

Cambios en el crecimiento y la densidad de la madera en dos clones de álamo (*Populus deltoides*) debidos a la infección con roya (*Melampsora medusae*)

Gortari, Fermín¹; María Emilia Rodríguez¹; Santiago Martínez¹; Silvia Cortizo²; Corina Graciano^{1,3}

¹Instituto de Fisiología Vegetal (CONICET- Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata). Diag 113 n° 495, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina; ²INTA EEA Delta del Paraná, Río Paraná de Las Palmas y Canal Laurentino Comas - 4ta. Sección de Islas, CC 14, 2804 Campana, Buenos Aires, Argentina; ³corinagraciano@agro.unlp.edu.ar

Gortari, Fermín; María Emilia Rodríguez; Santiago Martínez; Silvia Cortizo; Corina Graciano (2015) Cambios en el crecimiento y la densidad de la madera en dos clones de álamo (*Populus deltoides*) debidos a la infección con roya (*Melampsora medusae*). Rev. Fac. Agron. Vol 114 (1): 91-99.

La roya, causada por distintas especies de *Melampsora* es una de las enfermedades más importantes de los álamos y puede reducir el crecimiento y la calidad de la madera. El objetivo de este trabajo fue evaluar la reducción en el crecimiento y densidad de la madera en dos clones de *Populus deltoides* en una plantación de cuatro años ubicada en la pampa ondulada, como consecuencia de la infección con roya en cada estación de crecimiento. Se utilizaron dos clones que presentan diferente susceptibilidad a la roya: Onda y Australiano 106/60, plantados a 3 x 3 metros. Tres parcelas de 36 plantas de cada clon se mantuvieron libres de la enfermedad mediante pulverización quincenal con fungicida sistémico, mientras que otras tres parcelas enfermaron naturalmente, en un diseño aleatorio. A los cuatro años de iniciada la plantación se midió la altura total y el diámetro del tallo a 1,3 m de todos los individuos vivos. La materia seca aérea y la densidad básica de la madera se midieron en submuestras que representaban la variabilidad en altura de cada clon. El clon más susceptible a la roya presentó mayor crecimiento que el clon más tolerante cuando las plantas se mantuvieron libres de la enfermedad. La infección con roya redujo la altura de los dos clones y el diámetro, la acumulación de materia seca y la densidad de la madera sólo en el clon más susceptible. La aplicación de fungicidas para controlar la enfermedad en el clon más susceptible permitiría aumentar su crecimiento.

Palabras claves: estrés biótico, diámetro, altura, materia seca, patógeno

Gortari, Fermín; María Emilia Rodríguez; Santiago Martínez; Silvia Cortizo; Corina Graciano (2015) Growth and wood density changes in two poplar clones (*Populus deltoides*) due to rust (*Melampsora medusae*) infection. Rev. Fac. Agron. Vol 114 (1): 91-99.

Rust (*Melampsora medusae*) is one of the most important poplar pathogens. It can reduce growth and wood quality. The aim of this work was to evaluate growth and wood density in two *Populus deltoides* clones in a four-year old plantation in the Pampas, as a consequence of the rust infection along all the growing seasons. Two clones that have different rust susceptibility were used: Onda and Australiano 106/60, planted with 3 x 3 m spacing. Three 36-plants plots of each clone were maintained rust-free through pulverization with a systemic fungicide every 15 days. The other plots were naturally infected, in a randomized design. Four years after the beginning of the experiment total height and diameter at 1.3 m were measured in all plants. Aboveground dry mass and wood basic density were measured in a sample representing the height variability. The most susceptible clone grew more than the most tolerant clone if plants were maintained rust free. Rust reduced height and diameter in both clones. However, dry mass accumulation and wood basic density reduced in infected plants only in the most susceptible clone. Fungicide can control the rust and increase growth of the most susceptible clone.

Keywords: biotic stress, diameter, height, dry mass, pathogen

Recibido: 12/12/2014

Aceptado: 09/06/2015

Disponible on line: 25/07/2015

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

INTRODUCCIÓN

Los álamos, que comprenden diversas especies e híbridos del género *Populus* L., poseen una amplia distribución en el mundo. La superficie mundial cubierta por álamos es del orden de los 77 millones de hectáreas, de las cuales 7 millones corresponden a plantaciones forestales (Ball et al., 2005). Los principales destinos de su producción son pulpa para papel, tableros contrachapados y de partículas, madera para construcción y bioenergía (Ball et al., 2005). En Argentina, las áreas con plantaciones de álamos cubren aproximadamente 64.000 has (Monteverde & Cortizo, 2014), y desde el punto de vista ecológico estas pueden dividirse en tres grandes zonas: delta de los Ríos Paraná y Uruguay, oasis bajo riego de las zonas áridas y la llanura bonaerense. Cada una de estas zonas tiene características diferentes que condicionan los ciclos de producción (turnos), las prácticas silvícolas, la cosecha y el traslado de madera.

La zona del delta de los Ríos Paraná y Uruguay es una gran llanura inundable localizada al noreste de la provincia de Buenos Aires y sur de Entre Ríos, con precipitaciones medias anuales de 1.000 mm y crecidas cíclicas de los ríos que cubren vastas extensiones. El núcleo forestal de esta región produce álamo en terrenos protegidos por diques, canales, compuertas y bombas que evitan las inundaciones (Luquez et al., 2012). El traslado de la madera hasta los centros de industrialización (triturado para papel o tableros, aserrado o debobinado) es predominantemente fluvial, a través de los cursos de agua, en barcas especialmente acondicionadas (Borodoski, 2006).

