



Facultad de Cs. Agrarias- Universidad Nacional de Cuyo
Ingeniería en Recursos Naturales Renovables



TESIS DE GRADO

Efecto del estrés hídrico en tallos de álamos y discos de hojas colonizados por *Septoria musiva*



Federico José Matías Peralta

Directora: Dra. Ing. Agr. Gabriela S. Lucero
Co-director: Dr. Ing. Agr. Pablo H. Pizzuolo

2015

AGRADECIMIENTOS

A mis papás, Néstor y Sonia, por su apoyo constante e incondicional en toda mi vida y más aún durante esta última etapa, por el esfuerzo que han realizado a lo largo de mi carrera y por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad.

A Ani, por su amor incondicional, por comprenderme y acompañarme en los buenos y malos momentos, por la motivación para seguir adelante y cumplir mis objetivos, y por hacer que mi vida sea cada vez mejor.

A mis hermanos, Diego y Emi, por todos los momentos compartidos y por estar siempre presentes apoyándome.

A mis abuelos, padrinos, tíos y primos, por el cariño, por los consejos y enseñanzas, por estar en los buenos y malos momentos, y por el apoyo recibido a lo largo de mi vida. Quiero agradecer especialmente a mis tíos José Luis y Adriana, y a mi abuela Lita por abrirme las puertas de su casa y dejarme convivir con ellos, haciéndome sentir como en mi casa.

A mi Directora de tesis, Dra. Gabriela Lucero, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo, por su confianza, su dedicación, por los conocimientos compartidos y por guiarme en esta última etapa de la carrera. Por su calidad como persona y por su buena predisposición a pesar de los momentos difíciles que le toco vivir durante el desarrollo de este trabajo.

A mi Co-Director, Dr. Pablo Pizzuolo, por su constante buena predisposición, por sus aportes y enseñanzas valiosas para realizar esta tesina.

A mis amigos, por los buenos momentos compartidos que jamás se olvidan y por estar presente en las situaciones difíciles, por ser los hermanos que uno elige para que lo acompañen en las diferentes etapas de la vida, llenándola de alegría y cariño.

A la familia Gil, por su apoyo, por la confianza y por los momentos compartidos.

A los evaluadores de la tesina, Nuria Riu, Silvina Pérez y María Vanda Hapon, por su tiempo dedicado en la corrección, por sus consejos y por su amabilidad.

A Joana, Vanda, Caro y otras personas de la cátedra de Fitopatología, por su amabilidad y por su buena predisposición y colaboración en el desarrollo de este trabajo y en el manejo de los elementos del laboratorio. A Carina por prestarme los sensores y por enseñarme a utilizarlos.

A todos los profesores de la facultad, por los conocimientos y herramientas que me han brindado a lo largo de la carrera.

Agradezco también al Proyecto de la Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado de la UNCuyo y al proyecto SaFo del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca por permitir la realización de esta tesis.

ÍNDICE

RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
1. LOS BOSQUES.....	7
1.1 LOS BOSQUES A NIVEL MUNDIAL.....	7
1.2 LOS BOSQUES EN ARGENTINA.....	10
2. DECAIMIENTO DE LOS BOSQUES POR ESTRÉS.....	15
2.1 PREDISPOSICIÓN	15
2.2 ESTRÉS Y PREDISPOSICIÓN.....	16
3. LAS SALICÁCEAS	19
3.1 LAS SALICÁCEAS A NIVEL MUNDIAL	20
3.2 LAS SALICACEAS EN ARGENTINA	23
3.3 LAS SALICACEAS EN MENDOZA	24
3.3.1 EL ALAMO	26
3.3.1.1 PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	30
4. CANCROSIS DEL ÁLAMO	33
4.1 AGENTE CAUSAL Y DISTRIBUCIÓN	33
4.2 TAXONOMÍA Y CARACTERIZACIÓN	34
4.3 DAÑOS PROVOCADOS POR <i>Septoria musiva</i>	36
4.4 MEDIDAS DE CONTROL	39
OBJETIVOS	42
MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
1. UBICACIÓN DEL ESTUDIO	43
2. OBTENCIÓN DE PLANTAS	43
3. ORIGEN DEL AISLADO DE <i>Septoria musiva</i>	44

4.	TRATAMIENTO HIDRICO	44
5.	ENSAYO DE SUSCEPTIBILIDAD A LA INVASIÓN DE <i>Septoria musiva</i> EN TALLOS SEGÚN ESTRÉS HÍDRICO.....	47
6.	MEDICIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR	49
7.	ENSAYO DE SUSCEPTIBILIDAD A LA INVASIÓN DE <i>Septoria musiva</i> EN HOJAS SEGÚN ESTRÉS HÍDRICO	52
8.	FERTILIZACIÓN.....	54
9.	TEMPERATURA Y % DE HUMEDAD RELATIVA	54
	RESULTADOS	55
1.	POTENCIAL AGUA	55
1.1	Potencial agua al alba.....	55
1.2	Potencial agua a la tarde.....	56
2.	MEDICIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA INVASIÓN DE <i>Septoria musiva</i> EN TALLOS SEGÚN ESTRÉS HÍDRICO.....	57
3	MEDICIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA INVASIÓN DE <i>Septoria musiva</i> EN HOJAS SEGÚN ESTRÉS HÍDRICO	66
	DISCUSIÓN.....	71
	CONCLUSIÓN.....	76
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	ANEXOS.....	86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cantidad de plantas utilizadas por cada clon en los tratamientos realizados en el ensayo.....	47
Tabla 2: Cantidad de discos de hojas utilizados para cada clon, cada tratamiento hídrico y de inoculación.....	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa mundial de bosques.....	8
Figura 2: Clasificación de los bosques del mundo.....	9
Figura 3: Porcentaje de superficie cubierta por los principales grupos forestales cultivados en Argentina.....	14
Figura 4: Porcentaje de superficie mundial cubierta por salicáceas en bosques naturales, plantados o en sistemas agroforestales y árboles fuera de los bosques (A). Porcentaje de superficie mundial de bosques plantados de salicáceas según género (B).....	21
Figura 5: Porcentaje de superficie según los usos de las plantaciones de álamo a nivel mundial.....	22
Figura 6: Características botánicas de un álamo representativo, <i>Populus nigra</i>	29
Figura 7: A: Colonia de <i>Septoria musiva</i> con presencia de cirros rosados. B: Esquema de un picnidio de <i>S. musiva</i> con conidios ante una inminente liberación. C: Conidios de <i>S. musiva</i>	35
Figura 8: Lesiones circulares y blancas producidas por <i>Septoria musiva</i> en hojas jóvenes.....	37
Figura 9: Lesiones pequeñas, pardas y poligonales producidas por <i>Septoria musiva</i> en hojas adultas.....	37
Figura 10: Cancro producido por <i>Septoria musiva</i> en tallo joven y adulto de álamo.	38
Figura 11: Esquema representativo de los tratamientos hídricos utilizados en el ensayo.....	45
Figura 12: Foto representativa de una planta de álamo mientras es pesada en balanza electrónica.....	46
Figura 13: Medición de la longitud de un cancro utilizando calibre electrónico.....	48
Figura 14: Medición del potencial agua foliar al alba utilizando Cámara de Scholander.....	51
Figura 15: Imagen representativa de la disposición de los discos de hojas en cajas de Petri.....	53

Figura 16: Potencial agua promedio al alba (Kgf/cm ²) en hojas del clon Harvard y Conti-12, para cada combinación de tratamiento hídrico y tratamiento de inoculación (inoculado con <i>Septoria musiva</i> y testigo).....	56
Figura 17: Potencial agua promedio (Kgf/cm ²) del clon Harvard y Conti-12, para cada combinación de tratamiento hídrico y tratamiento de inoculación (inoculado con <i>Septoria musiva</i> y testigo) a la tarde.....	57
Figura 18: Longitud promedio de cancro (mm) para tallos del clon Harvard, en cada tratamiento hídrico y de inoculación (inoculado con <i>Septoria musiva</i> y testigo).....	58
Figura 19: Fotografías de cancos en tallos del clon Harvard, en los distintos tratamientos.....	59
Figura 20: Porcentaje promedio de cobertura del perímetro del tallo por parte del cancro (%) en tallos del clon Harvard, para cada combinación de tratamiento hídrico y tratamiento de inoculación (inoculado con <i>Septoria musiva</i> y testigo).....	60
Figura 21: Longitud promedio de cancro (mm) para tallos del clon Conti-12, en cada tratamiento hídrico y de inoculación (inoculado con <i>Septoria musiva</i> y testigo).....	61
Figura 22: Fotografías de cancos en tallos del clon Conti-12, en los distintos tratamientos.....	62
Figura 23: Porcentaje promedio de tallo rodeado por el cancro (%) para tallos del clon Conti-12, para cada tratamiento hídrico y de inoculación (inoculado con <i>Septoria musiva</i> y testigo)	63
Figura 24: Longitud promedio de cancro (mm) en tallos testigos (izquierda) e inoculados (derecha) con <i>Septoria musiva</i> del clon Harvard y Conti-12, en cada tratamiento hídrico.....	64
Figura 25: Porcentaje promedio de tallo rodeado por el cancro (%) en tallos testigos (izquierda) e inoculados (derecha) con <i>Septoria musiva</i> del clon Harvard y Conti-12, para los diferentes tratamientos hídricos.....	66
Figura 26: Porcentaje promedio de área necrótica (%) en discos de hojas para el clon Harvard, en cada combinación de tratamiento hídrico y de inoculación (inoculado con <i>Septoria musiva</i> y testigo).....	67
Figura 27: Porcentaje promedio de área necrótica (%) en discos de hojas para el clon Conti-12, en cada tratamiento hídrico y de inoculación (inoculado con <i>Septoria musiva</i> y testigo).....	68
Figura 28: Fotografías de ensayo de discos de hojas para el clon Conti-12.....	69
Figura 29: Porcentaje promedio de área necrótica (%) en discos de hojas para el clon Harvard y Conti-12, en cada tratamiento hídrico y de inoculación: testigo (gráfico A) e inoculado con <i>Septoria musiva</i> (gráfico B).....	70

RESUMEN

En Mendoza, el cultivo del álamo representa la actividad forestal de mayor importancia dentro de los bosques cultivados bajo riego. La superficie cultivada con estos se estima que alcanza aproximadamente unas 16.000 ha incluyendo las plantaciones en macizo y las plantaciones en línea o cortinas. El microorganismo patógeno *Septoria musiva* es el agente causal de una de las enfermedades con mayor influencia en la cantidad y calidad de la madera producida por los álamos, el cual se manifiesta produciendo manchas foliares y canchros en troncos y ramas. El sitio y las condiciones meteorológicas adversas, y así como otros agentes de estrés, tales como plagas de insectos, pueden aumentar la incidencia y severidad de la infección por uno o más patógenos. Durante las últimas décadas, los daños causados por estrés hídrico en álamos se están incrementando en varios países, produciendo decaimiento de árboles, ataque de parásitos oportunistas y muerte de plantas. Considerando la importancia del cultivo de álamos en Mendoza y a nivel nacional, sumado al hecho que *Septoria musiva* es un patógeno endémico en la región provocando grandes pérdidas económicas, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del estrés hídrico en la colonización de tallos y hojas de clones de *Populus spp.* inoculados por *Septoria musiva*. Los clones de álamo Harvard y Conti-12 fueron sometidos a tres niveles de estrés hídrico en invernadero (lámina de reposición del 90, 70, 50 % del agua disponible). Luego la mitad de las plantas de cada clon fueron inoculadas con un aislado de *Septoria musiva* y la otra mitad fueron utilizadas como testigos. La respuesta al patógeno se midió 95 días después, como longitud promedio de cancro y porcentaje promedio del perímetro del tallo afectado por la lesión. Los valores para estas variables fueron mayores cuando aumento el nivel de estrés hídrico para ambos clones. También se llevó a cabo un ensayo de disco de hojas, utilizando hojas de las plantas sometidas a los diferentes niveles de estrés. Estos fueron colocados en cajas de Petri e inoculados con *Septoria musiva* y sus respectivos testigos con agua estéril. Los clones mostraron una respuesta diferencial al estrés hídrico. En Harvard el porcentaje promedio de área necrótica en hojas aumentó cuando el agua disponible para la planta fue mayor, en cambio en el Clon Conti-12 sucedió lo contrario. Esta investigación aporta información valiosa para el manejo de la salud de las plantaciones forestales de álamo. La información generada en este trabajo resulta de máxima utilidad para los productores, los cuales deberían tomar los recaudos necesarios en el manejo del agua en las plantaciones de modo de disminuir el efecto del estrés hídrico. Situación ésta que puede provocar aumento de la susceptibilidad a la enfermedad por parte de las plantas. Este conocimiento permitirá a los productores maximizar los beneficios del cultivo y reducir al mínimo el riesgo a canchros.

Palabras claves: *Populus*, cancro, clon, Harvard, Conti-12, susceptibilidad.

INTRODUCCIÓN

1. LOS BOSQUES

Los bosques y las actividades forestales han sido fundamentales en el desarrollo de la civilización moderna, la historia de los seres humanos está fuertemente vinculada a la utilización de los bosques del planeta y sus múltiples productos (FAO, 2012a). Estos brindan una amplia y diversa gama de beneficios sociales y económicos que van desde valores económicos fácilmente cuantificables a servicios y contribuciones a la sociedad que son menos tangibles. De los bosques se extraen múltiples productos, que comprenden desde madera para la construcción, leña, hasta alimentos (frutos, setas, plantas comestibles, caza), forraje y otros productos forestales no maderables (PFNM). Los productos más importantes cuantitativamente son la madera en rollo para uso industrial y leña, y entre los productos forestales no maderables se destacan los alimentos y el forraje (FAO, 2010a). Además de la amplia gama de productos forestales que aportan los bosques naturales y las plantaciones forestales fundamentales para el bienestar de la humanidad, las plantas cumplen un rol importante como sustento de la vida en el planeta a través de sus funciones ecológicas, de regulación del clima y de los recursos hídricos y sirviendo de hábitat a plantas y animales. También los bosques brindan oportunidades para la recreación, el bienestar espiritual y otros servicios (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, 2013).

1.1 LOS BOSQUES A NIVEL MUNDIAL

La superficie cubierta por bosques en el mundo es de aproximadamente 4000 millones de hectáreas, lo que corresponde al 31 % de la superficie total de la tierra o a un promedio de 0,6 hectáreas per cápita (FAO, 2011). Dicha área de bosques no se

distribuye de manera homogénea en el planeta: Europa (incluyendo a la Federación Rusa) contiene el 25 % del área total de bosques, seguida por Sudamérica con el 21 % y Norteamérica y Centroamérica abarcando un 17 % (Figura 1) (FAO, 2010a).

El crecimiento demográfico y el incremento en la demanda de alimentos, fibras y combustibles han generado aumento en la manipulación de la naturaleza, con una de las modificaciones antropogénicas más generalizada e importante, como es el desmonte de bosques (FAO, 2012a). Si bien el ritmo de deforestación de los últimos años da señales de disminución, pasando de 16 millones de hectáreas anuales en la década de los noventa a aproximadamente 13 millones de hectáreas en la última década, aun así estas cifras siguen siendo alarmantes. Esta disminución de la deforestación se debe, por una parte a la caída en la tasa de desmontes propiamente dicha y otra parte a un aumento en la superficie de bosques por plantación o siembra y/o expansión natural de los ya existentes (FAO, 2010a).

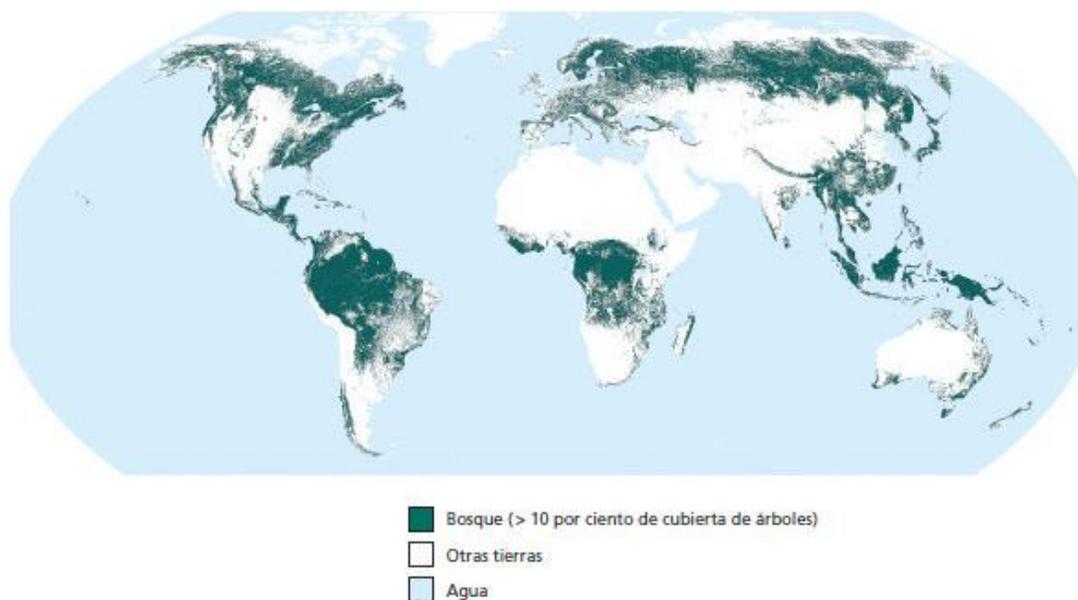


Figura 1: Mapa mundial de bosques (FAO, 2010a).

En el mundo, el área total de bosques se encuentra clasificada en bosques primarios, bosques naturales y bosques establecidos mediante plantación o siembra. En el primer grupo se encuentran los bosques constituidos por especies nativas en el que no hay muestras claramente visibles de actividad humana y cuyos procesos ecológicos no se ven apreciablemente alterados, abarcando el 36 % de la superficie total de bosques. El segundo grupo comprende el 57 % de la superficie y son todos aquellos que se regeneran de manera natural y muestra señales visibles de actividad humana. Y en el último grupo, con el 7 % de la superficie (264 millones de hectáreas) se incluyen a aquellos bosques establecidos por plantación o siembra (FAO, 2010a). La clasificación de los bosques del mundo se puede observar en la figura 2.

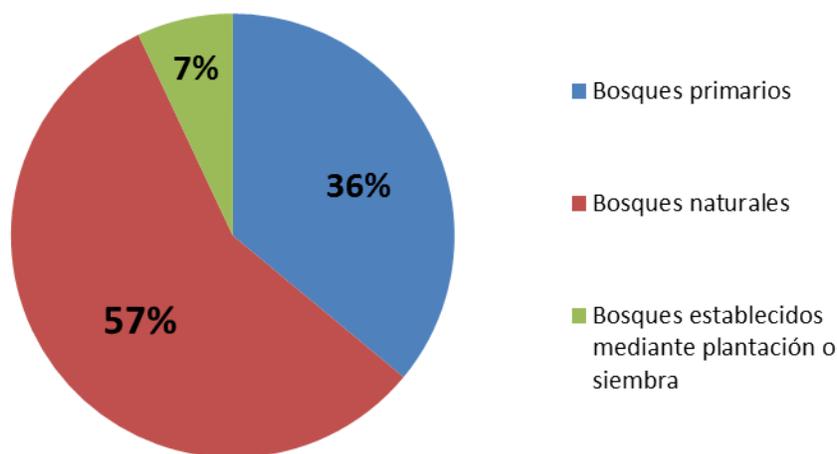


Figura 2: Clasificación de los bosques del mundo, según FAO (2010a).

Los cambios producidos en las áreas de bosques a través del tiempo, son un índice de la demanda de tierras para uso forestal y otros usos. El área de bosque primario ha descendido en más de 40 millones de hectáreas desde el año 2000. Sin embargo, algunos países están protegiendo parte de sus bosques naturales frente a cualquier tipo de intervención. A su vez, el área de bosques plantados está aumentando a razón de unos 5 millones de hectáreas anuales, principalmente por forestación. Esto posibilita a

que en el futuro estos bosques cubran una mayor proporción de la demanda de madera, aliviando así la presión sobre los bosques primarios y otros bosques regenerados naturalmente (FAO, 2010a).

Aproximadamente, el 30 % de los bosques (cerca de 1.200 millones de hectáreas) se destinan a la producción de productos forestales maderables y no maderables como función primaria. Otras 949 millones de hectáreas (el 24 %) han sido designadas para usos múltiples, que en la mayoría de los casos incluyen la producción de madera y de productos forestales no maderables. El área designada en su mayoría para funciones productivas ha descendido en más de 50 millones de hectáreas desde 1990, porque han sido designados para otros fines. Dicha reducción en el área de bosque, refleja la dependencia cada vez mayor de los bosques plantados y naturales para la producción de madera y un cambio de tendencia en la asignación del destino de la producción para usos múltiples a medida que aumenta la demanda de otros servicios (FAO, 2010a). Se espera, pues, que los bosques cultivados contribuyan cada vez más al suministro mundial de madera, fibra, combustible y productos forestales no maderables (así como a la protección del suelo, los recursos hídricos y otras funciones), y que este cambio reduzca la presión actual sobre los bosques naturales. El efecto de esta evolución en los mercados de madera tendrá que ser considerada por los responsables de las políticas, por planificadores y por los encargados de la gestión forestal con la ayuda de estudios de perspectivas que evalúen la futura aportación de los bosques plantados a los servicios económicos, sociales y ambientales (FAO, 2010a).

