas de duración del experimento.

La roya no afectó el crecimiento de las raíces mayores a 5 mm ($P = 0,9578$) pero sí el crecimiento de las raíces menores a 5 mm ($F = 767,46$; $P = 0,0001$), lo cual queda evidenciado a través de las diferencias de peso seco: 0,530 g para las provenientes de plantas sanas y 0,315 g para las de plantas enfermas (Figura 2).

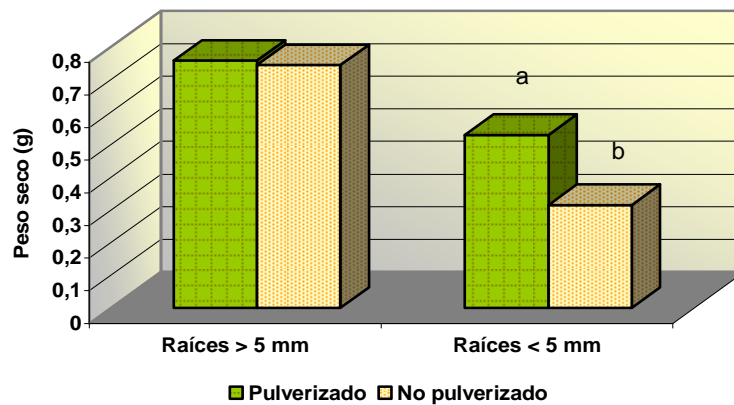


Figura 2: Peso seco de la muestras de raíces extraídas de parcelas con plantas pulverizadas (sanas) y no pulverizadas (enfermas) clasificadas según tamaño.

Tanto el número de raíces por cepa como el diámetro promedio de las mismas se vieron reducidos por el efecto de la enfermedad (Tabla 1, Figura 3). Sin embargo, la variabilidad entre plantas y el bajo número de repeticiones no permitieron detectar diferencias significativas.

Tabla 1: Efecto de la roya en el número y diámetro de las raíces en plantas sanas e infectadas por roya

	Plantas sanas	Plantas enfermas
Nº raíces	90	84
Diámetro medio	21,1	14,5



Figura 3: Efecto de la roya sobre el desarrollo de raíces. Izq. Plantas afectadas por roya. Der. Plantas sanas.

La cantidad de nitrógeno por gramo de materia seca fue variable dentro de cada uno de los tratamientos, pero no resultó ser significativamente diferente entre tratamientos, alcanzando valores de 1,47 y 1,44 % para raíces de plantas sanas y enfermas respectivamente.

Discusión

Existe una estrecha relación entre el área foliar, el crecimiento y el desarrollo del sistema radical, especialmente en plantas jóvenes (Rhodenbaugh and Pallardy, 1992; Pregitzer *et al.*, 1995). Si alguno de éstos parámetros se ve afectado por causa de un estrés, éste tendrá repercusiones sobre el resto de ellos (Bassman and Dickman, 1982, 1985; Bassman and Zwier, 1993).

En el experimento bajo estudio, tanto la dinámica del número de hojas como la del área foliar fueron drásticamente modificadas por la enfermedad. Las plantas infectadas por roya desarrollaron menos hojas desde el inicio de la temporada de crecimiento, las cuales además se cayeron prematuramente. Como consecuencia de ello, el área foliar de las plantas enfermas fue significativamente menor durante todo el ciclo, lo cual redujo la interceptación de la luz incidente en un 50 % (Cortizo *et al.*, 2010). Asimismo, la eficiencia fotosintética se vio seriamente afectada. Esto trajo aparejado una importante merma en el crecimiento de las guías (Cortizo *et al.*, 2006, 2007, 2008, 2009; Gortari *et al.*, 2010).

Las raíces son órganos heterotróficos que consumen una importante porción del carbono producido por la planta. La cantidad de fotosintatos retranslocados desde las hojas hacia las raíces varía a través de toda la temporada de crecimiento, alcanzando su máximo valor a partir de la entrada en reposo de la yema apical. En este período la acumulación puede llegar a ser 75 veces más intensa en raíces menores a 5 mm (Pregitzer and Friend, 1996). El carbono acumulado en las raíces y tejidos asociados constituye una fuente de reservas que permitirán el rebrote en el inicio de la temporada de crecimiento siguiente.