Los oasis bajo riego de las zonas áridas se encuentran en las provincias de Mendoza, La Pampa, Santiago del Estero; y en el Alto Valle del Río Negro (Neuquén y Río Negro). Los álamos son cultivados en suelos sueltos, de textura arenosa, en ambientes con marcado déficit hídrico, por lo que necesitan riegos a través de sistemas de canalización. El principal destino de la producción es para envases para la industria frutihortícola local (Nosetti & Naves, 2013).

En la llanura bonaerense la producción de álamos está consolidada en la pampa arenosa, mientras que en la pampa ondulada se encuentra en estado de desarrollo inicial, con vistas a expandirse, por la cercanía a centros de procesamiento de la madera y la posibilidad de utilizar suelos marginales para la agricultura (Achinelli, 2014).

Los álamos poseen tasas de crecimiento elevadas en todas las regiones descritas, alcanzando los 20-25 m³ ha⁻¹ año⁻¹. Como el crecimiento de las plantas se produce durante mucho tiempo (los turnos de corta entre 10 y 15 años), las plantaciones están continuamente expuestas a estreses bióticos y abióticos. Ambos tipos de estrés reducen el crecimiento y la calidad de la madera, pudiendo producir importantes pérdidas de volumen cuando las plantaciones llegan al turno de corta, disminuyendo el valor comercial de los montes en pie (Casaubon et al., 2002). Entre los estreses bióticos, la enfermedad denominada roya es considerada una de las más importantes que afecta el género *Populus*, tanto en Argentina como en el resto del mundo (Tabor et al., 2000).

La roya, en clones de *Populus deltoides* en el Delta es producida mayoritariamente por *Melampsora medusae* (Cortizo, 2014). Esta enfermedad reduce la productividad de las plantaciones de álamo porque afecta varios procesos fisiológicos. La infección se inicia cuando las urediniosporas del hongo germinan sobre la cutícula de las hojas y, pocas horas después, las hifas penetran hacia el mesófilo principalmente a través de los estomas (Spiers & Hopcroft, 1988). A medida que el micelio crece, el mesófilo pierde integridad (Laurans & Pilate, 1999). En esta etapa inicial de la infección, se reduce el intercambio gaseoso de agua, el dióxido de carbono y además, la fotosíntesis disminuye debido a la pérdida de integridad celular, visualizándose como manchas cloróticas (Major et al., 2010). Pasados normalmente siete días, se produce la emergencia de pústulas amarillo-anaranjadas, que son el signo de la enfermedad. Pasado el tiempo, estas lesiones necrosan y si el nivel de infección es elevado, se produce la abscisión foliar. Al caerse anticipadamente las hojas, se reduce el área foliar fotosintetizante perdiéndose los nutrientes que en ella se encuentran y no pueden ser removilizados hacia los tejidos en formación o de reserva. Como consecuencia de estos procesos, el crecimiento disminuye, como así también las reservas acumuladas en los tejidos perennes (tallos y raíces) que son indispensables para el inicio de la brotación en la primavera siguiente (Cooke & Weih, 2005). Por lo tanto, la roya produce reducción en el crecimiento del año (May-De Mio et al., 2006; Widin & Schipper, 1981) y reducción en el crecimiento del año siguiente, aún antes de la aparición de la enfermedad (Cortizo, 2014). Además, la densidad de la madera, que depende de la translocación de sustancias carbonadas y nutrientes desde las hojas, también es reducida por la enfermedad (Steenackers et al., 1996).

A pesar de que los álamos son infectados por la roya tanto en el Delta del Paraná (Cortizo, 2014) como en la región de Cuyo (Lucero et al., 2010) son escasas las evaluaciones de los efectos de la enfermedad en el crecimiento de los árboles y la densidad de la madera en las plantaciones locales. Sin embargo, la susceptibilidad a esta enfermedad es un criterio incluido en la selección de individuos en los planes de mejoramiento genético de álamos que brindan material genético para las diferentes zonas productivas del país (Cortizo, 2005). Por lo dicho anteriormente, conocer cómo son afectados los álamos por esta enfermedad en la región, brindará herramientas útiles tanto para los planes de mejoramiento como para el manejo de las plantaciones.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la reducción en el crecimiento y densidad de la madera en dos clones de *Populus deltoides* en una plantación de cuatro años ubicada en la pampa ondulada, con infección natural de roya.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se instaló un ensayo en la primera semana de agosto de 2010 en la estación experimental Ing. Agr. Julio Hirschhorn (34° 59' 5,73" de latitud sur y 57° 59' 49,56" de longitud oeste), perteneciente a la Facultad de

Ciencias Agrarias y Forestales (Universidad Nacional de La Plata). El suelo es un Argiudol típico (clasificación USDA), sin uso forestal previo, con vegetación herbácea espontánea. El clima es templado, con temperaturas medias anuales de 16,3 °C, precipitaciones medias anuales de 993,9 mm y humedad relativa media anual del 80 % debido a su cercanía al Río de la Plata (Figura 1).

Para realizar la plantación se utilizaron estacas (1 metro de largo) de dos clones de *Populus deltoides* susceptibles a roya. El clon Onda originado en Italia, cuyos padres son *Populus deltoides* var. *missouriensis* x *Populus* sp. (Padre no identificado). Fue seleccionado en Casale Monferrato a partir de semillas enviadas desde el Delta del Río Mississippi, Stoneville, EEUU. Se caracteriza por ser poco ramificado, con hojas de gran tamaño y muy susceptible a roya. El otro clon utilizado se denomina Australiano 106/60, originario de Cambera, Australia, elegido en el Department of Botany, Australian National University y cuyos padres no se encuentran identificados. Fue seleccionado a partir de semillas de *Populus deltoides* procedentes de College Station, Texas, EEUU. Es un clon muy ramificado, de hojas más pequeñas, poco susceptible a roya.