1.2 LOS BOSQUES EN ARGENTINA

Argentina cuenta actualmente con aproximadamente 33,2 millones de hectáreas de bosques nativos y poco más de 1,1 millones de hectáreas de plantaciones forestales,

principalmente de especies exóticas de rápido crecimiento (Comisión Nacional del Álamo Argentina, 2012). A la inversa de lo que sucede con los bosques nativos, en general, la superficie de bosques plantados se ha incrementado en las últimas décadas (FAO, 2010b).

La cadena forestal-industrial de este país incluye al sector forestal primario nativo y de plantación (producción de semillas, plantines, implante, servicios forestales, subproductos); a las actividades industriales que son la madera aserrada, manufacturas, tableros reconstituidos, chapas, contrachapados, partes y muebles (transformación física de la madera) y la pasta celulósica, papel y cartón (transformación química de la madera). En la producción primaria se pueden identificar dos segmentos claramente diferenciados. Por un lado la cadena que proviene de los bosques nativos y por otro la que provienen de bosques plantados. En Argentina, la madera proveniente de bosques nativos se orienta principalmente a la obtención de leña, postes y durmientes (en el caso del quebracho) y en menor medida, de rollizos destinados a la fabricación de muebles y otras manufacturas como pisos y tableros (en el caso de la lenga y el algarrobo). Por su parte, los bosques plantados – principalmente coníferas, eucaliptos y salicáceas – tienen como principal destino la producción de rollizos y la industria de la madera triturada, fundamentalmente para la elaboración de pasta de papel-celulosa y tableros (Min. de Cs., Tecnología e Innovación Productiva, 2013).

Los problemas ocasionados por la deforestación de bosques naturales y la necesidad de aumentar la producción de madera proveniente de bosques plantados, es una oportunidad para países como Argentina con ventajas comparativas evidentes. Dichas ventajas respecto a otros países, se evidencian fundamentalmente en que las plantaciones forestales presentan altas tasas de crecimiento, similares o mejores a la de

países con un fuerte sector forestal, tales como Chile y Nueva Zelanda. Además, la superficie de tierras forestables de Argentina supera ampliamente a la que cada uno de esos países tiene forestada hasta el día de hoy. A este hecho se suman los competitivos costos de forestación, el avance en programas de mejora genética tanto de especies nativas como de exóticas, todas ellas condiciones diferenciales para convertirse en un importante país forestal (Min. de Cs., Tecnología e Innovación Productiva, 2013).

En Argentina la política a nivel nacional sobre la gestión de los recursos forestales depende de dos organismos distintos. Por un lado, los bosques nativos están bajo la órbita de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, a través de su Dirección de Bosques; mientras que las plantaciones forestales están bajo la órbita de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos a través de la Dirección de Producción Forestal (FAO, 2010b).

La política forestal actual en la República Argentina se encuentra dirigida al desarrollo de la actividad forestal atendiendo a problemáticas económicas, sociales y ambientales. Actualmente, continúa en vigencia el régimen de promoción a la forestación implementado por la Ley Nacional 25.080 de Inversiones en Bosques Cultivados del año 1998, la cual fue luego prorrogada por 10 años más por la Ley N° 26.432 en el año 2008. Estas leyes promueven las inversiones en emprendimientos forestales y foresto-industriales con beneficios económicos y fiscales. Las ventajas económicas consisten en apoyo financiero no reintegrable por hectárea forestada, variable según la zona, la especie y tamaño del emprendimiento para actividades silvícolas como poda, raleo, manejo del rebrote y enriquecimiento de bosque nativo. Dentro de los beneficios fiscales se encuentran el de estabilidad fiscal, la devolución anticipada del impuesto al valor agregado, un régimen especial de amortizaciones para inversiones en bienes de capital,

exención de impuestos patrimoniales, exención de impuestos que graven la aprobación de estatutos, contratos, sus ampliaciones, modificaciones, etc., para la organización del emprendimiento y el avalúo de reservas. Con esta ley, desde su sanción hasta fin del año 2011, se lograron 301.600 ha de forestación con distintas especies de pinos, eucaliptos, álamos, sauces y latifoliadas varias (Comisión Nacional del Álamo Argentina, 2012).

Como se mencionó anteriormente, en Argentina existen poco más de 1,1 millones de hectáreas de plantaciones forestales con especies exóticas de rápido crecimiento como ser coníferas, eucaliptos y salicáceas. El porcentaje de superficie de bosques implantados con coníferas es de 54% de la superficie total, con eucaliptos el 32% y con salicáceas (sauces y álamos) el 9%. El restante 5% está compuesto por una variedad de especies, principalmente latifoliadas (árboles de hoja ancha, como paraíso, grevillea, etc.) (Min. de Cs., Tecnología e Innovación Productiva, 2013)(Figura 3). Las coníferas abundan particularmente en las provincias de Misiones y Corrientes, los eucaliptos se concentran en las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos y Corrientes, y las salicáceas en las provincias de Buenos Aires (Delta), Mendoza y Río Negro. Es decir que en su mayoría las plantaciones se encuentran concentradas en la Mesopotamia, Provincia de Buenos Aires y en menor medida en la región de Cuyo. Aunque claramente, la principal región forestal es la Mesopotamia (Misiones, Corrientes y Entre Ríos), concentrando más del 60% del total de bosques cultivados (Bercovich, 2000).

Las principales especies de coníferas utilizadas en las forestaciones del país son fundamentalmente *Pinus elliotii* y *Pinus taeda* y en menor medida otras especies como *Araucaria angustifolia*, *Pinus ponderosa* y *Pseudotsuga menziesii*. En lo que a especies del género *Eucalyptus* se refiere, *Eucalyptus grandis* y *E. saligna* son los más plantados; luego, en menor medida, *E. camandulensis*, *E. tereticornis*, *E. viminalis* y *E. globulus*. Por

último, diferentes clones de *Populus deltoides* y *Populus x canadensis* son los cultivares más representativos entre los álamos plantados; con relación a los sauces se destacan *Salix babilónica* var. *sacramenta*, *S. nigra* y los híbridos de *S. babilónica* x *S. alba* y *S. matsudana* x *S. alba* (Beale & Ortíz, 2013).

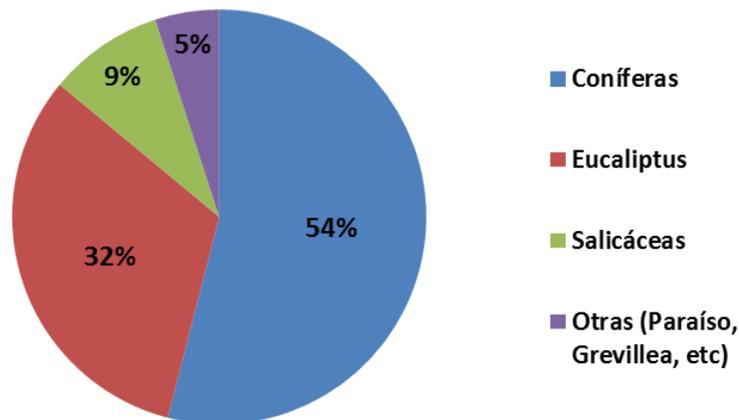


Figura 3: Porcentaje de superficie cubierta por los principales grupos forestales cultivados en Argentina, según Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (2013).

El álamo es un forestal muy usado, dado que, representa una especie de rápido crecimiento, de fácil propagación vegetativa y con la capacidad de adaptarse a una amplia gama de ambientes. Son fáciles de cultivar y constituyen un componente importante de los sistemas agroforestales. Por estas ventajas son muy utilizadas ya que permiten cubrir la demanda de madera permitiendo frenar la devastación a la que son sometidos muchos de los bosques nativos del mundo. Además suministran una amplia gama de productos madereros (madera en rollo, postes y estacas, pasta y papel, tableros reconstituidos, contrachapados, chapas, madera aserrada, jaulas de embalaje, palet y muebles), productos no madereros (forraje, leña) y servicios (abrigo, sombra y protección de suelo, agua, cultivos, ganado y viviendas). Asimismo desempeñan un papel importante en la

fitorremediación de tierras degradadas (eliminación de metales pesados de suelos contaminados), la rehabilitación de ecosistemas frágiles (en especial contra la lucha a la desertificación) y la restauración de paisajes forestales. A menudo se integran con la agricultura, horticultura, viticultura y apicultura (Ball *et al.*, 2005).

En Mendoza, el cultivo del álamo representa la actividad forestal de mayor importancia dentro de los bosques cultivados bajo riego de la provincia.

2. DECAIMIENTO DE LOS BOSQUES POR ESTRÉS

Los bosques constituyen comunidades dinámicas y complejas de árboles vivos y muertos que interactúan entre sí y con una gran variedad de factores ambientales, humanos y otros como patógenos, parásitos, manteniendo un equilibrio (Manion y Lachance, 1993). Este equilibrio puede romperse en cualquier etapa de desarrollo de los bosques, ya sea debido a la acción nociva de alguno de sus componentes vivos (factores bióticos) o por factores ambientales adversos (factores abióticos). Independientemente del origen de la perturbación, pueden ocasionar impactos importantes en la salud del bosque, amenazando su crecimiento, calidad e incluso subsistencia (Gómez *et al.*, 2011).

El decaimiento de los bosques por estrés es un fenómeno complejo, causado por un conjunto de factores abióticos y bióticos que interactúan entre sí, sucesivamente, en modo e intensidad diferente. Todo ello causa un deterioro progresivo del estado fisiológico de las plantas, hasta llevarlas a la muerte (Lucero, 2000).

2.1 PREDISPOSICIÓN

En el contexto de enfermedades de plantas y animales, el término predisposición hace referencia a la susceptibilidad de un organismo de ser infectado. Muchos

organismos son capaces de invadir tejidos, solo después de que éstos ya han sido alterados o predispuestos de alguna forma. Las interacciones huésped-estrés-saprófito/patógeno secundario en el decaimiento de los árboles de bosques, proveen claros ejemplos de predisposición en el sentido fitopatológico del término. Los árboles estresados, en ausencia de ataque de organismos, generalmente se recuperan una vez que el estrés disminuye, es decir recuperan su anterior estado de salud y su vigor. Sin embargo, la etapa más crítica en el desarrollo de las enfermedades que producen el decaimiento de los árboles es cuando la invasión por parte de organismos secundarios a los tejidos vitales, compromete la recuperación del individuo (Houston, 1993).

Aunque la capacidad innata de las plantas huéspedes para responder a la presencia de un patógeno o sus metabolitos está determinada genéticamente, su disposición a la enfermedad puede ser modificada por factores ambientales, que aumentan o disminuyen su susceptibilidad (Barnett, 1959; Yarwood & Sylvester, 1959). En general, los factores ambientales suelen aumentar la susceptibilidad a las enfermedades (Schoeneweiss, 1975).

2.2 ESTRÉS Y PREDISPOSICIÓN

Por estrés, en Fisiología y Patología vegetal, se entiende a cualquier factor de agresión de origen biótico o abiótico que causa anomalías en el normal funcionamiento fisiológico de una planta. Pudiendo causar daños reversibles o irreversibles, y en cualquier caso, limitando la capacidad de crecimiento y desarrollo del individuo. En la naturaleza, las plantas suelen ser objeto de un gran número de factores de estrés causado por ataques de patógenos o condiciones anormales de temperatura, disponibilidad hídrica, composición de la atmósfera o del suelo (respectivamente estrés biótico, térmico, hídrico, contaminantes fitotóxicos y estrés nutricional) (Lucero, 2000).

Cada uno de los principales factores de estrés asociados con el decaimiento de los árboles altera los tejidos de diferentes maneras. En muchos casos, los cambios provocados por las situaciones de estrés a nivel bioquímicos o fisiológicos, morfológicos y de los mecanismos de resistencia, no son conocidos (Houston, 1993).

Las plantas sometidas a distintos tipos de estrés provocan diferentes patrones de invasión para un mismo patógeno. Esto sugiere que la naturaleza, la oportunidad y la magnitud de los cambios inducidos por el estrés no sólo determina la forma y el grado en que se alteran los tejidos, sino también, cuándo se convierten en susceptibles, a qué organismos y con qué consecuencias (Houston, 1993). Investigaciones han demostrado que el sitio y las condiciones meteorológicas adversas, así como algunas plagas, pueden aumentar la incidencia y severidad de la infección por uno o más patógenos (Ostry & Berguson, 1993).

Durante las últimas décadas, el estrés hídrico es el factor más importante que provoca decaimiento de árboles, que luego son afectados por parásitos oportunistas que llevan a muerte las plantas, causando grandes daños en varios países y diferentes especies forestales (Anselmi *et al.*, 2006). El estrés hídrico se atribuye generalmente a condiciones de sequía, es decir, a períodos de ausencia de precipitaciones, como para inducir la escasez de agua y reducir la capacidad de crecimiento de las plantas. Sin embargo, se produce en todo momento, cuando las pérdidas por transpiración exceden la absorción reduciendo el contenido de agua en los tejidos, como cuando hay pérdida de turgencia celular por bajas temperaturas del suelo, excesos de solución salina, etc. (Kozlowski, 1968).

El déficit hídrico en las plantas conduce a la inhibición del crecimiento y de la fotosíntesis (Salisbury & Ross, 2000), por disminución del crecimiento celular y por ende,

multiplicación celular; reducción en la síntesis de proteínas y sustancias constitutivas de las paredes celulares; aumento del nivel de ácido abscísico (ABA) y disminución de citocininas. La inhibición de la fotosíntesis se produce por cierre estomático, disminución de la asimilación de CO₂ y la actividad de los cloroplastos; acumulación de solutos, prolina y azúcares; disminución de la respiración y transpiración; aceleración de la senescencia de la hoja y aumento prematuro de la edad de la planta (Kozlowski, 1979; Salisbury & Ross, 2000; Taiz & Zeiger, 2006).

Las plantas presentan diversos mecanismos de resistencia a la sequía, los cuales pueden agruparse en tres categorías:

- (1) **Escape:** este mecanismo incluye a aquellas plantas que ajustan su ciclo vital fuera de los períodos de déficit hídrico (plantas anuales) (Taiz & Zeiger, 2006)
- (2) **Evitación:** la planta responde a la sequía reduciendo el impacto del factor de estrés para evitar o postergar la deshidratación, aumentando la capacidad de absorción de agua gracias al incremento de la superficie radicular.
- (3) **Tolerancia:** es la capacidad de resistir de forma reversible la deshidratación de los tejidos, tolerando el ambiente adverso (Salisbury & Ross, 2000).

Mendoza se caracteriza por poseer un clima árido-semiárido donde el principal factor limitante de la productividad es el agua, esto determina que tanto cultivos agrícolas como forestales son cultivados en un ambiente con un marcado déficit hídrico la mayor parte del año, implicando así la necesidad de implementar sistemas de riego.

3. LAS SALICÁCEAS

Las Salicáceas poseen numerosas especies con una gran capacidad de adaptación a distintas condiciones ecológicas, determinando una amplia distribución en lo que a hábitat se refiere (FAO, 1980). Son nativas del hemisferio Norte, desde el círculo polar ártico hasta el paralelo 30°, solo pocas especies se encuentran en el hemisferio sur. Dentro de esta familia, los géneros más importantes, desde el punto de vista forestal son *Populus* y *Salix*, álamos y sauces, respectivamente. El género *Populus* está presente en forma esporádica en todos los bosques de la región templada del hemisferio Norte, en algunas zonas puede formar pequeños bosquetes o macizos. El género *Salix*, tiene una distribución natural más amplia, y se encuentra presentes también en el hemisferio sur, sobre todo a lo largo de ríos y torrentes (Dickmann & Kuzovkina, 2008). Las Salicáceas se encuentran clasificadas taxonómicamente dentro del Reino: Vegetal, División: Espermatófita, Clase: Dicotiledóneas, Sub-Clase: Arquiclamídeas, Orden: Salicales y Grupo: Amentiflora (García, 2002).

Las especies de dicha familia presentan dos características muy marcadas: la avidez por la luz y sus altos requerimientos de agua. Esto las ha convertido en pioneras en la colonización de las riberas fluviales, de los espacios generados por aluviones o crecidas y en los lechos de torrentes. Sitios donde normalmente son incapaces de arraigarse y prosperar otras especies forestales (Amico, 2002).

Los sauces y álamos son especies diclino dioicas, es decir presentan flores unisexuales en plantas distintas (masculinas y femeninas). En general sus hojas son alternas y caducas. Sus flores son desnudas o casi desnudas, agrupadas en racimos. Los frutos están formados por cápsulas dehiscentes, encerrando numerosas semillas

provistas de una cubierta algodonosa que les permite volar y diseminarse a largas distancias (Amico, 2002).

3.1 LAS SALICÁCEAS A NIVEL MUNDIAL

Según la Comisión Internacional del Álamo, la superficie total de álamos y sauces (Salicáceas) para el año 2012 fue de aproximadamente 95 millones de hectáreas (94.987.686 ha). Este valor relevó un incremento de la superficie, dado que para el año 2004 la superficie era de 76,6 millones de hectáreas y en el 2008 era de 79.100.000 ha (FAO, 2012b). Es decir, la superficie con Salicáceas aumentó en poco más de 15 millones de hectáreas, el 20%, en cuatro años entre el 2008 y 2012. En relación a esta cifra, los bosques nativos parecen haber aumentado en un 15 %, los bosques cultivados en un 70 % y la agrosilvicultura en un 30 %. Este aumento podría deberse a un aumento real de la superficie o al efecto de que varios países mejoraron sus relevamientos de superficies (Kollert & Borodowski, 2014).

La gran mayoría de la superficie mundial de Salicáceas - 82,5 millones de ha (86,8%)- está compuesta por álamos y sauces nativos, de los cuales, los álamos nativos abarcan 75,6 millones de ha, mientras que los sauces nativos cubren 6,8 millones de ha y otras 46.319 hectáreas representan formaciones de álamos y sauces indígenas mezclados (Figura 4, A). Los álamos y sauces plantados cubren un total de poco más 9,2 millones de ha, de las cuales más de 8,6 millones de ha (93,78%) son álamos y 572.282 ha sauces. Las plantaciones mixtas de álamos y sauces cubren 1.818 ha (Figura 4, B). En lo que respecta al empleo de álamos en los sistemas agroforestales o como árboles fuera de los bosques, la superficie cubierta es de 3,2 millones de hectáreas, para sauces en la misma categoría mencionada, se reportaron 37.324 ha y para la combinación de ambas especies 225.053 ha (FAO, 2012b).

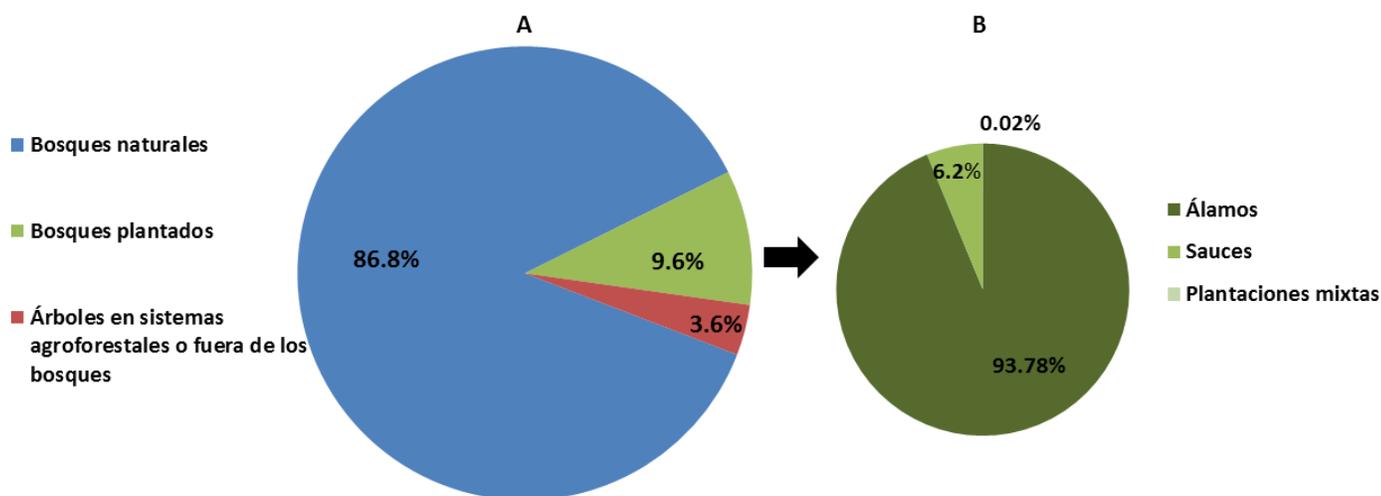


Figura 4: Porcentaje de superficie mundial cubierta por salicáceas en bosques naturales, plantados o en sistemas agroforestales y árboles fuera de los bosques (A). Porcentaje de superficie mundial de bosques plantados de salicáceas según género (B), según FAO (2012b).