En plantas infectadas por roya, la asimilación de carbono y su translocación hacia las raíces se encuentran muy modificadas (Walkers, 1985) y probablemente la disponibilidad de carbono sea la mayor limitación para el crecimiento de las mismas. Nuestros resultados indican que el sistema radical también se vio seriamente afectado. En parcelas no pulverizadas, tanto el número de raíces por cepa como el diámetro promedio de las mismas se redujo en presencia de la enfermedad. Siendo este efecto de mayor magnitud para las raíces menores a 5 mm, lo cual es evidenciado a través de la reducción del peso seco de las mismas (0,530 g para las plantas sanas vs. 0,315 g para las plantas enfermas). Las raíces finas son las más activas en la absorción de agua y nutrientes, consecuentemente la disminución de la cantidad de raíces finas tiene un efecto negativo en el corto plazo, porque reduce la capacidad de adquirir recursos, y en el largo plazo, porque disminuye la acumulación de reservas al final del período de crecimiento.

Estos resultados coinciden con el comportamiento observado en otros géneros (Doodson *et al.*, 1964; Paul and Ayres, 1986) y en otras especies de álamo (Spiers, 1975).

En las plantas con reposo invernal, el rebrote del año siguiente depende en gran medida de las reservas que han podido acumular durante la temporada de crecimiento (Telewski *et al.*, 1996). Si además se conducen en sistemas en donde la parte aérea se cosecha periódicamente, es entonces el carbono almacenado en cepas y raíces la única fuente de energía para la formación y crecimiento inicial de las nuevas guías.

Las diferencias en la cantidad de raíces encontradas entre plantas sanas y enfermas podrían explicar el menor número de hojas y tamaño de las guías encontrados al inicio de cada temporada de crecimiento en plantas recepadas, aún cuando no se observan síntomas de un nuevo ataque del patógeno (Cortizo *et al.*, 2007).

Otro aspecto de gran importancia en el desarrollo de nuevas hojas y guías es el almacenamiento de nitrógeno. Las raíces pueden llegar a acumular hasta un 70 % del nitrógeno contenido en las hojas proveniente de retranslocación que se produce antes de la caída de las mismas en el otoño (Pregitzer *et al.*, 1990). Si bien en nuestro experimento la concentración de nitrógeno por gramo de materia no resultó ser significativamente diferente entre tratamientos, dado que la cantidad de raíces fue mayor en los tratamientos pulverizados, la cantidad total de nitrógeno disponible para iniciar una nueva temporada de crecimiento resultó significativamente mayor en las plantas sanas.

En conclusión, la roya afecta el crecimiento porque disminuye la capacidad fotosintética durante el desarrollo de la enfermedad. La menor fijación de carbono reduce el crecimiento de las raíces finas, y si bien no reduce la concentración de nitrógeno en las raíces, disminuye la capacidad de explorar el suelo y adquirir agua y nutrientes durante esa temporada de crecimiento. Este proceso reduce las reservas de carbono y de nitrógeno para iniciar el crecimiento y la capacidad de adquirir recursos desde el suelo al inicio de la temporada siguiente. Este efecto se exagera porque, en los estaqueros, las plantas pierden las reservas acumuladas en los tallos, quedando disponibles sólo las de raíces y cepa. Consecuentemente, el crecimiento inicial es más lento, por lo que el efecto negativo de la roya de cada año se extiende al menos por dos temporadas de crecimiento.

Bibliografía

- Bassman, J.H., Dickmann, D.I. 1982. Effects of defoliation in the developing leaf zone on young *Populus x euramericana* plants. I. Photosynthetic physiology, growth, and dry weight partitioning. *Forest Science* Volume 28, Issue 3: 599-612.
- Bassman, J.H., Dickmann, D.I. 1985. Effects of defoliation in the developing leaf zone on young *Populus x euramericana* plants. II. Distribution of ¹⁴C- photosynthate after defoliation. *Science* Volume 31, Issue 2: 358-366.
- Bassman, J. H. and Zwier, J. C. 1993. Effect of Partial Defoliation on Growth and Carbon Exchange of Two Clones of Young *Populus trichocarpa* Torr. & Gray *Forest Science*, Volume 39, Number 3: 419-431
- Bradshaw, H.D. and Strauss, S. 2001. Breeding strategies for the 21st Century: domestication of poplar. In *Poplar culture in North America*. Part B. chapter 14. Edited by: Dickmann, D.I., Isebrand, J.G., Eckenwalde, J.E. and Richardson, J.. NCR Research Press, National research Council of Canada, Ottawa, Ontario Canada: 383-394.
- Cortizo, S. 2005. Roya del álamo en el Delta del Paraná. IDIA XXI. *Forestales*. Revista de información sobre investigación y desarrollo agropecuario. Año V- Nº 8: 139-142.
- Cortizo, S.; Mema, V.; Graciano, C. Abbiati, N.; y Guiamet, J.. 2006. Efecto de la roya del álamo sobre el follaje y el crecimiento. *Jornadas de Salicáceas 2006*: 207-214.
- Cortizo S., Bozzi J., Mema V., Graciano C., Guiamet J.J. 2007. Efecto de la roya del álamo sobre el rebrote en estaquero. *XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos*: 9 pp.
- Cortizo, S., Mema, V., Bozzi, J., Graciano, C., Abbiati, N. and J. J Guiamet. 2008. Impact of poplar rust on foliage development, photosynthesis and growth in stoolbeds. *Proceedings of the 23° Session International Poplar Commission*. Beijing. China.
- Cortizo, S.; Graciano, C.; Abbiati, N.; Bozzi, J., and J. J Guiamet. 2009. Impact of poplar rust on leaf dynamics and photosynthesis. *Congreso Forestal Mundial*. Buenos Aires. Argentina.
- Cortizo, S., Abbiati, N., Graciano, C. and Guiamet, J. J. 2010. Poplar rust effects on yield in intensive systems of production. *Proceeding of Fifth International Poplar Symposium*. Orvieto. Italia: 205.