Se plantaron 6 parcelas para cada clon, cada una compuesta por 36 plantas (6x6) distanciadas 3 metros entre plantas y entre filas. En 3 parcelas de cada clon, las plantas se pulverizaron con fungicida quincenalmente hasta punto de goteo, desde brotación (septiembre) hasta comienzo de la caída de hojas (mayo) (consideradas plantas sin roya e indicadas en los gráficos como R-). En cada fecha de pulverización se realizó una inspección visual de la totalidad de las plantas para verificar la ausencia de la enfermedad. El fungicida utilizado fue tebuconazole cuya acción es sistémica (Folicur) a una dosis de 0,258 g pa. L⁻¹ (Cortizo *et al.*, 2011). Las otras 3 parcelas de cada clon, no recibieron tratamiento, y por lo tanto fueron susceptibles al ataque de roya por infección natural

(consideradas plantas con roya e indicadas en los gráficos como R+). La presencia de la enfermedad se verificó quincenalmente mediante el registro ocular de la totalidad de las plantas de cada parcela. Se registró la fecha en que apareció la enfermedad y el nivel de incidencia para cada uno de los tratamientos, en cada una de las temporadas. Además, se estimó el número de pústulas por cm² de hoja como una medida de severidad de la enfermedad en las primeras dos temporadas. En consecuencia este ensayo tuvo 4 tratamientos: clon Onda sin roya (O R-), clon Onda con roya (O R+), clon Australiano 106/60 sin roya (A R-) y clon Australiano 106/60 con roya (A R+). Las parcelas se distribuyeron al azar dado que no se observó ningún gradiente ambiental (pendiente, tipo de suelo, cercanía a plantaciones o edificaciones, dirección de vientos predominantes) que justificara agregar bloques. Por lo tanto el diseño experimental quedó conformado por 2 factores: clon (O y A) y roya (R- y R+).

Desde la plantación hasta julio de 2014, fecha en que se dio por finalizado el experimento, se realizaron tareas silviculturales para evitar algunos factores de estrés, como desmalezado periódico entre filas, aplicación de herbicida glifosato alrededor de las plantas y control de hormigas.

La temporada 2010-2011 fue particularmente seca y se observó una mortalidad del 30 % de los individuos. La reposición de estos individuos se realizó en agosto de 2011. La disparidad en edad de los individuos se consideró aceptable ya que refleja las prácticas silviculturales habituales que incluyen la reposición de individuos muertos.

En julio de 2014 se midió la altura y el diámetro a la altura del pecho (DAP) de todas las plantas. Posteriormente se procedió a cortar un mínimo de 10 plantas por tratamiento (n=52), uniformemente distribuidas en función de las alturas, las cuales se pesaron para obtener el peso fresco aéreo total. Luego se tomó una muestra de cada una de estas plantas a la cual se le determinó peso fresco. Las muestras con

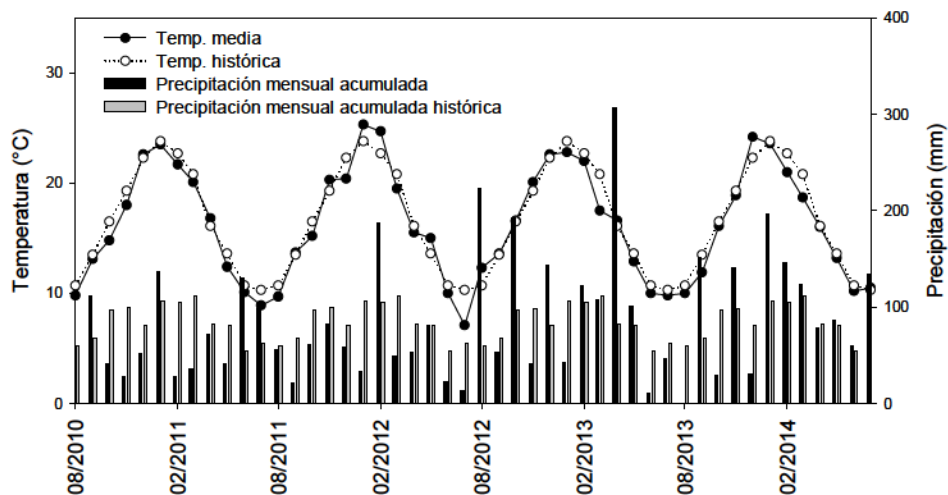


Figura 1. Temperaturas medias e históricas y precipitaciones acumuladas mensuales históricas y registradas durante el experimento (agosto de 2010 a julio de 2014).

corteza se tomaron de la porción del tallo entre los 20 y 40 cm del suelo y se determinó el peso fresco. Luego se colocaron en estufa hasta peso constante y se calculó el contenido de humedad de la madera. Con este valor por tratamiento, se calculó el peso seco total (PST) de cada planta. Se asumió un contenido de humedad constante ya que las plantas estaban en reposo otoñal.

Con los valores de altura, DAP y PST obtenidos para las plantas muestreadas, se ajustó una ecuación para poder determinar el PST del resto de las plantas del ensayo, a las que sólo se les midió altura y DAP. Se ajustó una recta para cada tratamiento y otra considerando todos los datos juntos. El ajuste fue mejor con todos los datos juntos porque la magnitud del cambio en la densidad básica es despreciable en relación al efecto que tienen el DAP y la altura en el peso. Por lo tanto, se utilizó la misma ecuación para determinar PST de los dos clones en plantas sanas y enfermas. La ecuación fue la siguiente:

$$PST = 0,507 + (0,0002 * H * DAP^2)$$

$$(p < 0,001 \text{ y } R^2 = 0,967)$$

Por otro lado, de las muestras obtenidas para calcular el PST, se tomó una submuestra ($n=52$) para la determinación de la densidad básica de la madera (DB) tomando como referencia la norma TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry) T 258 om-94 (Arango et al., 2001; Monteoliva & Senisterra, 2008). Las muestras fueron descortezadas, colocadas en agua durante 48 hs hasta que se encontraron saturadas de agua y luego se determinó el volumen saturado, mediante el peso del volumen de agua desplazado. Posteriormente se llevaron a estufa ($65\text{ }^\circ\text{C}$) hasta peso constante y se obtuvo el peso anhidro. La densidad básica de la madera se calculó como el cociente entre el peso anhidro y el volumen saturado. Para confirmar la independencia entre la densidad básica de la madera

y el diámetro del tallo, se estimó la correlación entre ambos parámetros.