El 96 % de la superficie total de álamos naturales, informados por la Comisión Internacional del Álamo, se presentan en Canadá, la Federación Rusa y los Estados Unidos. La superficie total de álamo plantada, reportada en el año 2012, como se mencionó anteriormente es de 8,6 millones de hectáreas de las cuales, 5,9 millones de hectáreas (68%) fue plantada principalmente para la producción de madera (madera en rollo industrial, leña, biomasa) y 2 millones de hectáreas (23%) para la protección del medio ambiente. El saldo de 0,7 millones de hectáreas restantes no puede ser asignado a ninguna función en particular (Figura 5). La República Popular de China posee el 87,5 % de los recursos de álamos plantados del mundo (7.570.000 ha). El área cubierta por sauces es sustancialmente menor, el 92% de ésta es de bosques naturales (6,8 millones de ha) y el 8% restante (0,6 millones de ha) es de bosques plantados (FAO, 2012b). También China es el país que posee la mayor superficie de plantaciones de sauces con un total de 437.600 ha, seguido por Argentina (56.400 ha) (Kollert & Borodowski, 2014).

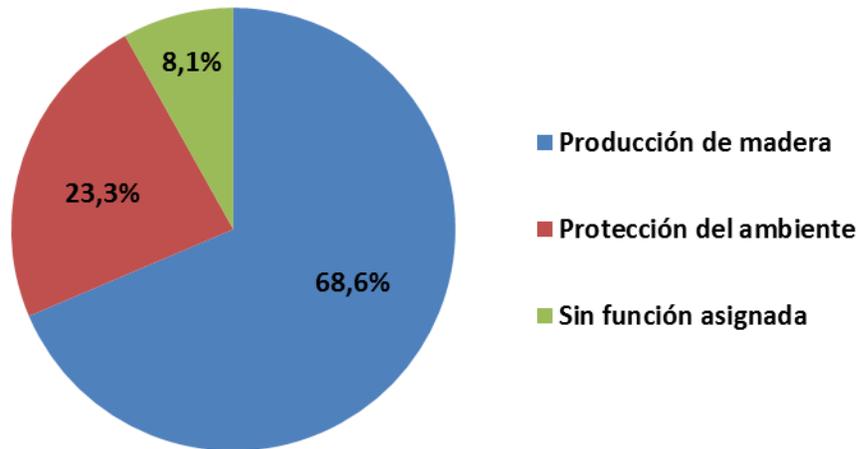


Figura 5: Porcentaje de superficie según los usos de las plantaciones de álamo a nivel mundial, según Kollert & Borodowski (2014).

Los álamos y sauces suministran una amplia gama de productos (madereros y no madereros) y de servicios (sociales y ambientales) que impactan en los sistemas de vida, de desarrollo y en la utilización sostenible de tierras por parte de las poblaciones (FAO, 2008). Proporcionan materia prima para su transformación industrial (celulosa, papel, productos de madera, madera contrachapada, chapas y otros tableros, madera aserrada, cajas de embalaje, pallets, muebles y cada vez más de la bioenergía) y valiosos productos no madereros (como forraje para el ganado, extractos medicinales, productos alimenticios) (FAO, 2012b). Sin embargo, los álamos y sauces son cada vez más valorados por la provisión de servicios sociales y ambientales, como refugio, sombra, protección del suelo, agua, cultivos, producción pecuaria y viviendas. Además, son utilizados cada vez con mayor frecuencia en la fitorrecuperación de sitios gravemente degradados, en la rehabilitación de ecosistemas frágiles, en la lucha contra la desertificación y en la restauración de paisajes forestales (a menudo integrados con la agricultura, horticultura, viticultura y apicultura). Como especies de crecimiento rápido, estos árboles absorben el carbono y como pozos de carbono pueden ser eficaces en la adaptación y en la mitigación de los efectos del cambio climático. Los álamos y sauces se

han convertido en un recurso importantísimo, que produce empleo, contribuye al desarrollo socioeconómico y a la creación de medios de vida sostenibles en muchas partes del mundo, especialmente en las áreas rurales (FAO, 2008).

Si bien hemos mencionado la gran variedad de usos que se da al producto de las Salicáceas, la madera (madera en rollo industrial, leña, biomasa) sigue siendo el objetivo principal, con 23 millones de ha reportadas a nivel mundial. De esta superficie, 18,9 millones de ha se destinan a la producción de madera en rollo industria y 4,1 millones de ha para leña y biomasa (FAO, 2012b).

3.2 LAS SALICACEAS EN ARGENTINA

La República Argentina no tiene importantes masas boscosas naturales con Salicáceas. La única Salicácea nativa es el sauce llamado criollo (*S. humboldtiana*). El mismo crece en forma aislada en bordes de ríos y arroyos y escasamente se utiliza con fines madereros (Comisión Nacional del Álamo Argentina, 2012).

La superficie de bosques en el país con especies de álamos y sauces es de 117.400 ha, correspondiendo 61.000 a álamos y 56.400 a sauces, según la FAO (2012b). Como se mencionó anteriormente, las Salicáceas, representan en Argentina el tercer cultivo forestal en importancia después de pinos y eucaliptus (Monteoliva & Senisterra, 2008).

Las áreas que presentan plantaciones de álamos, desde el punto de vista ecológico, pueden dividirse en tres: el Delta de los Ríos Paraná y Uruguay, la llanura bonaerense y los oasis bajo riego de las zonas áridas. Cada una de estas zonas presenta características diferentes que condicionan marcadamente los ciclos de producción (turnos), las técnicas de plantación, cosecha y traslado. El área de los oasis bajo riego de las zonas áridas incluye Mendoza y el Alto Valle del Río Negro (Neuquén y Río Negro).

Allí los álamos son cultivados en un ambiente con marcado déficit hídrico y suelo de textura arenosa, condiciones que hacen necesaria la provisión de agua en forma de riegos conducidos por sistemas de canalización (Comisión Nacional del Álamo s/f).

El uso de la madera en Argentina además de su transformación a diferentes productos forestales, es utilizada para otros fines tales como: la producción de bioenergía; el mejoramiento del paisaje; como cortinas rompevientos para cultivos hortícolas, frutícolas y pastizales; protección de costas por el gran desarrollo radicular que presentan; lucha contra desertificación; control de la erosión eólica a partir de su disposición como cortinas cortavientos; cortinas forestales que rodean basureros a cielo abierto y parques industriales en combinación con otras especies perennes. Además de ser usados para la fitorrecuperación de suelos y aguas contaminadas provenientes de efluentes domiciliarios (Comisión Nacional del Álamo Argentina, 2012).

El álamo cultivado mayormente en Argentina y en la gran mayoría de las plantaciones a nivel mundial es el *Populus nigra* L., el *Populus deltoides* Marsh. y sus híbridos (*P. nigra* x *P. deltoides*= *Populus* x *canadensis* y *P. deltoides* x *P. deltoides*= *P. deltoides*) (Borodowski, 2006).

3.3 LAS SALICACEAS EN MENDOZA

En Mendoza, el cultivo de salicáceas es casi exclusivamente de álamos, siendo ésta la especie que representa la actividad forestal de mayor importancia dentro de los bosques cultivados bajo riego de la provincia. La superficie cultivada se estima que alcanza aproximadamente unas 16.000 ha incluyendo las plantaciones en macizo y las plantaciones en línea o cortinas (Calderón *et al.*, 2005; Bustamante & Pérez, 2008). De esta extensión el 20 % son macizos y el resto cortinas rompevientos que protegen los

cultivos, generando un ingreso adicional para el productor por la venta de la madera. El objetivo principal del cultivo es la producción de madera para su uso industrial como aserrado o triturado (Lucero *et al.*, 2014a). Pero también el cultivo de esta especie se realiza con fines ambientales para tratamiento y reutilización de aguas residuales, fitorremediación, retención de carbono, estabilización de riberas y dunas, ornamental, forrajería y para usos energéticos (producción de energía a partir de la biomasa vegetal (Bustamante & Pérez, 2008).

Mendoza al igual que el Alto Valle de Río Negro, constituyen importantes centros agrícolas y agroindustriales donde se localizan grandes superficies de cultivos de frutales y hortalizas, como también las plantas empacadoras de frutas de mayor volumen del país que abastecen al mercado nacional como internacional. Esta estructura productiva ha desarrollado una actividad forestoindustrial que atiende la demanda de cajonería y materiales de empaque (Comisión Nacional del Álamo Argentina s/f).

La producción de madera en Mendoza es de aproximadamente 200.000 m³ por año, de la cual se destina el 50 % a la producción de madera aserrada, debobinada y cajonería y el otro 50 % a la producción de tableros aglomerados. Esporádicamente se registra un 10 % de la producción destinado a pasta, que es consumida en Bs.As. La industria del aserrío emplea madera de calidad y el destino principal es construcción, postes, vigas laminadas, mueblería, y en menor escala fabricación de tablillas para lápices. La madera debobinada es usada para contrachapados, embalajes livianos, fósforos, palitos para helados. Y la madera triturada para tableros aglomerados, OSB (tableros de virutas orientadas), pasta para papel; viruta de madera (Comisión Nacional del Álamo Argentina s/f; Calderón, 2006).

Para especies del género *Populus* en la provincia, se estima un incremento medio anual de la producción de 20 m³. ha⁻¹, con turnos de corta entre 10 y 16 años. Los clones más utilizados en las plantaciones comerciales son: clones *Populus x canadensis* 'Conti-12' y 'Guardi'; clones deltoides como 'Catfish 2' y 'Catfish 5', 'Harvard' y 'Alton'. En cortinas forestales además de los clones citados se suelen utilizar: *P. nigra* 'Italica' y 'Chile'; *Populus x canadensis* 'Veronese' y *P. simonii* en menor escala (Calderón, 2006). A pesar de ello, debido a la sensibilidad a diversas enfermedades el clon "Guardi" y *P. simonii* han sido desplazados por nuevas especies (Lucero, com. Pers).

Anualmente se obtienen cientos de nuevos híbridos de álamos, sin embargo en zonas bajo riego como en nuestra provincia, el número de clones en cultivo a nivel comercial es aún muy reducido (Bustamante & Pérez, 2008).

3.3.1 EL ALAMO

El género *Populus*, en comparación con el género *Salix*, posee relativamente pocas especies, de las cuales pueden ser agrupadas, de acuerdo a criterios morfológicos y ecológicos en categorías conocidas como Secciones: Turanga, Leucoides, Aigeiros, Tacamahaca, *Populus* y Abaso. Las principales especies dentro de cada una de las secciones son (García, 2002):

- Sección Turanga: *P. euphratica* (lugar de origen Norte y Centro de África hasta el Centro de Asia) y *P. illicifolia* (única especie nativa presente en el Hemisferio Sur, cerca del Ecuador en el Este de África).
- Sección Leucoides: *P. lasiocarpa* (China).

- Sección Aigeiros: es la más importante desde el punto de vista de la populicultura argentina, ya que contiene a las especies más cultivadas en el país *P. deltoides* y *P. nigra* y sus híbridos. *P. deltoides* está presente en el Este de Estados Unidos y Canadá. *P. nigra* posee como área de dispersión natural prácticamente toda Eurasia siendo, probablemente junto a *Populus trichocarpa*, los álamos más cultivados a nivel mundial.
- Sección Tacamahaca: Viven en latitudes elevadas. Tres especies son nativas de Norteamérica (*P. balsamifera*, *P. trichocarpa* y *P. angustifolia*) y las nueve restantes se distribuyen naturalmente por Asia (por ejemplo *P. maximowiczii*).
- Sección Populus: subdividida a su vez en dos subgrupos, los álamos temblones (Subsección Trepidae: *P. tremula* y *P. tremuloides*) y los blancos o plateados (Subsección Albidae: *P. alba*).
- Sección Abaso: *P. mexicana* (Costa Este y Oeste de México).

Las plantas del género *Populus* son deciduas o semiperennes, siendo probablemente los árboles de clima templado que crecen más rápido. Esta característica le da el atributo de ser especie pionera. Las hojas preformadas difieren, a menudo considerablemente de las neoformadas (heterofilia) en forma, textura y lobulado, siendo las primeras de gran importancia taxonómica y tienden a diferenciarse marcadamente entre las secciones (García, 2002).

Como se dijo anteriormente los álamos son una especie diclina dioica (con pies y flores de sexos separados) que, en su mayoría florecen antes de la foliación en primavera, a partir de yemas especializadas que contienen las inflorescencias preformadas. Las características de flores e inflorescencias son de importancia relevante en la definición de las secciones. Las hojas son simples, alternas, pecioladas con el

pecíolo aplanado transversalmente, estipuladas y con pelos glandulosos en los bordes, y a menudo con glándulas en la unión de la lámina y siendo el pecíolo de gran valor taxonómico. La forma es básicamente oval a triangular con lóbulos de distinta profundidad y nerviación palmatopinada. El fruto es una cápsula unilocular que se abre en dos o más valvas. Las semillas son no durmientes y de escasas reservas, por lo que si fracasan en germinar perecen en pocos días; las mismas son numerosas, muy pequeñas, y están rodeadas de largos pelos algodonosos en el momento de la dehiscencia. Los álamos son una especie de longevidad corta (menor a 100 años) y necesitan la luz para su crecimiento (heliófila). Esta última característica les permite llegar a tener una altura, con crecimiento libre, de más de 30 metros (García, 2002). Las características botánicas del género *Populus* se observan en la figura 6.

Los álamos poseen la capacidad de reproducirse tanto por semilla como en forma vegetativa. Dentro de esta última se destaca la multiplicación por estacas, raíces gemíferas, injertos, e incluso *in vitro* por cultivo de células en laboratorio. Este tipo de reproducción tiene la característica de que las plantas obtenidas son exactamente iguales, en lo que a su genética se refiere, entre sí y con la planta de la que proceden. Esto permite, a partir de un individuo con características y rendimientos destacados, obtener un número infinito de árboles con las mismas características genéticas (FAO, 1980).



Figura 6: Características botánicas de un álamo representativo, *Populus nigra*. 1. Brote vegetativo, mostrando hojas rómbicas preformadas y hojas deltoides neoformadas. 2. Brote vegetativo con yema terminal verdadera y amento masculino en antesis. 3. Flores masculinas y anteras. 4. Brote vegetativo con yema terminal verdadera y amento femenino en antesis. 5. Flor femenina. 6. Cápsula bivalva madura, a la derecha cápsula dehiscente mostrando las semillas algodonosas. 7. Semilla. Imagen extraída de Dickmann y Kuzovkina (2008).

La madera de las distintas especies del género *Populus* posee características mecánicas y químicas que la hacen apropiada para distintos usos. Se caracteriza por ser una madera blanca, liviana, fácil de trabajar, por carecer de olor y por tomar bien las tinturas. Es una de las maderas más aptas al claveteado y al grampado. Es apta para diversos usos, entre ellos carpintería, construcción de muebles, cajonería, embalajes, lápices, pasta para papel, paneles aglomerados, maderas terciadas, placas y en la industria del fósforo. La madera de álamo tiene un valor superior a la de sauce debido a su mayor aptitud industrial, tanto para aserrío como para debobinado.

Los álamos son utilizados en asociación con pasturas o cultivos agrícolas, los macizos pueden ser aprovechados para el silvopastoreo, o para implantar un cultivo agrícola durante los primeros años. Por otro lado, son especies utilizadas en parques, jardines, espacios verdes y ambientes rurales no solo como protectores sino también como ornamentales debido a su rapidez de crecimiento y facilidad de multiplicación (Amico, 2002).

3.3.1.1 PLAGAS Y ENFERMEDADES

Los bosques de todo el mundo se encuentran sujetos a varias alteraciones que están fuertemente influenciadas por el clima, afectando la composición, estructura y funciones de los mismos (Dale *et al.*, 2001). Estas alteraciones pueden ser de tipo abiótico o biótico y dentro de este último, las plagas y enfermedades son las más importantes.

Los agentes bióticos patógenos de árboles, tanto nativos como introducidos, representan una de las mayores amenazas para los bosques, dañando casi 35 millones de hectáreas al año, principalmente en zonas templadas y boreales. No obstante los insectos y las enfermedades son componentes convencionales de los bosques, cumpliendo importantes funciones, los brotes esporádicos pueden tener efectos adversos en el crecimiento y supervivencia de las plantas. Como también pueden afectar rendimiento y calidad de los productos forestales maderables y no maderables, el hábitat de la fauna, como el valor recreativo, escénico y cultural de los bosques. El análisis de riesgos, la previsión de epidemias futuras, el diseño y aplicación de estrategias de protección efectivas en relación con los costos, dependen de la disponibilidad de datos exhaustivos a diversos niveles. El desarrollo de medidas fitosanitarias para minimizar el

movimiento transfronterizo de plagas y enfermedades, se debe basar en el conocimiento de la distribución geográfica y la biología de los patógenos (FAO, 2010a).

Los cultivos forestales se caracterizan por ser plantaciones monoclonales coetáneas, las cuales por lo general son más susceptibles a diversas plagas y enfermedades debido a que todas las plantas del cultivo se encuentran en la misma fase de desarrollo, al mismo tiempo y además, son todas genéticamente sensibles (Anselmi *et al.*, 2006).

El cultivo intensivo de unos pocos clones de álamos, en vastas áreas en las cuales además se aplican técnicas culturales que permiten lograr turnos cortos y constantes de producción, generan cultivos altamente especializados y ecológicamente inestables. Estas características inevitablemente favorecen la aparición de algunas patologías, muchas veces graves, que pueden provocar pérdidas económicas y productivas importantes (Lucero, 2011).

En consonancia con la tendencia general en la patología de las plantas, la mayoría de los parásitos capaces de atacar al género *Populus* son hongos (Cellerino, 1999). Si bien, de las aproximadamente 100.000 especies de hongos conocidas, la mayoría son saprófitas y viven sobre la materia orgánica muerta descomponiéndolas, más de 8.000 producen enfermedades en las plantas. Alrededor de unas 50 especies de hongos son causantes de enfermedades en el hombre y casi el mismo número ocasiona enfermedades en los animales, de éstos la mayoría provocan patologías a nivel superficial en piel o apéndices (Agrios, 2011).

Los hongos son pequeños organismos, generalmente microscópicos, eucarióticos, carecen de clorofila. Sus paredes celulares están conformadas mayoritariamente por quitina, celulosa o ambos componentes. La mayoría tienen un cuerpo vegetativo similar al

de las plantas que consta de filamentos microscópicos continuos más o menos alargados y ramificados con paredes celulares definidas. Al soma o cuerpo del hongo se lo denomina micelio y a las bifurcaciones individuales o filamentos del micelio se les denomina hifas. Los hongos se reproducen principalmente por esporas. Las esporas son estructuras reproductoras, especializadas para la propagación/diseminación del hongo, que pueden ser unicelulares o pluricelulares. Estas estructuras pueden formarse asexualmente mediante la producción, por el micelio del hongo, de células individuales especializadas –las esporas- sin cariogamia ni meiosis; o pueden originarse como resultado de un proceso sexual (Agrios, 2011).

Las plagas y enfermedades que afectan a plantaciones de álamos y han causado daños económicos severos en algunos países, son la roya producida por diversas especies de *Melampsora*, cancrrosis (*Septoria musiva*), tizón de hoja (*Marssonina brunnea*), y el barrenador del álamo y el sauce (*Cryptorhynchus lapathi*). Se ha informado, a nivel mundial, que ha habido un aumento notable en el riesgo de ataque de plagas, debido a que ha aumentado el uso de álamos híbridos monoclonales. Además, durante el período 2008-2012, las condiciones climáticas extremas han sido de gran influencia en la situación fitosanitaria de las plantaciones de álamos y sauces. Las principales áreas de plantación de álamos en muchos países fueron objeto de alto estrés hídrico a través de una alternancia de las frecuentes inundaciones y períodos de sequía pronunciadas que resultaron en altas tasas de mortalidad, principalmente en las plantaciones jóvenes (Kollert & Borodowski, 2014).

4. CANCROSIS DEL ÁLAMO

4.1 AGENTE CAUSAL Y DISTRIBUCIÓN

Como se mencionó anteriormente, una de las enfermedades con mayor influencia sobre la cantidad y calidad de la madera de las especies del género *Populus*, es la cancrrosis del álamo. Esta enfermedad es producida por el hongo Deuteromycete *Septoria musiva* Peck. La fase sexual de este microorganismo *Mycosphaerella populorum* G.E. Thompson, sólo ha sido citada en Valle inferior del Río Negro. Sin embargo su fase asexual ha sido hallada en todas las zonas productoras de *Populus* de Argentina (Lucero, 2011).

En Argentina, los daños mayores son ocasionados en Mendoza donde es una enfermedad endémica que produce pérdidas económicas considerables en la madera. Este patógeno afecta al álamo ocasionando desde defoliación precoz hasta la producción de canchros en ramas, tallos y tronco. Estos últimos, dificultan el agostamiento de la madera y disminuye la calidad de la misma, siendo no apta para la industria del debobinado o aserrado (Lucero *et al.*, 2014a). Estos graves inconvenientes motivan la continua búsqueda de nuevos clones con buena productividad y sobre todo con una elevada resistencia a la enfermedad (Lucero *et al.*, 2011).