- Cortizo, S., Graciano, C., Abbiati, N. Bozzi, J., and J. J. Guiamet. 2009. Impact of poplar rust on leaf dynamics and photosynthesis. Actas Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires. Argentina. <http://www.cfm2009.org/es/programapost/resumenes/index.asp>
- Dawson, M. W.; McCracken, A., and Carlisle, D. 2005. Short-rotation Coppice Willow Mixtures and Yield in Rust diseases of Willow and Poplars edited by Ming Hao Pei & Alistair R. McCracken. CAB International: 195-208.
- Dickmann, D.I. 2001. An overview of the genus *Populus*. In Poplar culture in North America. Part A. Chapter 1. Edited by: Dickmann, D.I., Isebrand, J.G., Eckenwalde, J.E. and Richardson, J.. NRC Research Press, National research Council of Canada, Ottawa, Ontario Canada: 1-42.
- Dillen, S.Y, Rood, S.B., and Ceulemans, R. 2010. Growth and Physiology. Ed: S. Jansson *et al.*. Genetics and Genomics of *Populus*: Plant Genetics and Genomics: Crops and Models 8. Springer Science: 39-63.
- Doodson, J. K.; Manners, J. G. and Myers, A. 1964. Some Effects of Yellow Rust (*Puccinia striiformis*) on the Growth and Yield of a Spring Wheat. Annals of Botany, N.S. Vol. 28, No. 111: 459-472.
- Gortari, F.; Graciano, Cortizo, S y Guiamet, J.J. 2010. Disminución de la fotosíntesis en álamos infectados por roya. XXVIII Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. La Plata. Argentina.
- Isebrands, J.G. and D.F. Karnosky 2001. Environmental benefits of poplar culture. In Poplar Culture in North America. Eds. D.I. Dickmann, J.G. Isebrands, J.E. Eckenwalder and J. Richardson. NRC Research Press, Ottawa, Canada, pp 207–218.
- May-De Mio, L., Amorin, L. e Schuda, L. 2002. Susceptibilidade de clones de álamo à ferrugem no viveiro, eficiência de fungicidas e avaliação de danos. Summa fitopatologica, V 28: 46-51)
- May-De Mio, L., Amorin, L. e Moreira, L. Progreso de epidemias e avaliação de danos da ferrugem em clones de álamo. Fitopatol. bras. 2006, vol. 31, no. 2:133-139.
- Newcombe, G. 1996. The specificity of fungal pathogens of *Populus*. In, Biology of *Populus* and its implications for management and conservation. Part I, Chapter 10. R. F. Stettler, H. D. Bradshaw Jr., P. E. Heilman, and T. M. Hinckley, eds. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON. pp. 223-246.
- Nischwitz, C. and Newcombe, G. 2004. The use of *Sphaerellopsis filum* for biological control of *Melampsora* species on *Populus* species. Abstracts of Proceedings of the 22° Sessi on International Poplar Commission. International Poplar Commission Working Paper IPC/2. Forest Resources Division, FAO, Roma: 167.
- Paul, N. D. and Ayres, P. G 1986. The Effects of Nutrient Deficiency and Rust Infection on the Relationship Between Root Dry Weight and Length in Groundsel (*Senecio vulgaris* L.). Annals of Botany 57, 353-360, 1986
- Pregitzer, KS, Zak DR, Curtis PS, Kubiske ME, Teeri JA, Vogel. CS. 1995. Atmospheric CO₂, soil nitrogen and turnover of fine roots. New Phytologist 129: 579–85
- Paillassa, E. 1996. Les roilles et le peuplier. Les cahiers techniques de l'objetif 1, Bulletin trimestriel n. 2, , Centre de Populiculture du Hainaut : 9-18.
- Pilipovic, A.; Orlovic, S.; Nikolic, N.; Galic, Z. 2006. Investigating potential of some poplar (*Populus sp.*) clones for phytoremediation of nitrates through biomass production. Environmental Applications of Poplar and Willow Working Party. 18-20 May 2006, Northern Ireland. <http://www.fao.org/forestry/10720-0e35704feeccf003b18624d9e69301dac.pdf>
- Pincemin, J.M., Monlezun, S.J.; Zunino, H.; Cornaglia, P.S. y Borodowski, E. 2007. Sistemas Silvopastoriles en el Delta del Río Paraná: Producción de materia seca y estructura de gramíneas templadas bajo álamos. APPA - ALPA - Cusco, Perú. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/82-Pincemin-silvopastoril.pdf
- Pinon, J.; Frey, P. and Husson, C. 2006. Wettability of Poplar leaves influences dew formation and infection by *Melampsora larici-populina*. Plant Disease 90: 177-184.
- Pregitzer, K.S.; Dickman, D.I.; Hendrick R., and Nguyen P.V.. 1990. Whole-tree carbon and nitrogen partitioning in young hybrid poplars. Tree Physiology 7:79-93.
- Pregitzer, K. S. and Friend, A. L. 1996. The structure and function of *Populus* root systems. In, Biology of *Populus* and its implications for management and conservation. Part II, Chapter 14. R. F. Stettler, H. D. Bradshaw Jr., P. E. Heilman, and T. M. Hinckley, eds. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON. pp. 331-354.
- Rhodenbaugh E. J. y S. G. Pallardy. 1993. Water stress, photosynthesis and early growth patterns of cuttings of three *Populus* clones. Tree Physiol. 13: 213-226.
- SAS Institute Inc. (2004). SAS OnlineDoc® 9.1.3. Cary, NC: SAS Institute Inc.