Para el análisis estadístico se utilizó el Análisis de la Varianza (ANOVA), y cuando la interacción entre factores fue significativa, las medias se compararon con el test de Duncan, con una significancia del 95%. Los factores considerados fueron Clon (C) y Roya (R). En todos los casos se analizó la interacción entre los factores. Las parcelas no se tuvieron en cuenta como factor porque el diseño fue completamente aleatorizado y no se podían anticipar respuestas diferenciales de cada una de ellas (Di Renzo et al., 2005).

RESULTADOS

La aparición de la enfermedad se observó los primeros días de febrero en la temporada 2010-2011, mediados de marzo en la temporada 2011-2012, principios de enero en la temporada 2012-2013 y mediados de febrero en la temporada 2013-2014. Las plantas de las parcelas pulverizadas no presentaron roya en ninguno de los años (incidencia 0%). Todas las plantas de las parcelas no pulverizadas presentaron roya todos los años (incidencia 100% para ambos clones). El número de pústulas por cm^2 fue de 51,2 para el clon Onda y de 6,7 para el clon Australiano 106/60 en la temporada 2010-11 mientras que en la temporada 2011-2012 fue de 44,8 y 15,3 pústulas por cm^2 para el clon Onda y Australiano 106-60, respectivamente.

La altura de las plantas fue menor en los tratamientos con la enfermedad que en las plantas sanas. En el clon Onda la reducción en altura fue del 50%, mientras que en el clon Australiano 106/60 la reducción fue del 20% (Figura 2). En el DAP, la tendencia fue la misma. Sin embargo, si bien hay una reducción significativa del 55% en el clon Onda entre las plantas enfermas con respecto a las sanas, en el clon Australiano 106/60 si bien la reducción fue del 20% no fue significativa (Figura 3).

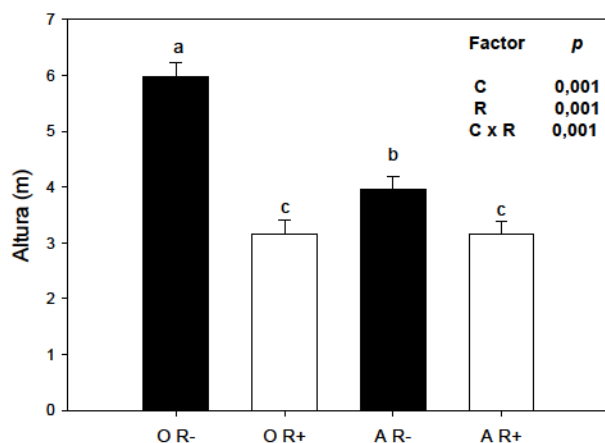


Figura 2. Altura promedio de las plantas para los diferentes tratamientos con sus respectivos errores estándar. Clon Onda (O), Clon Australiano 106/60 (A), con roya (R+) y sin roya (R-). Sobre el margen superior derecho se observa el valor de p derivado del ANOVA. Diferentes letras significan diferencias significativas entre los tratamientos (test de Duncan, $p < 0,05$).

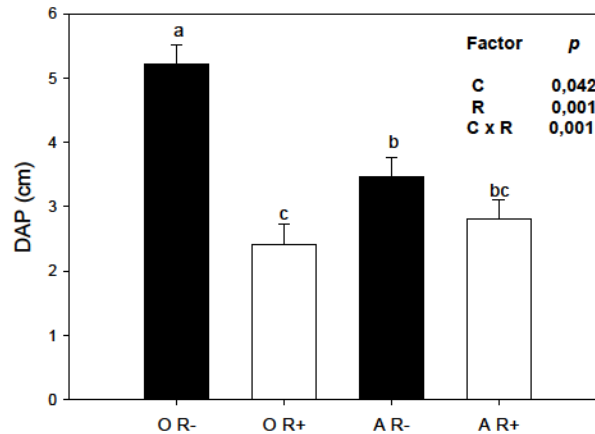


Figura 3. Diámetro a la altura del pecho (DAP) (cm) promedio de las plantas para los diferentes tratamientos con sus respectivos errores estándar. Clon Onda (O), Clon Australiano 106/60 (A), con roya (R+) y sin roya (R-). Sobre el margen superior derecho se observa el valor de p derivado del ANOVA. Diferentes letras significan diferencias significativas entre los tratamientos (test de Duncan, $p < 0,05$).

El peso seco total promedio por planta del clon Australiano 106/60 fue similar entre plantas sanas y enfermas. En cambio, en el clon Onda hubo una disminución significativa del 75% en el PST promedio entre las plantas enfermas con respecto a las sanas (Figura 4).

La densidad básica promedio de la madera (DB) fue diferente entre clones. En el clon Onda fue del orden de los 400 kg m^{-3} , mientras que en el clon Australiano 106/60 fue menor (370 kg m^{-3}). Sólo en el clon Onda se observó una disminución significativa de la DB debido a la roya (Figura 5). Las diferencias en la DB no se debieron a las diferencias en DAP ya que la correlación entre ambas variables no fue significativa (Figura 6).