Septoria musiva es un patógeno que no solo se encuentra distribuido en las regiones productoras de álamos de Argentina, sino que además está presente en América del Norte de oeste a este y tan al norte como Alaska aunque es particularmente común en el este y centro de Estados Unidos y Canadá, y rara vez ha sido citado en Asia (Cimolai, 2011). También la presencia de dicho microorganismo ha sido citada en Brasil (Figueredo Santos *et al.*, 2010) y este año 2015 en Chile (Secretaría de Agricultura y Ganadería, Gobierno de Chile, 2015). Por su parte, en Europa todavía no está presente, por lo que se

han promulgado medidas de cuarentena muy estrictas para evitar su introducción (Cellerino, 1999).

4.2 TAXONOMÍA Y CARACTERIZACIÓN

Taxonómicamente *Septoria musiva* se encuentra clasificada de la siguiente manera (Agrios, 2011): Reino Fungi (Mycetae); División Eumycotina; Subdivisión Deuteromycotina; Clase Coelomycetes; Orden Shaeropsidales; Familia Spaeropsidaceae; Género *Septoria*.

En la subdivisión Deuteromycotina se agrupan todos aquellos hongos de micelio tabicado que carecen o que no se les ha encontrado su reproducción sexual y en caso de presentarse ésta es casual o esporádica. Por esa razón se los llama también Hongos Imperfectos. La reproducción y diseminación de estos hongos es llevada a cabo solamente por conidios (esporas de origen asexual). En el caso de hongos Deuteromycetes a los que se les descubre la reproducción sexual, se los reclasifica en la División de hongos que corresponde. La mayoría de los hongos Deuteromycetes a los cuales se les ha descubierto su reproducción sexual, perfecta o teleomórfica han sido reclasificados en la subdivisión Ascomicotinas y solo unas pocas en las Basidiomicotinas (Pizzuolo, s/f).

Dentro del género *Septoria* se incluyen más de 1.000 especies de patógenos fúngicos de plantas. Aparte de afectar a especies del género *Populus*, son reconocidas por producir manchas foliares en hortalizas, cultivos extensivos y forrajes (Cimolai, 2011).

Las especies del género *Septoria* producen conidios largos filiformes, incoloros y de una a varias células dispuestos en cuerpos globosos y negros denominados picnidios.

Cuando estos últimos se humedecen, se hinchan y de ellos salen los conidios dispuestos en largos cordones denominados cirros (Figura 7) (Agrios, 2011).

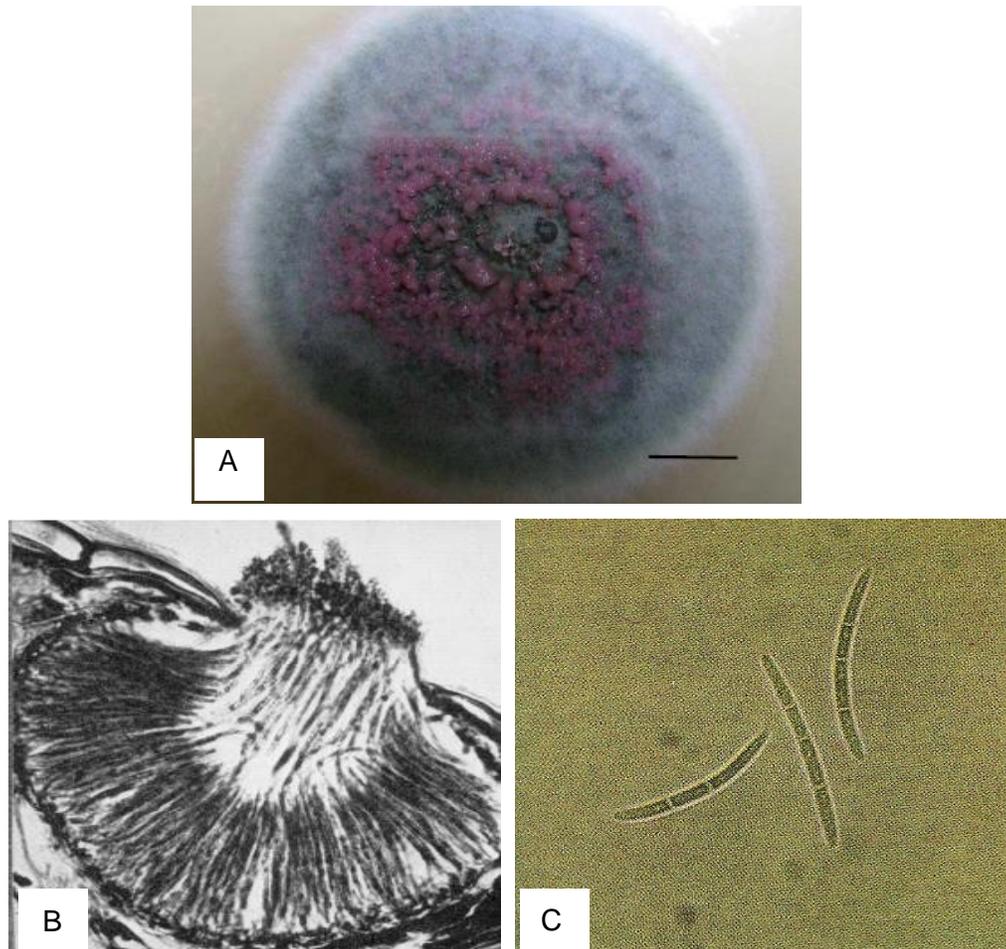


Figura 7. A: Colonia de *Septoria musiva* con presencia de cirros rosados. La barra representa 5 mm (Extraída de Pozzo Ardizzi, 2014). B: Esquema de un picnidio de *S. musiva* con conidios ante una inminente liberación (Extraída de Thompson, 1941 visto en Pozzo Ardizzi, 2014). C: Conidios de *S. musiva* (Extraída de Palmer *et al.*, 1980).

El hongo inverna en las hojas enfermas caídas al suelo y en los canchros producidos en ramas jóvenes. En primavera las esporas de los cuerpos fructíferos de origen asexual son liberadas cuando se presentan condiciones de elevada humedad relativa o lluvias. En aquellos lugares donde se presenta la fase sexual, en primavera también son liberadas

las ascosporas en condiciones de elevada humedad. El viento y las salpicaduras de lluvias son los encargados de diseminar las esporas a hojas y ramas donde inician las nuevas infecciones (Lucero, 2011).

4.3 DAÑOS PROVOCADOS POR *Septoria musiva*

S. musiva ataca álamos jóvenes en viveros, montes bajos para la producción de biomasa, cortinas cortavientos, así como plantaciones intensivas para la producción de madera (Cellerino, 1999). En las plantas produce defoliación prematura y canchros en ramas, troncos y guías (Ostry & McNabb, 1985). En cultivares más tolerantes las lesiones se limitan sólo a las hojas (Senisterra *et al.*, 2012).

En hojas produce manchas que reducen el área fotosintetizante del árbol, causando defoliación prematura lo que trae aparejado disminución del crecimiento anual (Lucero *et al.*, 2014b). Los síntomas que se observan en las hojas varían de acuerdo al estado de desarrollo del órgano (hojas jóvenes o adultas). En hojas jóvenes se producen lesiones circulares, blancas, de aproximadamente 5 mm, deprimidas y con bordes oscuros; en las manchas se pueden observar los cuerpos fructíferos oscuros del hongo (picnidios) (Figura 8). En hojas adultas las lesiones son más pequeñas (1 a 2 mm), marrones, poliédricas que coalescen entre ellas abarcando áreas más grandes (Figura 9) (Cellerino, 1999).

En troncos produce canchros que reducen el crecimiento de la planta, produciendo pérdida de valor económico de la madera y predisponen al árbol a la colonización de organismos oportunistas que favorecen la fractura del fuste principal (Lucero, 2011). En la figura 10, pueden observarse lesiones causadas por *Septoria musiva* en tallos jóvenes y adultos. Por otro lado, los canchros en tronco pueden rodear al árbol, predisponiéndolos a daños por viento, matando la porción de árbol por encima del sitio de infección (Lucero *et*

al., 2014b). Las plantas jóvenes son más propensas de ser infectadas en comparación con los árboles de mayor edad (Cimolai, 2011).



Figura 8: Lesiones circulares y blancas producidas por *Septoria musiva* en hojas jóvenes, con detalle de los picnidios en su interior (Extraída de Lucero et al, 2011).

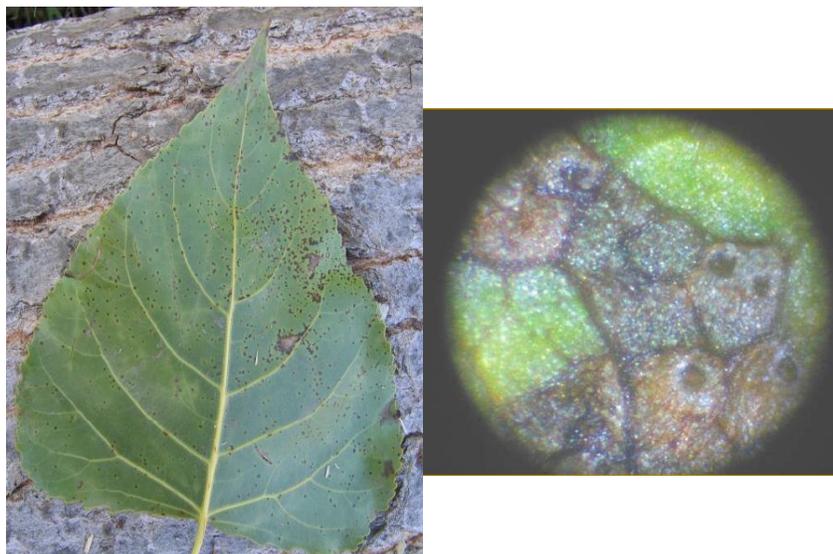


Figura 9: Lesiones pequeñas, pardas y poligonales producidas por *Septoria musiva* en hojas adultas, con detalle de la presencia de picnidios en su interior (Extraída de Lucero et al, 2011).



Figura 10: Izquierda: Cancro producido por *Septoria musiva* en tallo joven de álamo (Foto: del autor, 2014). Derecha: Cancro en estado avanzado causado por *S. musiva* sobre fuste de álamo (Extraída de Benegas, 2015).

Septoria penetra por discontinuidades en el tegumento como cicatrices foliares, lenticelas o heridas presentes en tronco o ramas, o también puede penetrar a través de los pecíolos de las hojas afectando de esta forma a los tejidos corticales. Las áreas infectadas son visibles debido a su color marrón y su superficie hundida en comparación con la corteza sana circundante, suelen agrietarse como resultado de la deshidratación, mientras que se sobreelevan los bordes formando el cancro como respuesta del huésped intentando impedir que la infección se extienda. Si esta reacción falla para prevenir la colonización, las partes de la planta por encima sucumben; incluso si tiene éxito, los grandes cancos creados son fuentes de nuevos inóculos y, a menudo son invadidos por parásitos oportunistas, además de caracterizarse por ser sitios de pobre resistencia

mecánica de la madera pudiendo llevar a la muerte a los ejemplares enfermos (Cellerino, 1999).

La presencia de canchros produce la desvalorización de la madera como materia prima para la industria del aserrado y la obtención de fibras. Las pérdidas en la calidad y en el rendimiento del producto forestal se dan en particular cuando estas lesiones se hallan en las guías que es, con el tiempo, la parte aprovechable de cada individuo (Senisterra *et al.*, 2012). Además hay pérdidas de biomasa, habiéndose registrado pérdidas de hasta 63% en clones altamente susceptibles (Krupinsky, 1989).

La difusión y severidad del problema se agrava principalmente por la presencia de la enfermedad en plantas provenientes de viveros. Si bien muchas veces se utilizan clones poco susceptibles a la misma, la alta presión de inóculo del patógeno convierten a éstos en susceptibles. Estas plantas afectadas, entregadas al productor llevan lesiones basales o en el fuste principal que se desarrollan luego en el lugar de plantación (Lucero, 2011).

4.4 MEDIDAS DE CONTROL

El control químico y cultural de la canchrosis es difícil y sólo parcialmente efectivo. Los distintos clones de *Populus* difieren en su susceptibilidad. Algunos clones son tan susceptibles que no pueden cultivarse en ciertos lugares (Ostry *et al.*, 1988).

En plantaciones de álamos para producción de madera, las medidas de control contra los patógenos están dirigidas no solamente para asegurar la cantidad de producción de madera, sino también -y especialmente- para asegurar el estándar de calidad demandado por la industria. La tendencia en las medidas de control está particularmente dirigida hacia la búsqueda de resistencia, y a la realización de prácticas agronómicas racionales (Anselmi *et al.*, 2006).

En los programas de mejoramiento genético del álamo, uno de los principales aspectos que se tienen en cuenta es el alto rendimiento (Riemenschneider *et al.*, 2001). Sin embargo, si en los esquemas de selección, las estrategias de mejoramiento se centran exclusivamente en el crecimiento por sí solo y se le resta importancia a la mortalidad (Chambers & Borralho, 1997), la capacidad de enraizamiento (Zalensny *et al.*, 2003), y la susceptibilidad a plagas y enfermedades (Robinson & Raffa, 1998; Netzer *et al.*, 2002), se corre el riesgo de pérdida de resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades (Loehle & Namkoong, 1987; Ostry & Berguson, 1993). Esta situación, generaría serios inconvenientes en un sistema agroforestal caracterizado por un monocultivo intensivo, creando un ambiente propicio para el desarrollo de graves epifitias (Nowak & Berisford, 2000; Coyle *et al.*, 2006) que devastarían parcial o totalmente los cultivos.

La aplicación de medidas preventivas, como la adquisición de plantas sanas y el uso de clones resistentes para cada sitio determinado y la desinfección de las herramientas utilizadas para las labores culturales son fundamentales en el control de la cancrrosis. A su vez, los viveros deberían ubicarse en áreas libres de la enfermedad y utilizar para la extracción de estacas plantas madres libres de la enfermedad (Lucero, 2011).

Lo mencionado anteriormente determina la necesidad de conducir investigaciones que generen conocimientos sobre los niveles de adaptación del material en uso, de aquellos posibles de introducir, como así también sobre la información necesaria para la creación de clones para nuevas áreas de cultivo. Estas investigaciones deben atender, entre otros, los daños provocados por las enfermedades, las cuales, en cultivos monoclonales como los del álamo, presentan una situación propicia para que se desarrollen epidemias, causando impactos altamente negativos en la producción. Estos

efectos no deseados, pueden ser atenuados o evitados, según la eficacia de las medidas de prevención que se adopten (Senisterra *et al.*, 2012).

La información de las investigaciones sobre el rendimiento y resistencia a las enfermedades de los clones de álamo, ayudarán a los productores a decidir qué clones plantar a fin de maximizar el rendimiento de biomasa, y al mismo tiempo reducir al mínimo el riesgo a las enfermedades (Ostry y Berguson, 1993).

OBJETIVOS

Considerando que el cultivo de álamos representa la principal actividad forestal de bosques implantados en la provincia de Mendoza y es uno de los de mayor importancia a nivel nacional, sumado al hecho que *Septoria musiva* es un patógeno endémico en la región y que provoca grandes pérdidas económicas es que se ha dispuesto estudiar este pato-sistema. Además, siendo una provincia en la cual para poder cultivar algo es necesario hacer aportes de agua en forma constante, se ha considerado de gran relevancia generar investigaciones que proporcionen información acerca de si el estrés hídrico aumenta la susceptibilidad al ataque de *Septoria musiva*, aumentando la colonización e infección del microorganismo. Esta información sería útil a los productores de modo de maximizar los beneficios del cultivo y reducir al mínimo el riesgo a enfermedades.

Objetivo General

- Determinar el efecto del estrés hídrico en la colonización de tallos y hojas de clones de *Populus spp.* inoculados por *Septoria musiva*.

Objetivos Específicos

- Determinar la respuesta de tallos de dos clones de álamos a las inoculaciones con *Septoria musiva* sometidos a diferentes niveles de estrés hídrico.
- Determinar la respuesta de hojas de dos clones de álamos a las inoculaciones de *S. musiva* sometidos a diferentes niveles de estrés hídrico.
- Determinar si el estrés hídrico es un factor a tener en cuenta en las futuras plantaciones, a fin de disminuir daños por “cancrosis del álamo”.

MATERIALES Y MÉTODOS

A fin de investigar si el estrés hídrico predispone/favorece la colonización de *Septoria musiva* en los tejidos de álamos, se dispuso un ensayo con plantas de álamo en macetas. Las mismas fueron sometidas a tres niveles de estrés. Luego de un mes de ser sometidas las plantas a los diferentes tratamientos hídricos, fueron inoculadas con *Septoria musiva*. Los clones utilizados fueron 'Harvard' (*Populus deltoides*) y 'Conti-12' (*Populus x canadensis*), clones muy utilizados en nuestra región.

1. UBICACIÓN DEL ESTUDIO

El presente trabajo se llevó a cabo en el Invernadero de la Facultad de Ciencias Agrarias- UNCuyo perteneciente a la Cátedra de Fitopatología, Mendoza, Argentina.

2. OBTENCIÓN DE PLANTAS

Las plantas de álamo fueron obtenidas a partir de estacas extraídas de una colección de plantas madres de los clones 'Harvard' y 'Conti-12' pertenecientes a la cátedra de Dasonomía de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNCuyo. Dichas estacas fueron extraídas durante el receso vegetativo y colocadas en atados identificados, en un pozo de estratificación, para ser conservadas hasta el momento de su plantación. Todas poseían el mismo tamaño, 30 cm de longitud y entre 1-2,5 cm de diámetro.

Previo a su plantación, las mismas se colocaron en agua corriente con el fin de rehidratar el material y eliminar inhibidores. Luego las estacas fueron colocadas individualmente en macetas plásticas de dos litros de capacidad, con un sustrato de tierra preparada (mezcla de tierra, turba y orujo agotado).

El número de estacas empleadas por clon fue 48, dichas estacas fueron enumeradas en sus respectivas macetas para facilitar su posterior identificación. Por último, éstas fueron colocadas en invernadero con luz ambiente y en mesadas diferentes de acuerdo al clon al que pertenecían.

3. ORIGEN DEL AISLADO DE *Septoria musiva*

El aislado utilizado en los bioensayos se obtuvo de hojas de álamo afectadas con el microorganismo, recolectadas de una plantación de Cápiz, Tunuyán, Mendoza siguiendo la metodología empleada por Ostry *et al.* (1988). Trozos de hojas, que incluían la lesión, de aproximadamente 5 mm² fueron esterilizados superficialmente con hipoclorito de sodio y posteriormente sembrados en medio de Agar Papa Glucosado (APG). Una vez obtenidas las colonias, para inducir su esporulación, los cultivos se transfirieron a un medio de Agar V-8 a 30°C. De estas colonias, posteriormente fue obtenida una suspensión de conidios, por raspado de cirros producidos por los picnidios. Luego la concentración fue ajustada a 1×10^6 conidios $\times \text{ml}^{-1}$ mediante diluciones, utilizando un hematocitómetro.

4. TRATAMIENTO HIDRICO

El ensayo comenzó con un riego inicial de cada una de las macetas, las cuales fueron saturadas con agua. Luego de veinticuatro horas, se realizó el pesaje de cada una de estas plantas, a fin de obtener el peso de maceta y planta en capacidad de campo. Luego las mismas se pesaron sucesivamente día tras día, hasta que éstas tuvieron peso constante, el cual se puede considerar próximo al peso de la maceta en punto de marchitez, dado que la planta no estaría transpirando porque no está tomando agua de la

maceta. Para los fines prácticos de este trabajo este peso va a ser considerado como punto de marchitez.

La diferencia entre el peso en capacidad de campo y punto de marchitez permitió determinar el agua disponible para cada una de las plantas.

Posteriormente se seleccionaron tres regímenes diferentes de riego para poder crear diferencias en el estado hídrico del huésped. Las plantas de cada clon fueron clasificadas en 3 grupos, de acuerdo a los siguientes regímenes de riego: 90, 70 y 50 % del agua disponible. Esto permitió calcular el peso que debería poseer la maceta para contener el estado hídrico requerido (Peso teórico) a partir de la suma al peso de la maceta en punto de marchitez más el 90, 70, 50 % del agua disponible de cada maceta según el tratamiento asignado (Figura 11).