- Schultz, R.C., J.P. Colletti, T.M. Isenhardt, C.O. Marquez, W.W. Simpkins and C.J. Ball. 2000. Riparian forest buffer practices. In North American Agroforestry: an Integrated Science and Practice. Eds. H.E. Garrett, W.J. Rietveld and R.F. Fisher. Am. Soc. Agron., Madison, WI, pp 189–281.
- Spiers, A. 1975. Fungicides for control of poplar leaf rust and effects of control on growth of *Populus nigra* cv. 'Sempervirens' and *P. x euroamericana* cv. 'Í-214'. N. Z. Journal of Experimental Agriculture 4: 249-254.
- Stanton, B. 2009. The domestication and conservation of the populus genetic resources in Poplars and willows in the world. International Poplar Commission Thematic Papers. www.fao.org/forestry/17999-0a2a9254c48235115320343250f37a2e2.pdf : 92 pp.
- Steenackers, J.; Steenackers, M. Steenackers, V. and M. Stevens (1996) Poplar diseases, consequences on growth and wood quality. Biomass and Bioenergy. Vol 10. Nos 5/6: 267-274.
- Tabor, G.; Kubisiak, N.; Klopfenstein, R.; Hall, R. and McNabb Jr. 2000. Bulk segregant analysis identifies molecular markers linked to *Melampsora medusae* resistance in *Populus deltoides*. Phytopathology 90: 1039-1042.
- Telewski, F. W.; Aloni, R; Sauter, J. J. 1996. Physiology of Secondary Tissues of *Populus*. In Biology of Populus and its implications for management and conservation. Part II, Chapter 13. Ed. by R. F. Stettler, H. D. Bradshaw Jr., P. E. Heilman, and T. M. Hinckley. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON. pp. 301-329.
- Wang, X., L.A. Newman, M.P. Gordon and S.E. Strand 1999. Biodegradation of carbon tetrachloride by poplar trees: results from cell culture and field experiments. In Phytoremediation and Innovative Strategies for Specialized Remedial Applications. Eds. A. Leeson and B.C. Allenman. Battelle Press, Columbus, OH, pp 133–138.
- Widin, K.D., and Schipper, A.L., Jr. 1981. Epidemiology and impact of *Melampsora medusae* leaf rust infection on yield of hybrid poplars in the north the north-central United States. Eur. J. For. Path. 11: 438-448.
- Zsuffa, L., Giordano, E. Pryor, L.D. and Stettler, R. F. 1996. Trends in poplar culture: some global and regional perspectives. Ed: Stettler, R.F., Bradshaw, H.D. Jr., Heilman, P.E., and Hinckley, T.M. Biology of Populus and its implications for management and conservation. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canadá: 515-539.