DISCUSIÓN

Los dos clones de álamo utilizados en este experimento son ampliamente cultivados en el Delta del Paraná, en la zona núcleo de producción forestal. El clon Onda en evaluaciones en la zona bajo regadío de Río Negro, alcanza un DAP de 6 cm a los 2 años (Thomas & Garcés, 2011) y de 10,8 cm a los 4 años (Thomas & Cortizo, 2014). Valores similares fueron registrados en el clon Australiano 106/60 a las mismas edades en el Delta del Paraná (Cortizo & Monteverde, 2011). Ambos registros son superiores al crecimiento alcanzado en este ensayo. La diferencia muy posiblemente se deba a que en nuestro experimento el cultivo se realizó en secano, y particularmente los veranos 2010- 11 y 2011-12 fueron excepcionalmente secos (Figura 1).

A pesar del posible estrés por sequía, que podría tornar poco relevante el efecto de la roya, el crecimiento en altura disminuyó en ambos clones como consecuencia de la enfermedad, ya que el resto de los factores estresantes y no estresantes fueron iguales en todos los tratamientos (Figura 2). Sin embargo, en el clon

Australiano 106/60 la roya no redujo marcadamente ni el crecimiento en el DAP (Figura 3), ni el peso seco total (Figura 4), tal como lo hizo en el clon Onda. El efecto negativo de la roya fue mayor en el clon Onda, que posee mayor crecimiento si se mantiene sano, pero cae a valores similares al crecimiento del Australiano 106/60 cuando es afectado por la enfermedad. La fuerte reducción en el peso total de la planta en el clon Onda enfermo, se debió a la gran reducción de altura y diámetro de los tallos, junto con una marcada reducción de la densidad básica de la madera (Figura 5). Contrariamente, en el clon Australiano 106/60 la enfermedad redujo la altura en menor medida, tendió a reducir el DAP y no modificó la densidad de la madera, por lo que la materia seca aérea total de la planta no se redujo significativamente con la enfermedad. La diferencia entre los dos clones puede deberse a la diferente susceptibilidad a la enfermedad, y a las consecuencias que produce la defoliación en cada clon, relacionadas con la arquitectura de la planta (Cortizo, 2014). El clon Onda expuesto a infección natural presenta mayor porcentaje de hojas afectadas, mayor número de pústulas en las hojas y mayor defoliación que el clon Australiano 106/60 (Cortizo, 2014). Estas diferencias pueden deberse a varios motivos: puede ser que las hojas del clon Onda posean cutícula más delgada, mayor rugosidad, o que la orientación y tamaño de la hoja aumente la posibilidad de que la espora del hongo sea interceptada, y que, por la arquitectura de la copa, se den las condiciones de temperatura y humedad sobre la hoja que posibiliten la germinación de la espora (Siwecki & Przyby, 1981). También puede ser que el clon Australiano 106/60 genere algún tipo de reacción de defensa temprana frente al ataque de la roya, que reduzca la virulencia del parásito; entre estas se pueden encontrar la síntesis de metabolitos secundarios, hormonas, fitoalexinas,

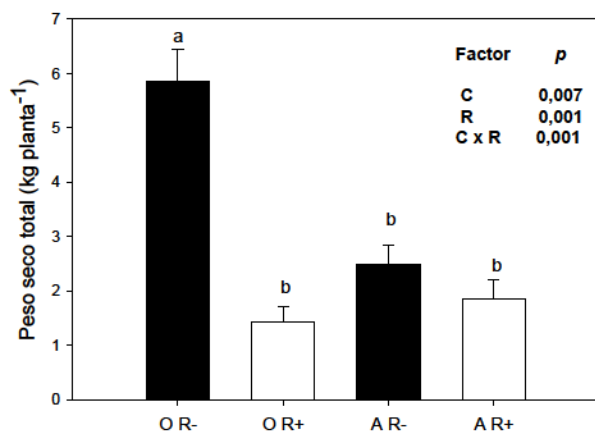


Figura 4. Peso seco total (kg planta^{-1}) promedio de las plantas para los diferentes tratamientos con sus respectivos errores estándar. Clon Onda (O), Clon Australiano 106/60 (A), con roya (R+) y sin roya (R-). Sobre el margen superior derecho se observa el valor de p derivado del ANOVA. Diferentes letras significan diferencias significativas entre los tratamientos (test de Duncan, $p < 0,05$).

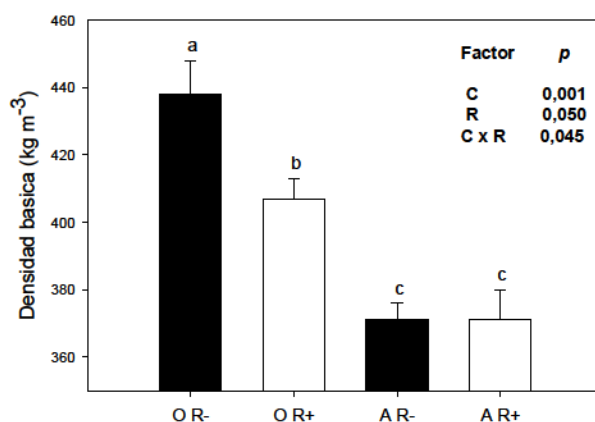


Figura 5. Densidad básica de la madera (kg m^{-3}) promedio de las plantas para los diferentes tratamientos con sus respectivos errores estándar. Clon Onda (O), Clon Australiano 106/60 (A), con roya (R+) y sin roya (R-). Sobre el margen superior derecho se observa el valor de p derivado del ANOVA. Diferentes letras significan diferencias significativas entre los tratamientos (test de Duncan, $p < 0,05$).

agentes reactivos del oxígeno y proteínas (Miranda et al., 2007; Vrancken et al., 2013; Zhang et al., 2009). Sin embargo, ninguno de estos atributos que puedan explicar la susceptibilidad diferencial a la roya han sido evaluados en estos clones.