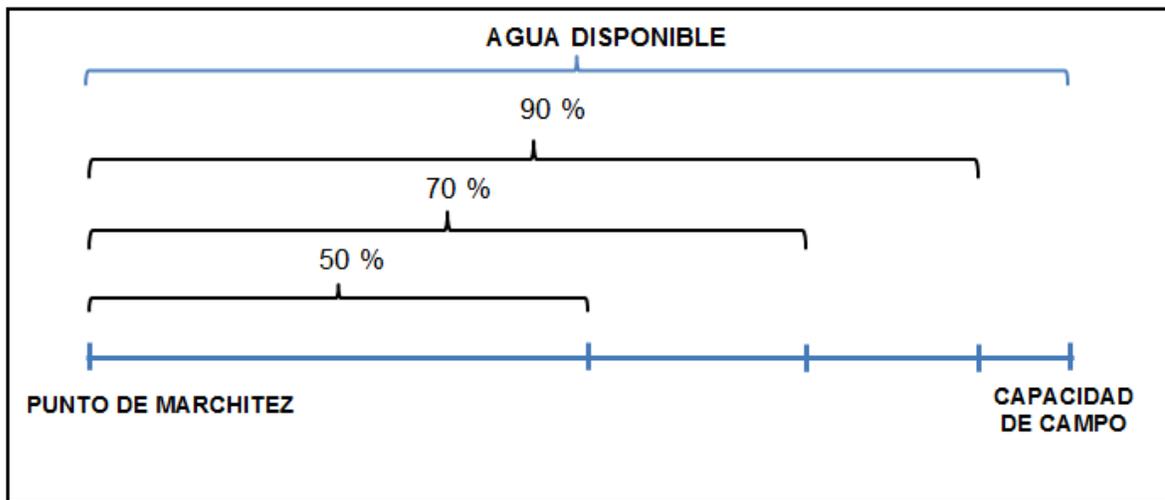


Figura 11. Esquema representativo de los tratamientos hídricos utilizados en el ensayo.

Las plantas fueron regadas tres veces a la semana a lo largo de todo el ensayo, con el volumen de agua requerido, a fin de mantener la lámina de reposición hídrica (LR) del tratamiento hídrico asignado. Esta LR fue calculada para cada maceta realizando la diferencia entre el peso teórico que la maceta debía tener de acuerdo a los cálculos

mencionados en el párrafo anterior y el peso que poseía ese día en particular (peso real). Este procedimiento está basado en la metodología empleada por Welcker *et al.* (2007), quienes atribuyen las diferencias de peso de las macetas a los cambios en el contenido de agua del suelo. Luego, aprovechando la propiedad de la densidad del agua 1 g/ml, el resultado calculado de diferencia de pesos que estaba en gramos se pasó a mililitros de agua a incorporar como riego. El agua fue incorporada con la ayuda de una probeta graduada.

$$\text{Lámina de Reposición (ml)} = (\text{Peso Teórico (g)} - \text{Peso Real (g)}) * 1 \text{ g/ml}$$

A lo largo de todo el ensayo, el peso de las plantas en maceta fue realizado con una balanza marca Ohaus Navigator XL (Figura 12).



Figura 12: Foto representativa de una planta de álamo mientras es pesada en balanza electrónica (Foto del autor).

Durante el primer mes, las plantas fueron regadas para generar los niveles de estrés requeridos previos a la inoculación. Luego la mitad de las plantas de cada tratamiento hídrico y de cada clon, fueron inoculadas con el aislado de *Septoria musiva* (Tabla 1).

Tabla 1: Cantidad de plantas utilizadas por cada clon en los tratamientos realizados en el ensayo.

TRATAMIENTOS		CLON	
HÍDRICO de AD*	%	C/ Septoria musiva	
90		Inoculado	8
70		Inoculado	8
50		Inoculado	8
90		Testigo	8
70		Testigo	8
50		Testigo	8
Total de plantas utilizadas por clon			48
			48

*AD: agua disponible.

5. ENSAYO DE SUSCEPTIBILIDAD A LA INVASIÓN DE *Septoria musiva* EN TALLOS SEGÚN ESTRÉS HÍDRICO

A los treinta días en que las plantas fueron sometidas al tratamiento hídrico, se realizó la inoculación con el aislado de *Septoria musiva*, siguiendo la metodología empleada por Maxwell *et al.* (1997). La misma consistió en remover la primera y segunda hoja totalmente expandida con bisturí en la zona de inserción del pecíolo en el tallo. En la cicatriz fresca de corte fue depositado 10 µl de una suspensión de 1×10^6 conidios x ml⁻¹ de *Septoria musiva* mediante micropipeta. Luego la herida fue cubierta con un algodón humedecido con agua estéril y envuelta con parafilm para mantener la humedad necesaria para que se produzca la infección. En los tratamientos testigos también fueron removidas la primera y segunda hoja expandida y en la cicatriz fue colocado 10 µl de agua estéril y protegido de igual modo que las anteriores. El algodón y el parafilm de las heridas, fue retirado luego de siete días de la inoculación.

La respuesta a la infección de tallos de los álamos se evaluó 95 días después de la inoculación de los mismos, durante todo ese período las plantas fueron regadas con el tratamiento hídrico correspondiente, como fue explicado anteriormente. Cumplido este tiempo se realizó la medición de longitud de la lesión desarrollada con calibre y se estimó visualmente el porcentaje del perímetro del tallo afectado por la lesión. Para poder realizar estas mediciones se retiró la corteza del tallo en la zona circundante a la lesión a fin de observar la decoloración de la madera asociada a la afección por *Septoria musiva*, ver figura 13.

Los datos de longitud y de porcentaje del perímetro de tallo afectado por la lesión obtenidos fueron analizados estadísticamente por separado con el programa InfoStat. Los mismos fueron sometidos a un análisis de la varianza y las medias fueron separadas mediante test de LSD Fisher para $\alpha \leq 0,05$.



Figura 13: Medición de la longitud de un cancro utilizando calibre electrónico (Foto del autor).

6. MEDICIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR

El estado hídrico de la planta es el resultado del balance entre la absorción radical del agua por las plantas y la pérdida por transpiración. El modo más simple de medirlo es expresarlo en términos de contenido de humedad, ya sea tanto como porcentaje del peso fresco o del peso seco. Pero, esta medida crea inconvenientes a la hora de interpretar el dato, debido a que un valor particular de contenido hídrico asume un significado fisiológico diferente de especie a especie, como así también para una misma especie en localidades diferentes y en periodos diferentes del ciclo vegetativo. Por esto la medida del potencial hídrico de la planta es la propiedad más significativa que puede medirse en el sistema suelo-agua-planta, resultando la misma de máxima utilidad, ya que respecto a otras medidas del estado hídrico, se puede relacionar directamente y comparar con el potencial agua del terreno, de la solución o de la atmósfera. El potencial hídrico de la planta es una medida de tipo indirecta que utiliza principios de termodinámica, y es la medida del trabajo necesario para llevar el agua en condiciones isotérmicas, del estado en que se encuentra a uno de referencia, que por convención se asume como aquel del agua pura a presión de una atmósfera (Lucero, 2000).

Si bien es válido utilizar unidades de energía cuando se habla de potencial hídrico, actualmente la mayoría de los fisiólogos vegetales y edafólogos definen al potencial hídrico como: el potencial químico del agua en un sistema o parte de un sistema, expresado en unidades de presión, comparado con el potencial químico (también en unidades de presión) del agua pura a la presión atmosférica a la misma temperatura y altura, con el potencial químico del agua de referencia fijado a cero (Salisbury & Ross, 2000).

El transporte del agua en la planta sucede entre puntos con diferente potencial, y se produce espontáneamente hacia potenciales hídricos menores. Esto se verifica normalmente en el sistema suelo-planta-atmósfera, donde el agua se mueve del terreno a la raíz, a la hoja y luego a la atmósfera, encontrando valores de potencial hídrico siempre más bajos y negativos. Se distingue un potencial hídrico de base y un potencial hídrico mínimo. El potencial hídrico de base corresponde al estado hídrico de la planta al alba cuando la planta ha recuperado del suelo el agua perdida por evapotranspiración durante el día anterior y se trata de un estado de equilibrio con el contenido hídrico del suelo. El potencial hídrico mínimo corresponde al estado hídrico de la planta en el momento de máxima transpiración, y se mide al mediodía entre las 12 y 14 horas (Lucero, 2000). En ese momento, las tasas de transpiración son tan altas que las velocidades de absorción de agua en raíces y de transporte por el xilema son insuficientes para reponer las pérdidas de agua de las hojas (Reigosa *et al*, 2004).

El sistema de medida del potencial hídrico más utilizado en ecofisiología es el de la bomba de presión o cámara de Scholander. Esta cámara está constituida por un cilindro metálico sellado, la cual se conecta a una bomba de presión, regulable con un manorreductor. Se introduce una hoja o un tallo cortado en la cámara, de manera que el peciolo emerja por un orificio sellado con una goma a presión. Entonces, se aplica presión sobre la hoja de manera progresiva mediante la bomba hasta que aparezca agua en el extremo del peciolo cortado. Se interpreta que la presión positiva aplicada a la hoja compensa la tensión con que el agua estaba retenida en la hoja o tallo, de modo que se obtiene una estimación del potencial hídrico. Este sistema resulta interesante por ser relativamente portátil y por permitir hacer medidas en un corto espacio de tiempo (Reigosa *et al.*, 2004).

En este trabajo, el día anterior a efectuar las mediciones finales del ensayo de tallos, se realizó la medición de potencial agua tanto al alba (entre las 6 y 7 horas de la mañana) como a la tarde alba (entre las 13 y 14 horas de la tarde), utilizando una cámara de presión de Scholander (Figura 14). Dicha medición fue realizada con el motivo de corroborar que las plantas se encontraban sometidas a diferentes niveles de estrés a través de la presencia de diferentes valores de potencial agua. Se midió el potencial agua de cuatro hojas al alba y otras cuatro a la tarde seleccionadas al azar para cada uno de los seis tratamientos por clon y para los dos clones.

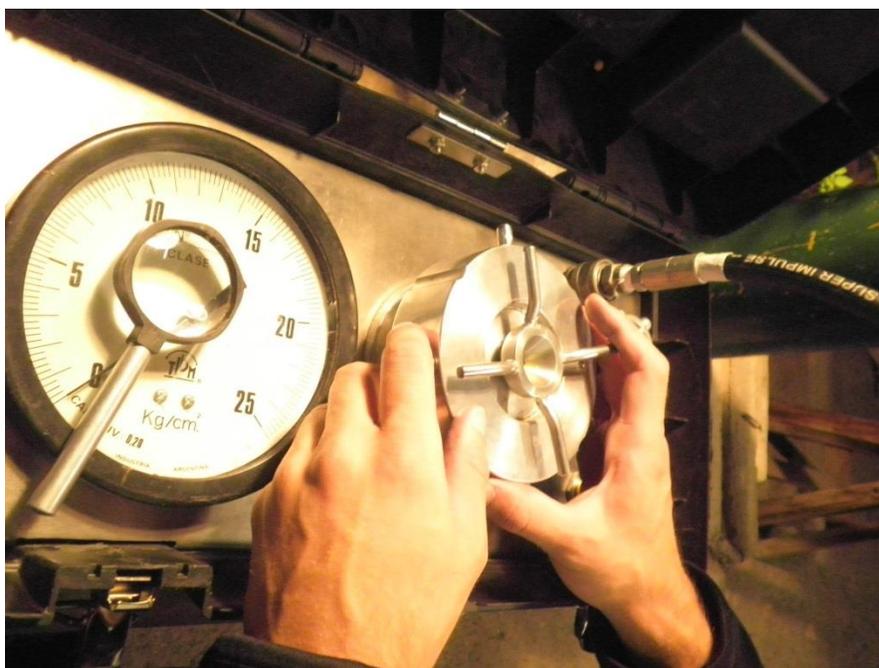


Figura 14: Medición del potencial agua foliar al alba utilizando Cámara de Scholander (Foto del autor).

Para el análisis de los datos se utilizó el programa InfoStat. Los mismos fueron sometidos a análisis de la varianza y las medias comparadas mediante test de LSD Fisher para $\alpha \leq 0,05$.

7. ENSAYO DE SUSCEPTIBILIDAD A LA INVASIÓN DE *Septoria musiva* **EN HOJAS SEGÚN ESTRÉS HÍDRICO**

Se realizó un ensayo de inoculación de discos de hojas obtenidas de las plantas sometidas a estrés del ensayo. La metodología utilizada fue la descrita por Maxwell y colaboradores (1997). Este ensayo se inició el mismo día en que fueron inoculadas las plantas, utilizando como material de trabajo las hojas que fueron removidas para crear las cicatrices frescas. Una vez removida las hojas, éstas fueron colocadas en bolsas plásticas para conservar la humedad y luego en conservadoras de tergopol. Las bolsas fueron debidamente identificadas registrando clon y tratamiento hídrico al que pertenecían. Posteriormente fueron trasladadas al laboratorio.

Una vez en el laboratorio, las hojas fueron lavadas con agua y luego, a partir de las mismas, con la ayuda de un sacabocados se cortaron discos de limbo de 10 mm de diámetro (aproximadamente 90 mm²). Estos discos fueron lavados sucesivamente tres veces con agua estéril a fin de disminuir la carga microbiana de los mismos. Posteriormente fueron colocados en cajas de Petri con Agar Agua (2%) al cual se le habían practicado orificios con el mismo sacabocados con que fueron obtenidos los discos de hojas. Cuatro discos fueron colocados en cada caja de Petri, como pueden observarse en la figura 15.

Los cuatro discos de hojas por cajas de Petri fueron colocados con la superficie abaxial hacia arriba, se utilizaron 4 cajas para un mismo clon y tratamiento hídrico (16 discos de hojas), 2 de ellas fueron inoculadas y las otras 2 fueron utilizadas como testigos. En total se utilizaron 24 cajas (12 por cada clon) (Tabla 2).

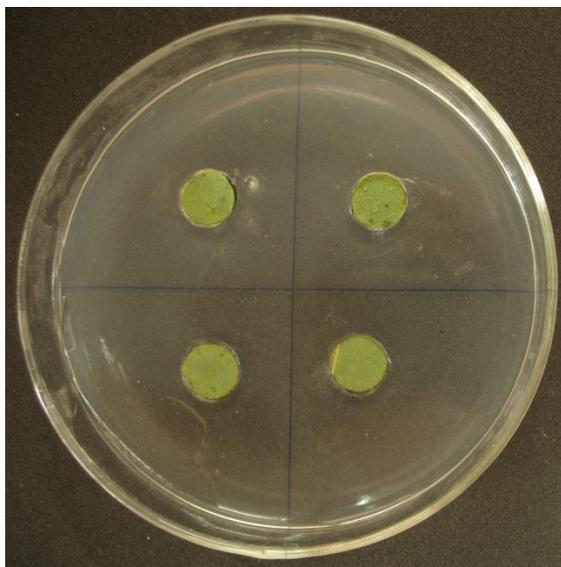


Figura 15: Imagen representativa de la disposición de los discos de hojas en cajas de Petri (Foto del autor).

Tabla 2: Cantidad de discos de hojas utilizados para cada clon, cada tratamiento hídrico y de inoculación.

TRATAMIENTO		CLON	
HÍDRICO % AD*	C/ <i>Septoria</i> musiva	CONTI-12	HARVARD
90	Inoculado	8	8
70	Inoculado	8	8
50	Inoculado	8	8
90	Testigo	8	8
70	Testigo	8	8
50	Testigo	8	8
Total discos de hojas por clon		48	48

*AD: Agua disponible.

La inoculación de los discos se realizó colocando sobre cada disco de hoja 0,1 ml de una suspensión de 10^6 conidios $\times \text{ml}^{-1}$ de *Septoria musiva*, mientras que, a los tratamientos testigo se les colocó 0,1 ml de agua estéril. Las cajas de Petri fueron selladas con parafilm y se incubaron durante 25 días a temperatura de laboratorio ($\approx 21^\circ$).

C). Transcurrido dicho tiempo, se tomaron imágenes digitales de alta resolución de cada una de las cajas de Petri. A partir de ellas fueron tomadas las medidas de severidad de la enfermedad causada por *Septoria musiva* como porcentaje de área necrótica de cada disco. Para ello, se utilizó el programa Axio Vision Release 4.8.2. Sobre cada imagen se midió la superficie de cada disco y la superficie necrótica dentro del mismo, la cual se distinguía por su coloración oscura en comparación con el tejido sano de color verde.

Dichas superficies calculadas permitieron determinar el % de área necrótica para cada uno de los discos de hojas inoculados y no inoculados.

$$\text{(Área necrótica del disco } N \text{ (mm}^2\text{) / Área total del disco } N \text{ (mm}^2\text{))} \cdot 100 = \% \text{ Área necrótica}$$

N= identifica el disco de hoja.

Los datos de % de área necrótica para los tratamientos y clones utilizados fueron sometidos a análisis de la varianza y las medias comparadas mediante test de LSD Fisher para $\alpha \leq 0,05$. Para dicho análisis estadístico de los datos se utilizó el programa InfoStat.

8. FERTILIZACIÓN

Durante el transcurso del ensayo, se realizaron dos fertilizaciones de las plantas. A cada maceta individual se le agregó 50 ml de Solución Nutritiva de Hoaglands.

9. TEMPERATURA Y % DE HUMEDAD RELATIVA

A lo largo de todo el ensayo, se midió la temperatura y la humedad relativa utilizando un sensor HOBO para proporcionar dichos datos. A partir de este, se obtuvieron los valores de dichas variables medidas cada dos horas.

RESULTADOS

1. POTENCIAL AGUA

1.1 Potencial agua al alba

La figura 16 y el anexo 1 muestran los valores de potencial agua (ψ) en hoja de cada tratamiento y clon al alba (Kgf/cm^2). Como puede observarse los valores de ψ disminuyen a medida que aumenta el estrés hídrico. Entre los tratamientos se observan diferencias significativas, los menores valores de ψ (más negativos) los presentan los tratamientos de 50 % de reposición de lámina de agua y los mayores (menos negativos) los tratamientos hídricos de 90 %. Esto indica que las plantas que están sometidas a mayor estrés hídrico no recuperan su ψ , ni siquiera en las horas donde la demanda de agua es menor.

Del análisis de los datos, se puede determinar que para tratamientos hídricos similares no existen diferencias significativas entre sí independientemente del clon y del tratamiento de inoculación. Además, los dos tratamientos de Conti-12 al 50 % no se diferenciaron de los dos tratamientos de Harvard al 70 % y de Conti-12 no inoculado al 70 %.

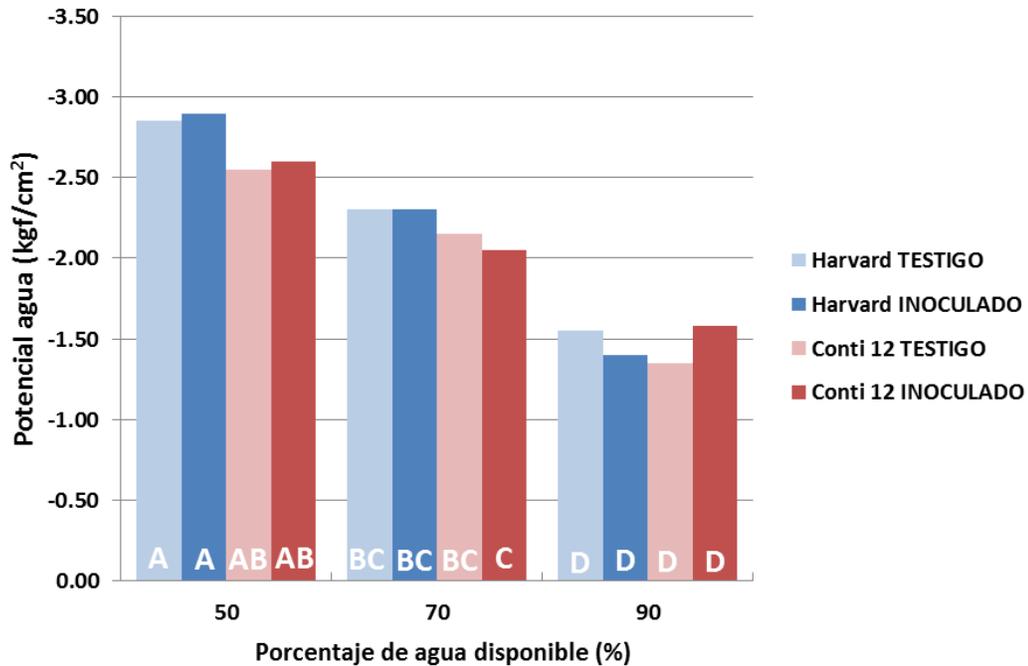


Figura 16: Potencial agua promedio al alba (Kgf/cm²) en hojas del clon Harvard y Conti-12, para cada combinación de tratamiento hídrico y tratamiento de inoculación (inoculado con *Septoria musiva* y testigo). Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

1.2 Potencial agua a la tarde

La figura 17 y el anexo 2, muestran los valores de potencial agua en hoja de cada tratamiento y clon a la tarde (Kgf/cm²). La primera observación que se puede hacer a partir de los datos es que existen diferencias significativas de acuerdo al tratamiento hídrico, al igual que en las mediciones al alba. A medida que aumenta el nivel de estrés hídrico disminuye el valor de potencial agua. También se puede observar que la diferencia entre los valores de potencial agua entre los diferentes tratamientos hídrico son mayores que las diferencias que se presentaron al alba. Por otro lado, se puede ver que dentro de un mismo nivel hídrico no hay diferencias significativas entre los tratamientos entre clones y según el tratamiento de inoculación. Esto último indica que el patógeno, por lo menos en

el tiempo trabajado y en el ensayo, no afectó la conducción del agua a través de los haces vasculares. Para los tratamientos hídricos del 90 % los valores estuvieron entre -6,45 y -6,85 Kgf/cm², para los de 70 % los valores estuvieron entre -8,93 y -9,15 Kgf/cm² y para el 50 % entre -10,45 y -10,95 Kgf/cm².