La arquitectura de la planta (ramificación, número y tamaño de hojas) también puede afectar el nivel de reducción del crecimiento que produce la defoliación. El clon Onda posee un porte monopodial, con grandes hojas. Cuando es infectado por roya, se puede registrar una defoliación cercana al 50%, lo que trae aparejada una reducción en el área foliar fotosintetizante de igual magnitud. En cambio, el clon Australiano 106/60, en las mismas condiciones ambientales, pierde sólo el 25% de

las hojas, habiendo incluso años en que la enfermedad no reduce la cantidad de hojas en este clon (Cortizo, 2014). Este menor efecto de la roya en la defoliación del clon Australiano 106/60 puede ser el motivo por el que la roya no redujo el crecimiento en DAP ni la densidad de la madera en nuestros ensayos. En este clon, la enfermedad tiene un efecto muy limitado, ya que la fotosíntesis no decae marcadamente y no se produce defoliación intensa, por lo que no se afecta la capacidad de la planta de fijar carbono, ni la traslocación de nutrientes y fotoasimilados desde las hojas a tallos y raíces (Cortizo, 2014). Sin embargo, el pequeño efecto de la roya, acumulado a lo largo de 4 años de crecimiento, redujo el crecimiento en altura. En

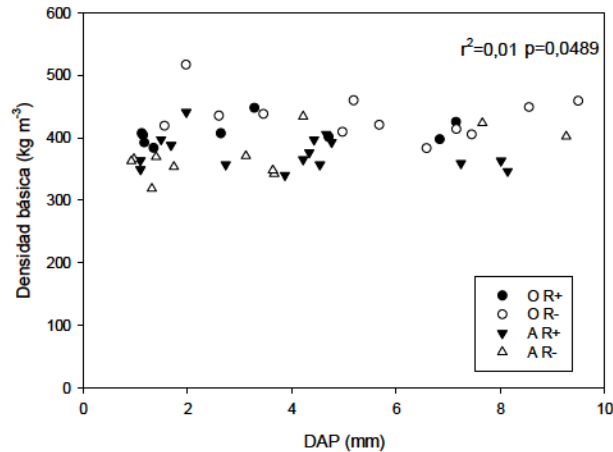


Figura 6. Densidad básica de la madera (kg m^{-3}) en función del diámetro a la altura del pecho (DAP, cm) para los diferentes tratamientos. Clon Onda (O), Clon Australiano 106/60 (A), con roya (R+) y sin roya (R-). Sobre el margen superior derecho se observan los valores de r^2 y p (significancia del 95%).

experimentos realizados en el Delta del Paraná que registraron el crecimiento en un solo año, se observó que la roya redujo la altura de las guías en los dos clones (Cortizo, 2014). La principal diferencia es que en el presente experimento, las plantas estuvieron expuestas a períodos excepcionalmente secos mientras que en el Delta la provisión de agua se mantuvo mediante riego (Figura 1). Esta reducción en el crecimiento en altura implica que la enfermedad afecta a las plantas aun cuando probablemente sufrieron estrés por sequía (Figura 1), si bien se ha reportado que los estreses bióticos pueden ser irrelevantes cuando las plantas sufren estrés abiótico severo.

La densidad básica de la madera registrada en ambos clones está en el rango de lo reportado para otros clones de *Populus* en Estados Unidos, que varía entre 290 y 460 kg m^{-3} (DeBell et al., 2002). En esos y otros clones de *Populus deltoides*, la densidad de la madera no se relaciona consistentemente con la tasa de crecimiento (Klašnja et al., 2008). En este sentido, las plantas sanas (tratadas con fungicida) del clon Onda, que crecieron más, son las que tienen mayor densidad de madera, reafirmando que no hay una relación negativa entre tasa de crecimiento y densidad de la madera. El clon Australiano 106/60 tuvo similar densidad de la madera en plantas sanas y enfermas (Figura 5). Posiblemente, la reducción en la retranslocación de nutrientes y fotoasimilados al tallo no fue afectada significativamente por la roya, dado el bajo nivel de severidad de la enfermedad, que tampoco redujo el diámetro del fuste (Figura 3). La diferencia en la densidad de la madera, como en la susceptibilidad a la roya entre los clones es debido a causas genéticas. Las variaciones observadas en nuestro experimento entre plantas sanas y enfermas del clon Onda se pueden deber a lo manifestado por Cortizo (2014) en que se deben a que la enfermedad reduce la capacidad de fijar carbono, pero también que reduce la retranslocación de fotoasimilados y nutrientes hacia el tallo. Es así, que posiblemente, las plantas enfermas

posean paredes celulares más delgadas, que redunden en menor densidad de la madera. De esta manera, pueden construir el sistema de sostén y conducción necesario para el crecimiento con menor cantidad de materia seca (Larjavaara & Muller-Landau, 2010). Sin embargo en *Pseudotsuga menziesii*, la enfermedad foliar causada por *Phaeocryptopus gaeumannii* aumenta la densidad de la madera porque aumenta la proporción de leño tardío con respecto al temprano (Johnson et al., 2005). En el caso del álamo, no existe diferenciación tan marcada entre las propiedades de los leños, y posiblemente por eso la enfermedad reduce la densidad de la madera. Consistentemente, en el clon Onda, se observó reducción en la densidad de la madera de guías de 2 años en plantas que estuvieron enfermas dos veranos en el Delta del Paraná, en comparación con plantas sanas (312 vs 323 kg m^{-3} en plantas enfermas y sanas, respectivamente) (Cortizo, 2014). Los valores de DB determinados en nuestro experimento son mayores que los reportados en Cortizo (2014), posiblemente porque la densidad de la madera puede incrementarse con la edad de los árboles (DeBell et al., 2002). Sin embargo, en cuatro ambientes diferentes en Canadá, la DB de un clon de *P. deltoides* a los 3 años de edad, varió entre 470 y 380 kg m^{-3} ; posteriormente, las diferencias se fueron minimizando con la edad de los árboles, y a los 10 años en todos los sitios la DB fue de 380 kg m^{-3} (Pliura et al., 2006).

Otro factor que puede explicar la mayor DB en nuestro experimento es que en ambientes más secos la densidad de madera es mayor que en climas más húmedos (Goyal et al., 1999). En este sentido, los estaqueros utilizados por Cortizo, 2014, están instalados en el Delta del Río Paraná, donde la disponibilidad de agua es mayor que en la estación experimental Ing. Agr. Julio Hirschhorn. Otra causa de la marcada diferencia en la DB entre guías, que se producen en estaqueros con plantas creciendo con poco espaciamiento, y plantaciones más espaciadas, es la diferente competencia entre individuos. En un

estaquero, el cierre de canopeo se produce tempranamente, y el sombreado estimula el alargamiento de los entrenudos y por lo tanto, el crecimiento en altura. Al contrario, en nuestro experimento, las plantas estaban más distanciadas, sin competencia entre individuos, con radiación directa en la totalidad de la copa. La buena radiación torna innecesario el alargamiento de los tallos. A su vez, la mayor exposición al viento en plantaciones más espaciadas, incrementa el estrés mecánico, que propicia el aumento de la densidad de la madera para reducir el riesgo de quiebre y para mantener la posición vertical del árbol (Fournier et al., 2013).

CONCLUSIONES

La infección con roya durante cuatro veranos redujo el crecimiento en altura de los dos clones, y el crecimiento en diámetro, la acumulación de materia seca y la densidad de la madera en el clon más susceptible. La densidad de la madera es independiente del DAP. El clon más susceptible es el que presenta mayor crecimiento cuando se mantiene sano, pero sufre fuerte reducción en crecimiento por la roya. El clon menos susceptible tiene un crecimiento similar tanto sano como enfermo.

Se requieren más evaluaciones para cuantificar el daño de la enfermedad acumulado hasta el turno, ya que la roya podría tener efecto negativo en el crecimiento del clon más tolerante a más largo plazo.

Agradecimientos

Agradecemos al personal de la Estación Experimental J.J. Hirschhorn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata por el espacio cedido para el experimento y por el mantenimiento del ensayo. Este proyecto se realizó con el financiamiento PICT-2007-00487. FG es becario del CONICET, MER es contratada por en PIA 12028 (UCAR, MAGyP), SM es técnico del CONICET, SC es investigadora del INTA y docente de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, CG es investigadora del CONICET y docente de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

BIBLIOGRAFÍA

Achinelli, F. 2014. Salicáceas en la pampa arenosa y la pampa ondulada: situación actual y perspectivas. En Actas de las Jornadas de Salicáceas y IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina, La Plata, Argentina P.

Arango, A., G. Hoyos, J. Felipe, C. Vásquez & A. María. 2001. Variación de la densidad básica de la madera de eucalyptus grandis en arboles de siete años de edad. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 54 (1 y 2) 1275-1284.

Ball, J., J. Carle & A. Del Lungo. 2005. Contribución de álamos y sauces a la silvicultura sostenible y al desarrollo rural. Unasylva 221(56):3.9.

Borodoski, E.D. 2006. Álamos y sauces en el Delta del Paraná: situación del sector y silvicultura. En Actas de las I Jornadas de Salicáceas, Buenos Aires, Argentina P.

Casaubon, E., G. Cueto, K. Hodara & A. Gonzalez. 2002. Interacciones entre sitio, plaga y una enfermedad del fuste en una plantación de Populus deltoides cv. Catfish-2 en el bajo delta del Río Paraná (Argentina). Invest. Agr.: Sist. Recur. For 11.

Cooke, J.E.K. & M. Weih. 2005. Nitrogen storage and seasonal nitrogen cycling in Populus: bridging molecular physiology and ecophysiology. New Phytologist 167(1):19-30.

Cortizo, S. 2005. Subprograma Álamos en el Delta del Paraná. En: Mejores árboles para más forestadores. el programa de producción de material de propagación mejorado y el mejoramiento genético en el Proyecto Forestal de Desarrollo. SAGPyA-INTA pp. 137-161.

Cortizo, S. 2014. Efecto de la roya del álamo sobre el crecimiento del año y del rebrote de la siguiente temporada en tres clones con distinta susceptibilidad y arquitectura del canopeo. Tesis de maestría en Producción Vegetal. Universidad de Buenos Aires. 113pp

Cortizo, S. & S. Monteverde. 2011. Nuevos genotipos para diversificar las plantaciones de álamo del Delta del Paraná. Resultados de un ensayo comparativo clonal. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina.

Cortizo, S., J. Bozzi, C. Graciano & J.J. Guiamet. 2011. Efecto de la roya sobre el desarrollo de raíces en estaqueros de Populus deltoides. En Actas del III Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina, Neuquén, Argentina P.

DeBell, D.S., R. Singleton, C. Harrington & B.L. Gartner. 2002. Wood density and fiber length in young Populus stems: relation to clone, age, growth rate, and pruning. Wood Fiber Sci 34:529-539.