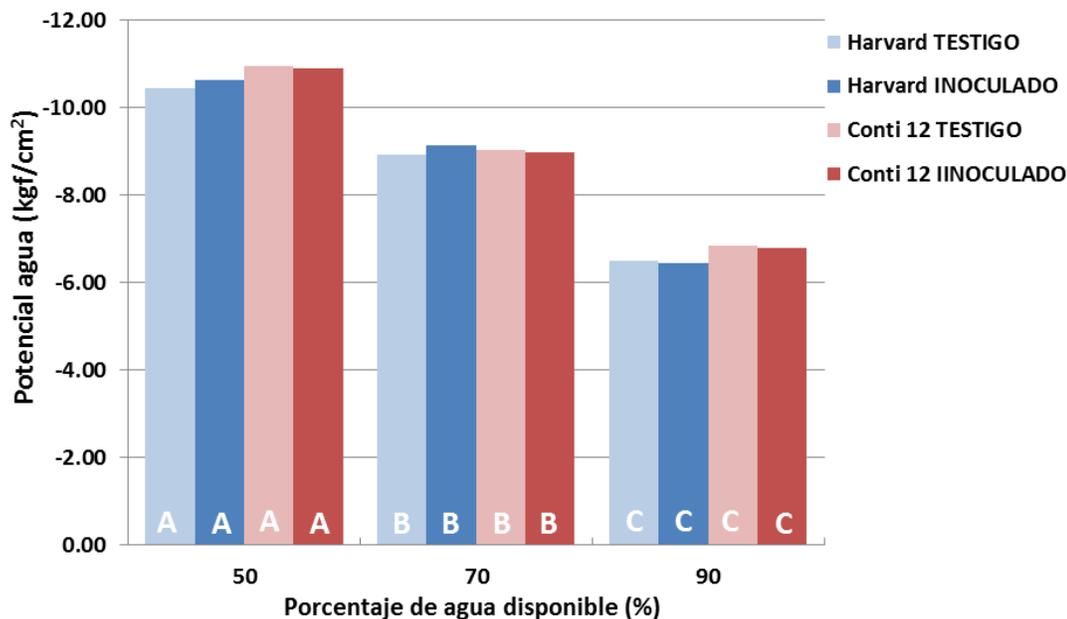


Figura 17: Potencial agua promedio (Kgf/cm²) del clon Harvard y Conti-12, para cada combinación de tratamiento hídrico y tratamiento de inoculación (inoculado con *Septoria musiva* y testigo) a la tarde. Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

2. MEDICIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA INVASIÓN DE *Septoria musiva* EN TALLOS SEGÚN ESTRÉS HÍDRICO

Para el clon Harvard los valores promedios de longitud de los canchros (mm) en tallos originados por la inoculación de *S. musiva*, para cada uno de los tratamientos asignados a dicho clon, pueden observarse en la figura 18 y la tabla en anexo 3. Del análisis de los datos puede observarse que la longitud promedio de los canchros de las

plantas no inoculadas (testigos) no presentan diferencias significativas entre sí, independientemente del tratamiento hídrico al que fueron expuestas en el experimento. Sin embargo, dichos valores de longitud de cancro de los testigos difieren significativamente de los tratamientos en los cuales las plantas fueron inoculadas con *Septoria musiva*, los cuales presentan valores superiores con respecto a los testigos, debido a la acción del patógeno. Por otro lado, la longitud de cancro promedio presentó diferencias significativas entre todos los tratamientos inoculados, se observa un aumento en dicho valor a medida que aumenta el nivel de estrés hídrico. Para el tratamiento hídrico de reposición del 50 % del agua disponible, se observa que los canchros son de mayor tamaño, presentando un valor promedio de 24,9 mm de largo, seguido por el tratamiento hídrico de 70 % con 18,61 mm y por último el tratamiento de 90 % con un valor de 11,76 mm. Ver figura 19.

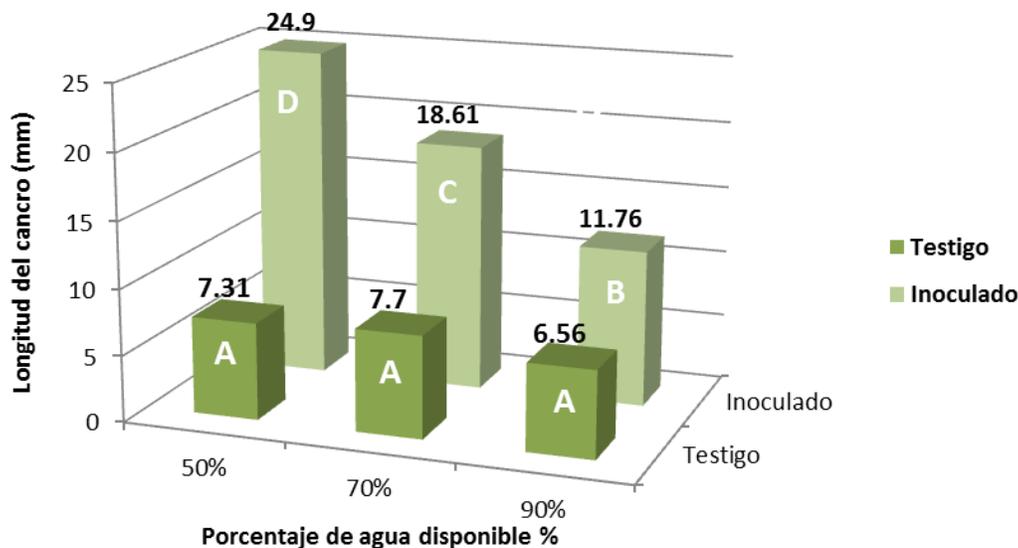


Figura 18: Longitud promedio de cancro (mm) para tallos del clon Harvard, en cada tratamiento hídrico y de inoculación (inoculado con *Septoria musiva* y testigo). Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).



Figura 19: Fotografías de cancos en tallos del clon Harvard, en los distintos tratamientos: testigo (arriba izquierda), tratamiento hídrico con 90% de reposición de lámina de agua disponible (arriba derecha), con 70% (abajo izquierda) y con 50% (abajo derecha) (Fotos del autor).

Para Harvard se observa que los valores promedios de porcentaje rodeado de los tallos por los cancos para cada uno de los tratamientos sigue una tendencia semejante a la longitud del cancro (Figura 20 y anexo 4). En los tratamientos testigos (no inoculados) no se observan diferencias significativas entre los valores de cobertura, independientemente del tratamiento hídrico al que fueron sometidos, sí observando diferencias entre tratamientos inoculados con *S. musiva* e hídricos, denotando la acción del hongo. El porcentaje de tallo rodeado aumentó cuando los niveles de estrés eran mayores, mostrando diferencias significativas entre los tres tratamientos inoculados con *Septoria*. Para el tratamiento hídrico de reposición del 50 % del agua disponible se

obtuvieron canchros con mayor porcentaje de cobertura del perímetro del tallo, con un valor promedio de 58 % del tallo rodeado, seguido por el tratamiento de reposición del 70 % con un 47,5 % y por último el tratamiento de 90 % con un valor de 34,58 %.

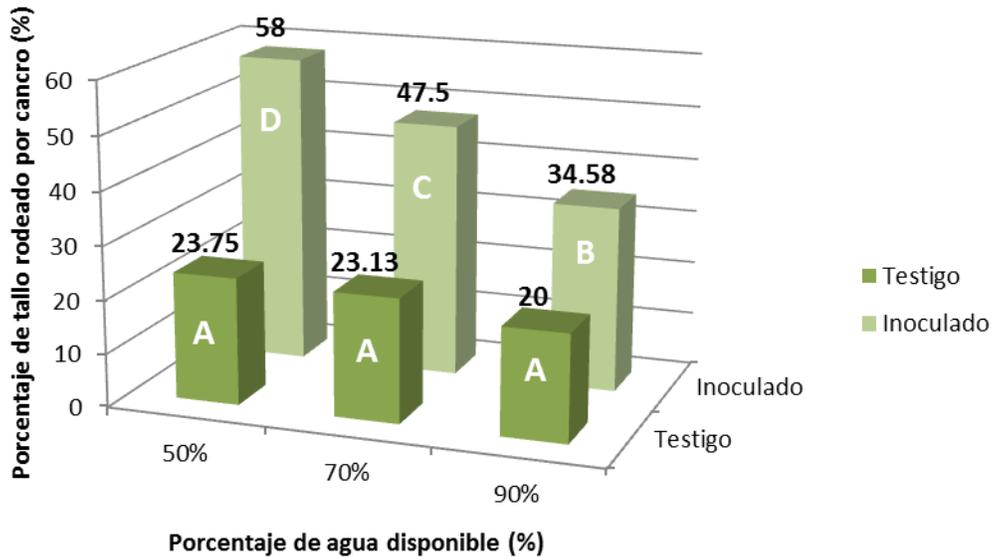


Figura 20: Porcentaje promedio de cobertura del perímetro del tallo por parte del canchro (%) en tallos del clon Harvard, para cada combinación de tratamiento hídrico y tratamiento de inoculación (inoculado con *Septoria musiva* y testigo). Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Para el clon Conti-12 los valores promedios de longitud de canchros en tallos, en cada tratamiento, se observan en la figura 21 y en la tabla en anexo 5. Al igual que lo analizado para el clon Harvard, los resultados obtenidos muestran que Conti-12 presenta el mismo patrón en cuanto a diferencias significativas entre sus tratamientos. Del análisis de los datos surge que los tratamientos testigos no presentan diferencias significativas entre sí, indistintamente del tratamiento hídrico al que estuvieron sometidos. Cuando estos se comparan con los tratamientos inoculados con *S. musiva* se ven diferencias significativas, presentando estos últimos mayores longitudes promedio de canchro debido a

la presencia del patógeno. En los tratamientos inoculados, mientras mayor es el grado de estrés hídrico al que fueron sometidas las plantas, mayor es la longitud de cancro, para una reposición del 50 % del agua disponible se observan los cancos de mayor envergadura con un valor promedio de 26,16 mm, para el tratamiento de 70 % una longitud de 20,9 mm y finalmente en el tratamiento de 90 % una longitud de 15,34 mm. En la figura 22 se observan fotografías de cancos producidos durante el ensayo.

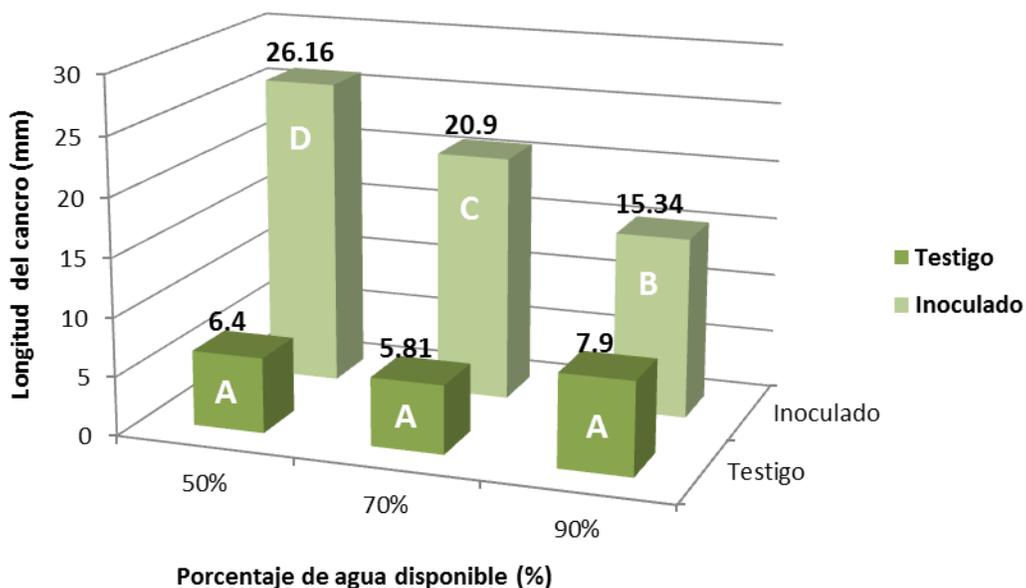


Figura 21: Longitud promedio de cancro (mm) para tallos del clon Conti-12, en cada tratamiento hídrico y de inoculación (inoculado con *Septoria musiva* y testigo). Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).



Figura 22: Fotografías de cancos en tallos del clon Conti-12, en los distintos tratamientos: testigo (arriba izquierda), tratamiento hídrico con 90% de reposición de lámina de agua disponible (arriba derecha), con 70% (abajo izquierda) y con 50% (abajo derecha).

En el clon Conti-12 con respecto al porcentaje promedio de cobertura del perímetro del tallo por parte del cancro, se observan resultados similares a los observados en la longitud de cancro (En la figura 23 y tabla en el anexo 6). Situación similar se presenta en el clon Harvard. Los tratamientos testigos no presentaron diferencias significativas entre sí, independientemente del tratamiento hídrico. No obstante, estos últimos presentaron diferencias significativas respecto a los tratamientos de plantas inoculadas con *S. musiva*, que mostraron valores superiores de porcentaje promedio de cobertura del perímetro del tallo por cancro. Por su parte, el aumento del estrés hídrico, en los tratamientos

inoculados, se vio reflejado en mayores porcentajes de tallo rodeado, mostrando diferencias significativas entre dichos tratamientos. El porcentaje superior de tallo rodeado fue 58,93 % para el tratamiento hídrico del 50 % de reposición del agua disponible, seguido por 49,64 % para el tratamiento de 70 % y finalmente, 38,44 % para el de 90 %.

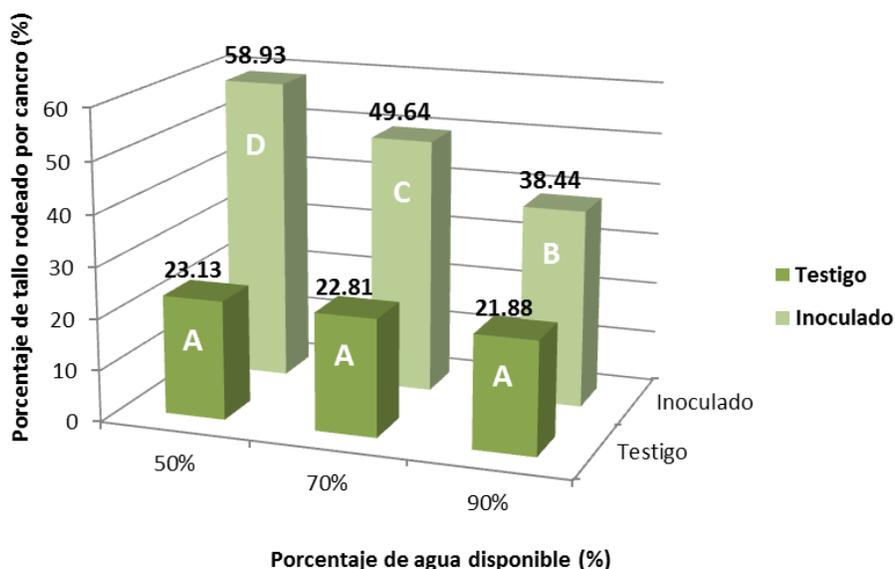


Figura 23: Porcentaje promedio del perímetro del tallo rodeado por el cancro (%) para tallos del clon Conti-12, para cada tratamiento hídrico y de inoculación (inoculado con *Septoria musiva* y testigo). Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Comparando los dos clones Harvard y Conti-12, se observa que en los tratamientos testigos, tanto en la longitud del cancro, como en el porcentaje de cobertura perimetral del tallo del cancro, no se observaron diferencias significativas. En cambio en las plantas inoculadas se observan diferencias significativas en el tamaño de los cancros en función del estrés sufrido por las plantas al sufrir restricción de agua (Figura 24 y anexo 7).

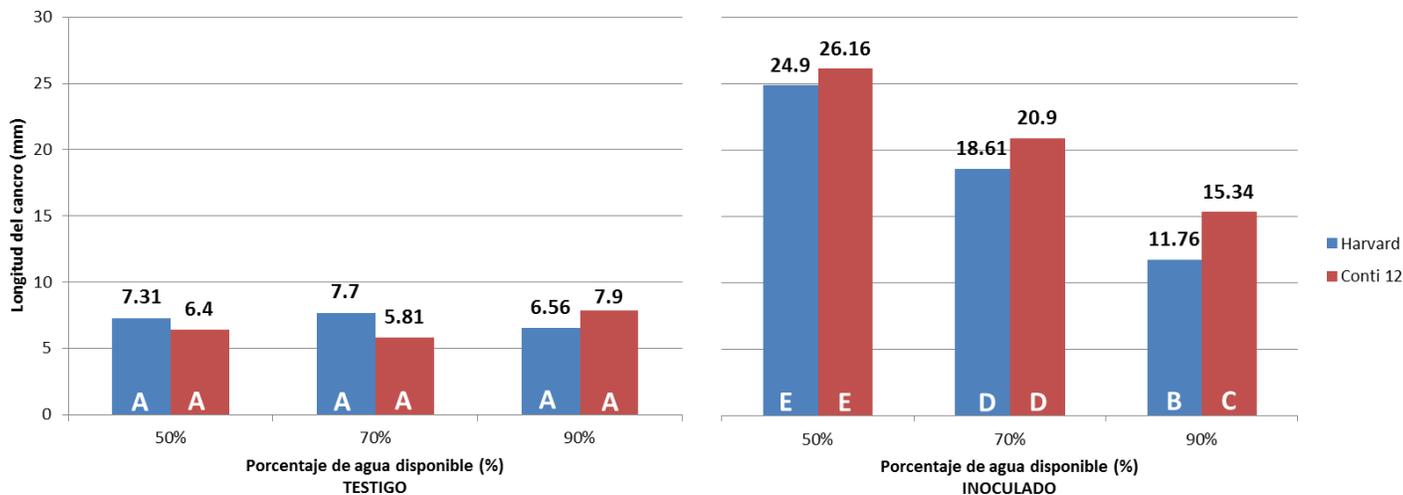


Figura 24: Longitud promedio de cancro (mm) en tallos testigos (izquierda) e inoculados con *Septoria musiva* (derecha) del clon Harvard y Conti-12, en cada tratamiento hídrico. Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Cuando se comparan los tratamientos inoculados entre los dos clones, según el nivel de estrés hídrico se puede ver que para las plantas sometidas a tratamientos hídricos con 50 y 70 % de reposición de lámina de agua disponible no presentan diferencias significativas. Si bien entre 50 y 70 % existen diferencias significativas, para un mismo régimen de riego, no existen diferencias significativas en los valores de longitud promedio de cancro entre Harvard y Conti-12. Contrariamente, para el tratamiento hídrico con 90 % de reposición de lámina de agua disponible se observan diferencias significativas entre los clones, mostrando Conti-12 una mayor susceptibilidad a *Septoria musiva* respecto a Harvard cuando el nivel de estrés es bajo. Para Conti-12 se obtuvo un valor promedio de longitud de cancro de 15,34 mm y para Harvard 11,76 mm para tratamiento hídrico de 90 %.

Por último, para un mismo tratamiento hídrico en aquellas plantas inoculadas con *S. musiva*, los valores de longitud promedio de canchros son mayores en Conti-12 que en Harvard.

En los valores promedios de porcentaje de cobertura perimetral del tallo por parte del canchro en ambos clones, para cada uno de los tratamientos hídricos se observa que entre clones en los tratamientos testigos (sin inoculación con *S. musiva*) no hay diferencias significativas entre ellos, independientemente del tratamiento hídrico. En los tratamientos inoculados con *Septoria* tampoco se observaron diferencias significativas entre clones para un mismo nivel de estrés hídrico. Si hubo diferencias significativas entre los tratamientos inoculados con el patógeno y los testigos. Si bien no hubo diferencias significativas entre clones en los tratamientos hídricos de las plantas inoculadas, sí se observaron diferencias significativas entre los tratamientos hídricos al que fueron sometidos. A medida que se disminuye el porcentaje de agua disponible de las plantas, aumenta el porcentaje de tallo rodeado por el canchro, es decir se puede observar valores superiores para los tratamientos de 50 %, seguido por 70 % y finalmente el 90 %. Ver figura 25 y anexo 8.

Finalmente, al igual que lo ocurrido con los valores de longitud de canchro, para un mismo nivel hídrico los valores de porcentaje cobertura perimetral del tallo rodeado por el canchro son mayores en el clon Conti-12.

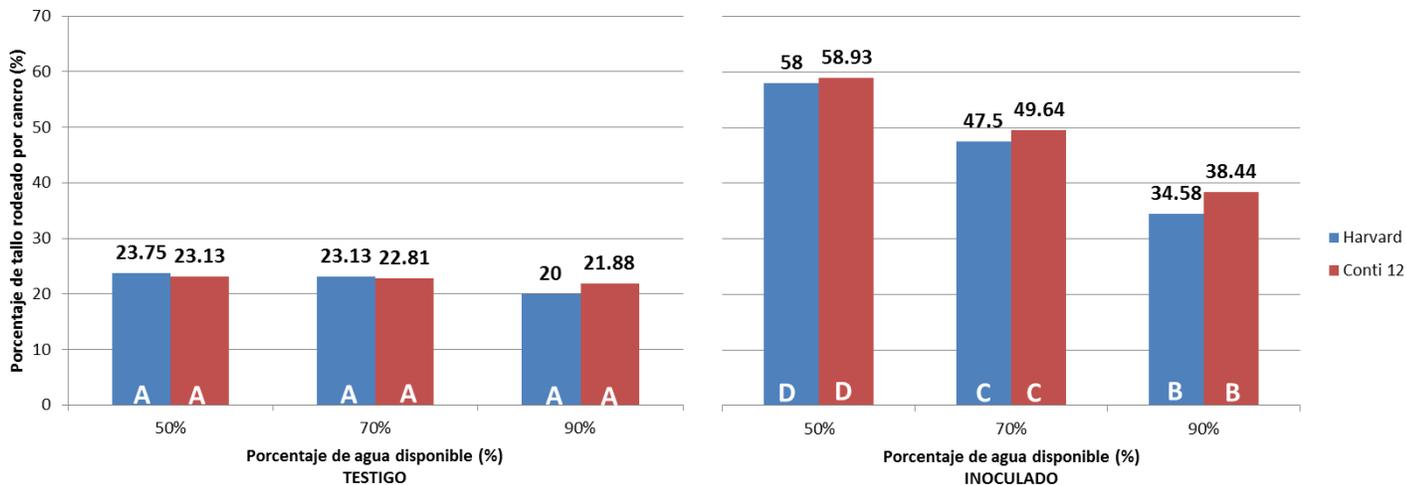


Figura 25: Porcentaje promedio del perímetro del tallo rodeado por el cancro (%) en tallos testigos (izquierda) e inoculados con *Septoria musiva* (derecha) del clon Harvard y Conti-12, para los diferentes tratamientos hídricos. Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

3 MEDICIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA INVASIÓN DE *Septoria musiva* EN HOJA SEGÚN ESTRÉS HÍDRICO

Para el clon Harvard, los porcentajes promedio de área necrótica en discos de hojas obtenidos, pueden observarse en la figura 26 y la tabla (en el anexo 9). Del análisis estadístico de los datos se puede observar que en los tratamientos testigos (no inoculados con el patógeno) no se observaron diferencias entre sí, independientemente del tratamiento hídrico. Si se observaron diferencias entre estos y los tratamientos inoculados con el patógeno. Del análisis de los tratamientos inoculados con *S. musiva* se observa que en el tratamiento hídrico de reposición del 50 % de agua disponible presenta diferencias significativas en relación con los tratamientos de 70 y 90 %, los cuales no difieren entre sí. A diferencia con lo observado en el ensayo de tallo, la infección de hojas aumenta cuando el estrés hídrico es menor para este clon, lo que queda demostrado por un mayor porcentaje de área necrótica. De esta forma, la mayor infección en hoja se

observó en el tratamiento de 90 % con un valor promedio de 39,31 % de área necrótica, seguido por el de 70 % con un valor de 37,96 %, y finalmente un 24,22 % de área necrótica para el tratamiento de 50 %.

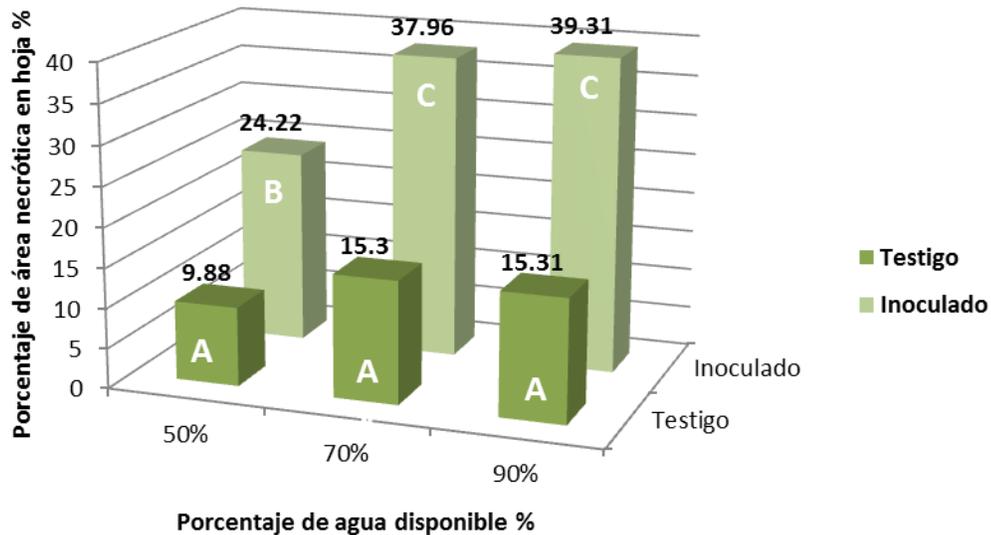


Figura 26: Porcentaje promedio de área necrótica (%) en discos de hojas para el clon Harvard, en cada combinación de tratamiento hídrico y de inoculación (inoculado con *Septoria musiva* y testigo). Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Para el clon Conti-12, los valores de porcentaje promedio de área necrótica en discos de hoja, para cada tratamiento, se observan en la tabla en el anexo 10 y en la siguiente figura 27. Del análisis estadístico de los datos se observa que los testigos no se diferenciaron significativamente entre sí independientemente del tratamiento hídrico al que pertenecían; pero sí se diferenciaron de los tratamientos inoculados. En estos últimos, se observa que en el tratamiento hídrico de reposición del 90 % del agua disponible presenta diferencias significativas con respecto a los otros dos tratamientos, es decir de 70 y 50 % del agua disponible, no presentando diferencias estadísticamente significativas

entre sí estos dos tratamientos. En la figura 28 se observan fotografías del ensayo de disco de hojas para el clon Conti-12.

Para este clon, Conti-12, el ensayo de hojas siguió el mismo patrón que el ensayo de tallos, el área necrótica en los discos de hojas fue mayor en los tratamientos con mayor estrés hídrico. Para el tratamiento de 50 % de reposición se observó un 39,19 % de área necrótica, para el de 70 % un 32,91 % y para el de 90 % que difiere significativamente de estos dos últimos un valor de 21,14 % de área necrótica.

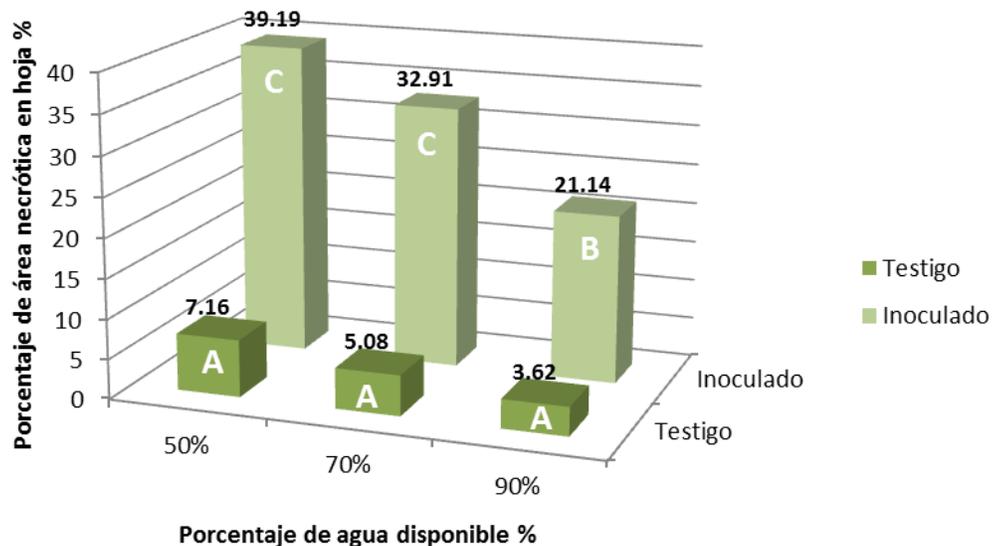


Figura 27: Porcentaje promedio de área necrótica (%) en discos de hojas para el clon Conti-12, en cada tratamiento hídrico y de inoculación (inoculado con *Septoria musiva* y testigo). Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

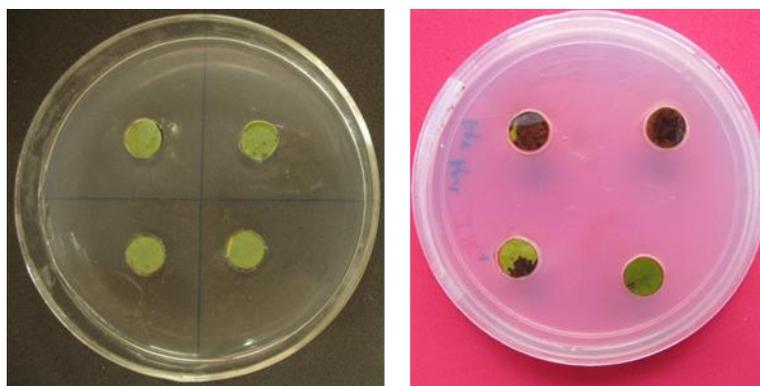


Figura 28: Fotografías de ensayo de discos de hojas para el clon Conti-12, para el tratamiento hídrico con 90% de reposición de lámina de agua testigo (izquierda) e inoculado con *Septoria musiva* (derecha) (Fotos del autor).

Comparando los clones estudiados, en los tratamientos testigos si bien no hay diferencias dentro de cada clon, entre clones se observan diferencias, el clon Conti-12 presentó menores valores de área necrótica en relación al clon Harvard (Figura 29 y Anexo 11); solamente el testigo del tratamiento hídrico del 50 % de reposición de agua disponible del clon Harvard no se diferenció significativamente de los testigos de Conti-12, pero si se observó diferencias con el tratamiento de reposición del 70 % y 90 %. Cabe recordar que Harvard 50 % tampoco se diferenció significativamente con estos dos últimos tratamientos del mismo clon.

Para los tratamientos inoculados con *S. musiva*, como se dijo anteriormente, siguen patrones diferentes en cada uno de los clones. En Conti-12 el porcentaje de área necrótica aumenta con el aumento en el estrés hídrico, lo contrario sucede en Harvard donde dicho porcentaje disminuye con el aumento del estrés hídrico. A partir de los resultados se puede señalar que el tratamiento de 90 % de agua disponible de Conti-12 no se diferenció significativamente del tratamiento de 50 % para el clon Harvard. Estos, a su vez se diferenciaron significativamente de los otros cuatro tratamientos, los cuales no

se diferencian entre sí, es decir Conti-12 para los tratamientos hídricos de 70 y 50 % y Harvard para los tratamientos de 70 y 90 %. Los mayores porcentajes de área necrótica fueron para el tratamiento de 90 % de Harvard con un valor promedio de porcentaje de 39,31 % de área necrótica, seguido por el tratamiento de 50 % del clon Conti-12 con un valor de 39,19 %.

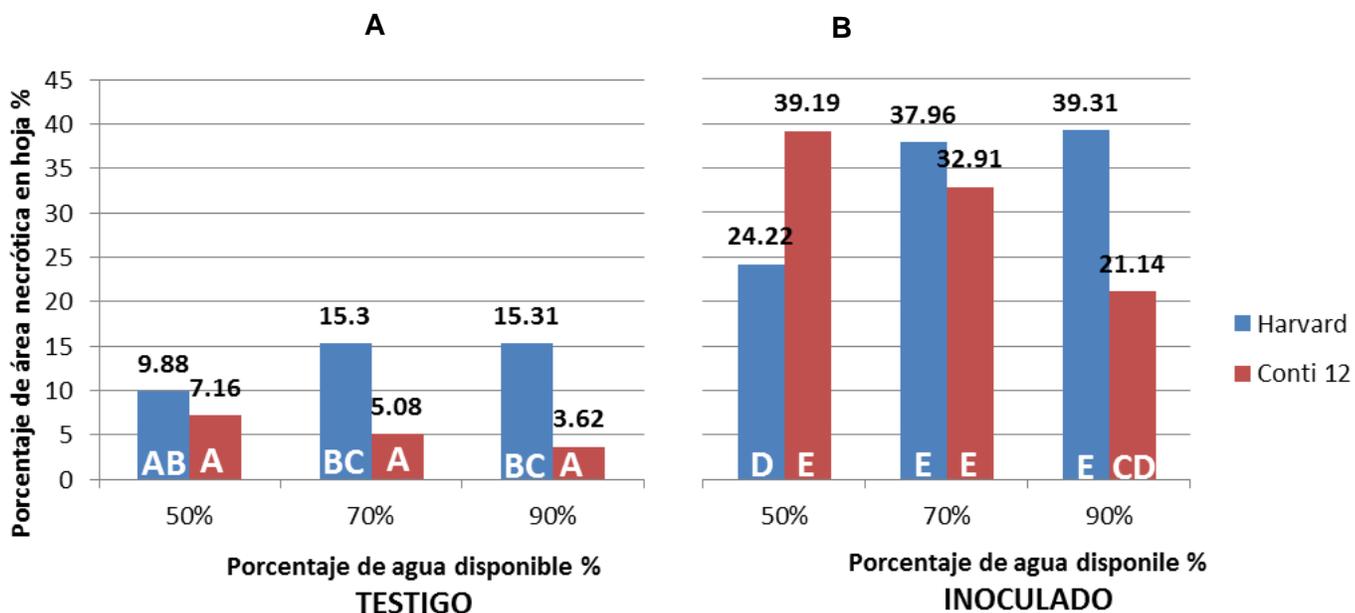


Figura 29: Porcentaje promedio de área necrótica (%) en discos de hojas para el clon Harvard y Conti-12, en cada tratamiento hídrico y de inoculación: testigo (gráfico A) e inoculado con *Septoria musiva* (gráfico B). Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Finalmente, se observa una mayor diferencia de porcentaje de área necrótica en discos de hojas entre los tratamientos inoculados y testigos para un mismo tratamiento hídrico en el clon Conti-12 que en Harvard.

DISCUSIÓN

Si bien la mayoría de los estudios sobre la interacción entre especies de álamo y *Septoria musiva* no tienen en cuenta la influencia de los factores ambientales, este trabajo se enfoca en dicha influencia. Este estudio establece que huéspedes bajo estrés hídrico, son más susceptibles al desarrollo de canchros por *S. musiva* en los dos clones de álamo analizados. A medida que aumenta el nivel de estrés se obtienen canchros de mayor longitud y de mayor porcentaje de cobertura perimetral del cancro en el tallo.

Aunque este análisis no indica cómo los factores del huésped influyen en los procesos de penetración y establecimiento, envueltos en la infección a través del tejido, si reflejan diferencias en la susceptibilidad de los clones y los efectos ambientales.

Nuestros resultados son consistentes con la conclusión general de que los factores ambientales influyen fuertemente en el desarrollo de canchrosis por hongos patógenos en plantas leñosas hospedantes (Bagga & Smalley, 1974; Biggs *et al*, 1983; Manion & Griffin, 1986; Guyon *et al*, 1996; McIntyre *et al*, 1996; Maxwell *et al*, 1997).

En la mayoría de los casos, la escasez de agua provoca un aumento en la gravedad de la canchrosis. Maxwell y colaboradores (1997) obtuvieron resultados similares a los reflejados en este trabajo en cuanto al efecto del estrés hídrico y la susceptibilidad a *S. musiva* en distintos clones de álamo. En primer lugar, plantas inoculadas estresadas o no, presentaron canchros más grandes que sus respectivos testigos. Por otro lado, plantas inoculadas estresadas de ambos clones, presentaron mayor longitud de cancro y porcentaje de tallo rodeado, que aquellas plantas no estresadas. Diversos autores han encontrado respuestas similares en trabajos realizados con *Populus* y otros patógenos en condiciones de estrés hídrico. Bagga y Smalley, (1974) observaron que *Hypoxyylon*

pruinatum produce canchros de mayor longitud en condiciones de baja humedad relativa y sequía en *Populus tremuloides* Mich. Ellos analizaron el efecto de un conjunto de variables ambientales y encontraron que la disponibilidad de agua en el perfil edáfico es el factor que más influye en la susceptibilidad a dicha enfermedad en álamo, por lo que concluyeron que cualquier factor que influya en el estrés hídrico del huésped aumenta la susceptibilidad al patógeno. Igualmente, Bruck y Manion (1980) demostraron que la incidencia de canchros de *H. pruinatum* a campo es mayor en sitios con baja disponibilidad de humedad en *Populus tremuloides* Mich. Dichos autores, analizaron las propiedades físicas y químicas del suelo y concluyeron que los parámetros físicos y químicos del suelo que están relacionados más directamente a la humedad, comprenden un sistema de variables que están altamente relacionados a la incidencia de cancro de *Hypoxylon* en *Populus tremuloides* Mich.

Guyon y colaboradores (1996) examinaron la incidencia de *Cytospora chrysosperma* en *Populus tremuloides* Michx, luego de exponerlos a estrés por sequía, por inundación y por defoliación, demostraron que *C. chrysosperma* produce canchros de mayor tamaño cuando las plantas son sometidas a condiciones de sequía con bajos potenciales agua, que sus respectivos testigos. Por el contrario, las plantas sometidas a estrés por inundación no mostraron diferencias significativas de longitud de cancro con respecto a los tratamientos testigos. Mientras que, las plantas con mayor porcentaje de defoliación, presentaron mayores longitudes de cancro con respecto a los testigos. El hecho que dos tipos de estrés diferentes y en principio no relacionados (sequía y defoliación) mostraron correlación con el tamaño del cancro sugiere que diferentes tipos de estrés pueden causar respuestas similares del huésped. El equipo de trabajo de McIntyre (1996), observaron mayor incidencia y longitud de canchros producidos por *Cytospora*

chrysosperma en *Populus tremuloides* en plantas estresadas hídricamente, tanto en otoño como en primavera, que aquellas que poseían mayor disponibilidad de agua.

Es necesario aclarar que existen autores que han obtenido resultados distintos. Biggs *et al* (1983), obtuvieron mayor incidencia y tamaño de cancro de *Cytospora chrysosperma* en *Populus* "NE-388" (*P. maximowiczii* x *P. trichocarpa*) asociados a mayores niveles de humedad de la corteza y potencial agua. Estos autores explican que esto puede deberse a la influencia de la humedad en la corteza, teniendo un efecto positivo en el establecimiento inicial del patógeno y no en la colonización posterior. Esta sutil diferencia podría ser especialmente significativa en situaciones donde interactúan patógenos débiles y estrés ambiental. Otro caso, es el trabajo realizado por LeBoldus *et al.* (2007), en el cual se midió la severidad de la enfermedad causada por *S. musiva* en cuatro híbridos de *Populus*, en diferentes niveles de contenido de agua. Dicho estudio no reflejó diferencias significativas entre los árboles estresados y no estresados en cuanto a la severidad de la enfermedad, concluyendo que el genotipo del clon es un determinante más importante de la severidad de la enfermedad, que la interacción estrés hídrico-genotipo del clon (en condiciones de invernadero). Estos autores comparan sus resultados con los obtenidos por Maxwell *et al.* (1997), considerando que las diferencias en los resultados entre ambos estudios, pueden deberse a la menor duración de tiempo que los clones estuvieron sometidos a estrés, el cual fue menor en el ensayo de LeBoldus *et al.* (2007), siendo posible que todavía no se manifestaran los efectos del estrés hídrico en la severidad de la enfermedad (56 días en el ensayo de LeBoldus *et al.* (2007) y 80 días en el ensayo de Maxwell *et al.* (1997)).

Nuestros resultados también son consistentes con el trabajo previamente publicado por Woodbury *et al.* (1994) que muestran que la exposición crónica al ozono aumentó

significativamente la incidencia y la gravedad de cancros causados por *S. musiva* en *Populus* híbrido DN34. Esto sugiere que numerosos agentes ambientales pueden tener diferentes mecanismos y efectos para inducir la susceptibilidad. Alternativamente, procesos más generales que están influenciados por un amplio rango de factores pueden regular la susceptibilidad.

Nuestros resultados difieren substancialmente con lo señalado por diversos autores que afirman una mayor susceptibilidad a la cancrrosis de álamo producida por *Septoria musiva* de los clones de *Populus x canadensis* con respecto a los *P. deltoides*, con algunas excepciones dentro de cada grupo (Bakarcic, 1978; Calderón *et al*, 2004; Cortizo, 2005; Riu *et al*, 2009; Senisterra *et al.*, 2012). Cabe señalar que en nuestro trabajo el clon Conti-12 (*Populus x canadensis*) mostró una longitud promedio de cancro mayor que se diferenció significativamente del valor presentado para el clon Harvard (*P. deltoides*) para el tratamiento hídrico de mayor porcentaje de riego del agua disponible (90 %) entre las plantas inoculadas. Si bien para los demás tratamientos hídricos entre las plantas inoculadas no hubo diferencias significativas entre los clones tanto para la longitud promedio del cancro como para el porcentaje promedio de cobertura perimetral del cancro en el tallo, como así también para los valores de porcentaje de cobertura perimetral para el tratamiento hídrico del 90 % del agua disponible, se puede observar valores mayores para el clon Conti-12 para cada una de estas dos variables en comparación con el clon Harvard para un mismo tratamiento hídrico. Tal vez, si el ensayo hubiese tenido una duración mayor, los clones se hubiesen diferenciado significativamente para las variables mencionadas.