Di Renzo, J.A., F. Casanoves, L.A. Gonzalez, E.M. Tablada, M.d.P. Díaz, C.W. Robledo & M.G. Balzarini. 2005. Estadística para las ciencias agropecuarias. pp. 347

Fournier, M., J. Diouhá, G. Jaouen & T. Almeras. 2013. Integrative biomechanics for tree ecology: beyond wood density and strength. Journal of Experimental Botany 64(15):4793-4815.

Goyal, G.C., J.J. Fisher, M.J. Krohn, R.E. Packwood & J.R. Olson. 1999. Variability in pulping and fiber characteristics of hybrid poplar trees due to their genetic makeup, environmental factors, and tree age. TAPPI J 82.

Johnson, G.R., A.T. Grotta, B.L. Gartner & G. Downes. 2005. Impact of the foliar pathogen Swiss needle cast on wood quality of Douglas-fir. Canadian Journal of Forest Research 35(2):331-339.

Klašnja, B., S. Orlovi, Z. Gali, M. Dreki, V. Vasi & A. Pilipovi. 2008. Poplar biomass of high density short rotation plantations as raw material for energy production. Wood Res 53

Larjavaara, M. & H.C. Muller-Landau. 2010. Rethinking the value of high wood density. Rethinking the value of high wood density. Functional Ecology 24(4):701-705.

- Laurans, F. & G. Pilate.** 1999. Histological aspects of a hypersensitive response in poplar to *Melampsora larici-populina*. *Phytopathology* 89(3):233-238.
- Lucero, G.S., P.H. Pizzuolo, N.E. Riu, M.V. Hapon & R. Pérez Hurtado.** 2010. Nueva especie de *Melampsora* sobre *Populus deltoides* Stoneville 70 en Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo* 43(1):231-236.
- Luquez, M.V., F. Achinelli & S. Cortizo.** 2012. Evaluation of flooding tolerance in cuttings of *Populus* clones used for reforestation at the Paraná River Delta, Argentina. *Southern Forests* 74:61-70.
- Major, I., M.C. Nicole, S. Duplessis & A. Seguin.** 2010. Photosynthetic and respiratory changes in leaves of poplar elicited by rust infection. *Photosynthesis Research* 104(1):41-48.
- May-De Mio, L.L., L. Amorim & L.M. Moreira.** 2006. Progreso de epidemias e avaliação de danos da ferrugem em clones de Álamo. *Fitopatologia Brasileira* 31:133-139.
- Miranda, M., S.G. Ralph, R. Mellway, R. White, M.C. Heath, J.r. Bohlmann & C.P. Constabel.** 2007. The Transcriptional Response of Hybrid Poplar (*Populus trichocarpa* x *P. deltoides*) to Infection by *Melampsora medusae* Leaf Rust Involves Induction of Flavonoid Pathway Genes Leading to the Accumulation of Proanthocyanidins. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 20(7):816-831.
- Monteoliva, S. & G. Senisterra.** 2008. Efecto del sitio, el origen y el clon sobre el crecimiento y propiedades de la madera de *Populus*. *Investigación Agraria. Sistemas y recursos forestales* 17(3):261-270.
- Monteverde, S. & S. Cortizo.** 2014. Hibridaciones intra e interespecíficas: avances en la obtención de variabilidad genética del Programa de Mejoramiento de Álamo de INTA. VI Reunión GEMFO:32-36.
- Nosetti, M.J. & N. Naves.** 2013. La potencialidad de la producción forestal bajo riego. *Producción Forestal*: 12-13.
- Pliura, A., S. Zhang, J. Bousquet & J. Mackay.** 2006. Age trends in genotypic variation of wood density and its intra-ring components in young poplar hybrid crosses. *annals of Forestry Science* 63.
- Siwecki, R. & K. Przyby.** 1981. Water relations in the leaves of poplar clones resistant and susceptible to *Melampsora larici-populina*. *European Journal of Forest Pathology* 11(5-6):348-357.
- Spiers, A.G. & D.H. Hopcroft.** 1988. Penetration and infection of poplar leaves by urediniospores of *Melampsora larici-populina* and *Melampsora medusae*. *New Zealand Journal of Botany* 26(1):101-111.
- Steenackers, J., M. Steenackers, V. Steenackers & M. Stevens.** 1996. Poplar diseases, consequences on growth and wood quality. *Biomass and Bioenergy* 10(5-6):267-264.
- Tabor, G.M., T.L. Kubisiak, N.B. Klopfenstein, R.B. Hall & H.S.M. McNabb.** 2000. Bulk Segregant Analysis Identifies Molecular Markers Linked to *Melampsora medusae* Resistance in *Populus deltoides*. *Phytopathology* 90(9):1039-1042.
- Thomas, E. & S. Cortizo.** 2014. Nuevos genotipos de *Populus* permitirán aumentar la disponibilidad de clones para forestar en los valles del norte de la Patagonia. En *Actas de las Jornadas de Salicáceas y IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina, La Plata, Argentina*. P.
- Thomas, E. & A. Garcés.** 2011. Crecimiento inicial de 13 clones de Álamo en el Valle Medio del río Negro. En *Actas del III Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Neuquén, Argentina*. P.
- Vrancken, K., M. Holtappels, H. Schoofs, T. Deckers & R. Valcke.** 2013. Pathogenicity and infection strategies of the fire blight pathogen *Erwinia amylovora* in Rosaceae: State of the art. *Microbiology* 159:823.
- Widin, K.D. & A.L. Schipper.** 1981. Effect of *Melampsora medusae* leaf rust infection on yield of hybrid poplars in the north-central United States. *European Journal of Forest Pathology* 11(7):438-448.
- Zhang, S., S. Lu, X. Xu, H. Korpelainen & C. Li.** 2009. Changes in antioxidant enzyme activities and isozyme profiles in leaves of male and female *Populus cathayana* infected with *Melampsora larici-populina*. *Tree Physiology* 30(1):116-128.