Por otro lado, en el ensayo de hoja realizado, se obtuvieron resultados contradictorios entre los diferentes clones. Para Harvard se obtuvo mayor porcentaje de

área necrótica en disco de hoja en plantas cuando el nivel de humedad era mayor. Mientras que para Conti-12, cuando el nivel de estrés hídrico fue mayor, se obtuvieron los mayores porcentajes de área necrótica. En un principio se esperaba que el ensayo de hoja siguiese el mismo patrón que el ensayo de tallo, es decir, que se presentara mayor área necrótica en las hojas más estresadas como ocurrió para Conti-12.

Para el ensayo de disco de hojas, no se encontraron trabajos que relacionen los efectos del estrés hídrico en la interacción de *S. musiva* y *Populus spp.*, a excepción del trabajo realizado por Maxwell *et al* (1997). En dicho estudio, el ensayo de disco de hojas, mostró algunas diferencias con este trabajo. Si bien la respuesta de los discos de hoja también fue sensible a condiciones del hospedador, los discos de hojas bien regados desarrollaron más necrosis que los de los árboles con problemas de agua para ambos clones, lo cual concuerda con los datos obtenidos en este trabajo para el clon Harvard, difiriendo así con lo obtenido para Conti-12 que presentó mayor necrosis de hoja en plantas más estresadas. Al igual que en este trabajo, dichos autores indicaron una inconsistencia entre los resultados del ensayo de tallo y el de hoja.

CONCLUSIÓN

En esta tesina se observó el efecto del estrés hídrico como factor que modifica la susceptibilidad al hongo patógeno *Septoria musiva* en tallos y hojas de dos clones diferentes de álamos, Harvard (*Populus deltoides*) y Conti-12 (*Populus x canadensis*).

Aunque esta investigación no indica cómo el estrés hídrico influye en los procesos de penetración, si reflejan diferencias en la colonización de la infección a través del tejido.

Tanto en el ensayo de tallo como en el de hoja se pudo observar cómo influye el estrés hídrico en la severidad de la enfermedad. El estrés hídrico causó cancros de mayor longitud y mayor porcentaje de cobertura perimetral en tallo para ambos clones, a medida que disminuye la disponibilidad de agua en las plantas.

También se pudo ver el efecto en el crecimiento en longitud del cancro y el porcentaje de cobertura perimetral en tallo causado por la presencia de *Septoria musiva*, dado que para un mismo clon y tratamiento hídrico, las plantas inoculadas con dicho hongo, en comparación con las no inoculadas, se diferenciaron significativamente para estas variables, mostrando valores superiores y mostrando una marcada acción del patógeno.

Cabe resaltar que entre clones no se encontraron diferencias en la infección entre las plantas inoculadas si se los compara en un mismo nivel de humedad, a excepción del valor de longitud de cancro para el tratamiento de menor estrés hídrico (90 por ciento) donde el clon Harvard presentó una longitud promedio de cancro menor difiriendo estadísticamente de Conti-12. Tal vez, si el ensayo hubiese tenido una duración mayor las

diferencias en los otros niveles de agua disponible hubiesen resultado estadísticamente diferentes, por lo que sería aconsejable realizar nuevos estudios como este que comparen la susceptibilidad entre los dos clones, ya que son muy utilizados por los productores de la región y dado que muchos investigadores han documentado una mayor susceptibilidad a la enfermedad en Conti-12. También, sería importante observar que sucede en cuanto a diferencias significativas entre clones cuando son sometidos a mayores niveles de estrés que los propuestos en este trabajo.

En cuanto al ensayo de hojas, éste mostró diferencias importantes entre los clones estudiados. El clon Harvard manifestó una respuesta inversa a lo esperado, a medida que aumenta la disponibilidad de agua en el suelo, aumenta el área necrótica del limbo foliar en las hojas inoculadas con *Septoria*. Mientras que el clon Conti-12, respondió de igual manera que en los tallos, es decir mayor área necrótica producida por el patógeno en aquellas hojas con mayor estrés hídrico. Esta situación contradictoria puede deberse a varios motivos, nosotros hipotetizamos que uno de ellos es que el genotipo del clon es un determinante importante en la severidad de la infección. Esta situación puede influenciar en que al haber mayor contenido de humedad en las hojas, no hay cierre estomático, aberturas necesarias a *Septoria* para la infección. Influenciando esta situación en mayor medida la infección del patógeno que la colonización.

La respuesta diversa observada entre los resultados de los ensayos de cancro en tallo y de área necrótica en disco de hoja, nos puede estar indicando que existen mecanismos de defensa diferentes, en los distintos órganos de la planta.

Es importante destacar el carácter pionero de nuestro trabajo, dado que a nivel nacional no se encontraron trabajos que relacionen el efecto del estrés hídrico en el

aumento de la susceptibilidad al patógeno. Como así también a nivel mundial donde la información es escasa.

Teniendo en cuenta que el cultivo de álamos es la principal actividad forestal en la provincia, sumado al hecho que el patógeno es endémico en la región provocando grandes pérdidas económicas y a que por las condiciones climáticas de la zona, el agua es el principal factor limitante de los cultivos, consideramos que nuestro trabajo aporta información valiosa para el manejo de la salud de las plantaciones forestales de álamo.

La información generada en este trabajo resulta de máxima utilidad para los productores, los cuales deberían tomar los recaudos necesarios en el manejo del agua en las plantaciones de modo de disminuir el efecto del estrés hídrico. Situación ésta que puede provocar aumento de la susceptibilidad a la enfermedad por parte de las plantas. Este conocimiento permitirá a los productores maximizar los beneficios del cultivo y reducir al mínimo el riesgo a cancrisis. Esto es primordial, ya que como se mencionó anteriormente no existen mecanismos de defensa contra la enfermedad en forestales, salvo la elección de variedades resistentes y el control de las plantas en el vivero, entonces el manejo del ambiente en el que se encuentra la plantación influye de manera importante en el efecto del hongo sobre el álamo.

Por todo lo mencionado anteriormente es necesario generar más investigaciones que proporcionen información acerca de si el estrés hídrico aumenta la susceptibilidad al ataque de *Septoria musiva*, aumentando la colonización e infección, como así también investigaciones que permitan encontrar clones que sean resistentes a la enfermedad y que además tengan buena adaptación a las condiciones ambientales de la región.

BIBLIOGRAFÍA

- AGRIOS, G.N. (2011). *Fitopatología*. Editorial Limusa. 2º edición. Distrito Federal, México. Cap. 11.
- AMICO, I. (2002). Viverización y cultivo de álamos y sauces en el NO del Chubut. INTA, E.E.A. Esquel, 48 pp. http://inta.gob.ar/documentos/viverizacion-y-cultivo-de-alamos-y-sauces-en-el-no-de-chubut/at_multi_download/file/manual_salix.pdf [Consultado: 20/04/2014].
- ANSELMINI, N., MAZZAGLIA, A., & GIORCELLI, A. (2006). Enfermedades de Salicáceas. Actas de Jornadas de Salicáceas 2006. Disertación. 1-19 pp.
- BAGGA, D.K. & SMALLEY, E.B. (1974). The development of *Hypoxyylon canker* of *Populus tremuloides* role of interacting environmental factors. *Phytopathology*, 64: 658–662.
- BAKARCIC, M. (1978). Comportamiento de clones de *Populus deltoides* a "Cancrosis" (*Septoria musiva* Peck) en el Delta del Paraná. *III Jornadas Fitosanitarias Argentinas*. San Miguel de Tucumán. U.N.T. Tomo II. 519-525 pp.
- BALL J., CARLE J. & DEL LUNGO, A. (2005). Contribución de álamos y sauces a la silvicultura sostenible y al desarrollo rural. *UNASYLVA, FAO*, 56: N°221. 7 pp. <http://www.fao.org/docrep/008/a0026s/a0026s02.htm> [Consultado: 02/05/2014].
- BARNETT, H.C. (1959). Plant disease resistance. *Annu. Rev. Microbiol.* 13, 191-209 pp.
- BEALE, I. & ORTÍZ, E.C. (2013). El Sector Forestal Argentino: Bosques Implantados. Revista de Divulgación Técnica Agrícola y Agroindustrial. Facultad de Ciencias Agrarias de Catamarca., 41(1852-7086), 1–6 pp. <http://www.agrarias.unca.edu.ar/fcaweb/SIVITEC/redita-revista41.pdf>. [Consultado: 03/05/2014].
- BENEGAS, J.G. (2015). Situación actual de la cancrrosis del álamo causada por *Septoria musiva* en la provincia de Mendoza. Tesis de grado. Facultad de Cs. Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. 75 pp.
- BERCOVICH, N. (2000). Evolución y situación actual del complejo forestal en Argentina. *División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID/IDRC)*. Cap. I. 67 pp.
- BIGGS, A.R., DAVIS, D.D. & MERRILL, W. (1983). Cutting development and restriction of wound-associated infection in *Populus*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 5:269-272 pp.

- BORODOWSKI, E. (2006). Álamos y sauces en el Delta del Paraná: situación del sector y silvicultura. Actas de las I Jornadas Argentinas de Salicáceas, Buenos Aires, Argentina, 61-70 pp.
- BRUCK, R.I. & MANION P.D. (1980). Interacting environmental factors associated with the incidence of *Hypoxyylon* canker on trembling aspen. *Canadian Journal of Forest Research*, 10:17–24 pp.
- BUSTAMANTE, J.A., & PÉREZ, S.A. (2008). Comportamiento de clones de álamos en Barreal. San Juan, Argentina. *Rev. FCA UNCuyo*, Argentina. Tomo XL, 73–78 pp.
- CALDERÓN, A., BUSTAMANTE, J., RIU, N., STTEPANI, V. & PÉREZ, S. (2004). Red de ensayos de adaptación y comportamiento de clones de álamos en la región regadía de Cuyo. *SAGPyA Forestal* n° 32. 31-35 pp.
- CALDERÓN, A., SETTEPANI, V., BUSTAMANTE, J. A., & RIU, N. E. (2005). Comparación de materiales, y épocas de plantación para *Populus* sp. Mendoza (Argentina). *Rev. FCA UNCuyo*, Tomo XXXVI, 61–66 pp.
- CALDERÓN, A.D. (2006). Silvicultura y situación de los álamos en Cuyo. *Actas Jornadas de Salicáceas 2006*. Disertación. 71–79 pp.
- CELLERINO, G.P. (1999). Review of fungal diseases in Poplar. *Food and Agriculture Organization of The United Nations*. Forestry Department. Rome. AC 492/E. 55 pp.
- CHAMBERS, P.G.S., BORRALHO, N.M.G. (1997). Importance of survival in short rotation tree breeding programs. *Canadian Journal of Forest Research*. 27: 911-7.
- CIMOLAI, T. (2011). *Septoria* spp. disease and black cottonwood (*Populus trichocarpa*) in western North America: a review with special emphasis on *Septoria musiva*. Submitted as an Appendix to B.S.F. thesis entitled “*Septoria* spp. Infection among North American Northwest Coast Provenances of Black Cottonwood (*Populus trichocarpa*): a Field Study of Natural Infection in a Fraser Valley Plantation”. 133 pp.
- COMISIÓN NACIONAL DEL ÁLAMO DE LA ARGENTINA. (2012). Informe Nacional Período 2008-2011. Borodowski, E. (Coord.) y colaboradores, 46 pp.
- COMISIÓN NACIONAL DEL ÁLAMO DE LA ARGENTINA. (s/f). Informe Nacional. República Argentina. 10 pp.
- CORTIZO, S. (2005). Álamos en el Delta del Paraná. *Mejores árboles para más forestadotes. Capítulo III: Subprograma Álamos en el Delta del Paraná. Proyecto Forestal de Desarrollo INTA. Argentina*, 137-160 pp.
- COYLE, D.R.; COLEMAN, M.D.; DURANT, J.A.; NEWMAN, L.A. (2006). Multiple factors affect pest and pathogen damage on 31 *Populus* clons in South Carolina. *Biomass and Bioenergy*, 30:759-768 pp.

- DALE, V.H.; JOYCE, L.A.; MCNULTY, S.; NEILSON, R.P.; AYRES, M.P.; FLANNIGAN, M.D.; HANSON, P.J.; IRLAND, L.C.; LUGO, A.E.; PETERSON, C.J.; SIMBERLOFF, D.; SWANSON, F.J.; STOCKS, B.J. & WOTTON, B.M. (2001). *Climate change and forest disturbances*. Bioscience, 51(9): 723-734 pp.
- DICKMANN, D.I. & KUZOVKINA, J. (2008). *Poplars and Willows of the World, with Emphasis on Silviculturally Important Species*. Rome, Italy: *FAO Forest Management Division Working Paper IPC/9-2*. 129 pp.
- FAO. (1980). *Los álamos y los sauces*. Colección FA: Montes N°10. Roma. 349 pp.
- FAO. (2008). *Síntesis de los informes nacionales de progreso recibidos, elaborados para la 23ª Reunión de la Comisión Internacional del Álamo, FAO en colaboración con la Universidad Forestal de Beijing, China, 27–30 de octubre de 2008*. Documento de trabajo de la Comisión Internacional del Álamo IPC/6, División de Ordenación Forestal, FAO, Roma. 79 pp.
- FAO. (2010a). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: Informe principal*. Estudio FAO Montes n° 163. Roma, Italia. 347 pp.
- FAO. (2010b). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: Informe Nacional: Argentina*. F.A.O. 66 pp.
- FAO. (2011). *Situación de los bosques del mundo*. F.A.O. Roma, Italia. Cap. 1.
- FAO. (2012a). *El estado de los bosques del mundo 2012*. F.A.O. Roma, Italia. 50 pp.
- FAO. (2012b). *Improving lives with poplars and willows. Synthesis of Country Progress Reports. 24th Session of the International Poplar Commission, Dehradun, India, Working Paper IPC/12*. Forest Assessment, Management and Conservation Division, FAO, Rome. 88 pp. Disponible en :<http://www.fao.org/forestry/ipc2012/en/> [Consultado:12/04/2014].
- FIGUEREDO DOS SANTOS, Á., MACHADO, E. B., STANOSZ, G. R., & SMITH, D. R. (2010). *Primeiro relato da ocorrência de Septoria musiva em álamo no Brasil*. *Tropical Plant Pathology*, 35(1): 52–53 pp.
- GARCÍA, J.D. (2002). *Forestación con Salicáceas en áreas bajo riego en Patagonia*. Proyecto Forestal de Desarrollo en el SAGyP-BIRF. Núcleo de Extensión Forestal Patagonia. 36 pp.
- GÓMEZ, C.; GRESLEBIN, A.; RAJCHENBERG, M. (2011). *Plagas y enfermedades de Pinus sp. de la Región Andino Patagónica de Argentina*. Manual de Campo. Editorial Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Buenos Aires. 90 pp.http://www.patologiaforestal.com/descargas/Plagas_y_Enfermedades_en_Plantaciones_de_Patagonia.pdf Consultado el 15/03/14.
- GUYON, J.C., JACOBI, W.R. & McINTYRE G.A. (1996). *Effects of environmental stress on the development of Cytospora canker of aspen*. *Plant Disease*, 80 (12):1320–1326 pp.

- HOUSTON, D.R. (1993). "A Host-Stress-Saprogen Model for forest dieback-decline diseases" en: MANION, P. D. & LACHANCE, D (1993). *Forest Decline Concepts*. Editorial The American Phytopathological Society. St Paul, Minnesota, USA. 3-25 pp.
- KOLLERT, W. & BORODOWSKI, E.D. (2014). Situación de las Salicáceas en el mundo. *Actas Jornadas de Salicáceas 2014*. Disertación. 10 pp.
- KOZLOWSKI, T.T. (1968). Introduction. In "*Water Deficits and Plants Growth*". Editorial: T.T. KOZLOWSKI. Academic Press, New York. Vol. 2.
- KOZLOWSKI, T.T. (1979). *Tree growth and environmental stresses*. University of Washington Press. Vol 7. 194 pp.
- KRUPINSKY, J.M. (1989). Variability in *Septoria musiva* in Aggressiveness. *Phytopatology*. 79(4):413–416 pp.
- LeBOLDUS, J.M.; BLEINS, P.V. & THOMAS, B.R. (2007). Evaluating the interaction between genotype and water stress in the hybrid poplar-*Septoria musiva* pathosystem. *Canadian Journal of Botany*, 85:1098-1102 pp.
- LOEHLE, C.; NAMKOONG, G. (1987). Constraints on tree breeding: growth tradeoffs, growth strategies and defensive investments. *Forest Science* 33: 1089-97 pp.
- LUCERO, G.S. (2000). Ruolo dello stress idrico nella dinamica degli inoculi e negli attacchi di *Biscogniauxia mediterranea*, *Armillaria* spp. e *Phytophthora* spp. nel deperimento delle querce, University of Tuscia, Ph.D. thesis.
- LUCERO, G.S. RIU N.; PIZZUOLO P.; ROBLEDO S. & HAPON V. (2011). Incidencia en hojas a *Septoria musiva* de seis clones de álamos en Mendoza- Argentina. Trabajo Técnico; *Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina*. 5 pp.
- LUCERO, G.S. (2011). Enfermedades de las Salicáceas. Disertación; Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. *Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina*. 4 pp.
- LUCERO, G.S.; RIU, N.; PIZZUOLO, P.H.; SOTO BECERRA, A.R., OZOLLO, G., BOITEUX, J. & HAPON, M.V. (2014a). Comparación de respuestas de clones de álamo a infecciones "in vitro" de *Septoria musiva* sobre tallos. Jornadas de Salicáceas 2014. *Cuarto Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina*. Trabajo técnico. 5 pp.
- LUCERO, G.S; RIU, N.; PIZZUOLO, P.H.; PERALTA, F.J.M; SOTO BECERRA, A.R., OZOLLO, G., BOITEUX, J. & HAPON, M.V. (2014b). Comportamiento diferencial de clones de álamo a la inoculación de hojas con *Septoria musiva*. Jornadas de Salicáceas 2014. *Cuarto Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina*. Trabajo técnico. 6 pp.

- MANION, P.D. & GRIFFIN, D.H. (1986). Sixty-five years of research on *Hypoxyylon* canker on Aspen. *Plant Disease*, 70 (8):803-808 pp.
- MANION, P.D. & LACHANCE, D. (1993). *Forest Decline Concepts*. Editorial The American Phytopathological Society. St Paul, Minnesota, USA. 250 pp.
- MAXWELL, D.L.; KRUGER, E.L. & STANOSZ, G.R. (1997). Effects of water stress on colonization of poplar stems and excised leaf disks by *Septoria musiva*. *Phytopathology*, 87 (4):381–388 pp.
- McINTYRE G.A., JACOBI, W.R. & RAMALEY, A.W. (1996). Factors affecting *Cytospora* canker occurrence on aspen. *Journal of Arboriculture*. 22 (5):229– 233 pp.
- MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PRODUCTIVA (2013). Mesa de Implementación “Producción y Procesamiento de Recursos Forestales”. Argentina innovadora 2020 Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación - Subsecretaría de Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. 28 pp.
- MONTEOLIVA, G., & SENISTERRA, S. (2008). Efecto del sitio, el origen y el clon sobre el crecimiento y propiedades de la madera de *Populus*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentación (INIA). *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 17(3), 261–270 pp.
- NETZER, D.A.; TOLSTED, D.N.; OSTRY, M.E.; ISEBRANDS, J.G.; RIEMENSCHNEIDER, D.E.; WARD, K.T. (2002). Growth, yield, and disease resistance of 7- to 12-year old poplar clons in the north central United States. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture , Forest Service, North Central Research Station. *Gen. Tech. Rep. NC-229*:1-31 pp.
- NOWAK, J.T.; BERISFORD, C.W. (2000). Effects of intensive forest management practices on insect levels and loblolly pine growth. *Environmental Entomology*, 93:336-41 pp.
- OSTRY, M. & Mc NABB, H.S. Jr. (1985). Susceptibility of *Populus* species and hybrids to disease in the North Central United States. *Plant Disease*, 69:755-757 pp.
- OSTRY, M.E. & BERGUSON, W.E. (1993). Selecting hybrid Poplars to reduce disease risk may also reduce biomass yield. *Tree Planters' Notes*, 44:128–131pp.
- OSTRY, M.E.; McROBERTS, R.E.; WARD, K.T. & RESENDEZ, R. (1988). Screening hybrid poplars in vitro for resistance to leaf spot caused by *Septoria musiva*. *Plant Disease*, 72 (6):497-499 pp.
- PALMER, M.A.; SCHIPPER Jr, A.L.; OSTRY, M.E. (1980). How to identify and control *Septoria* leaf-spot and canker of poplar. Technical reference, North Central For Exp. Stn., St Paul. MN.

- PIZZUOLO, P.H. (s/f). Deuteromycotina (Hongos imperfectos). Apuntes de clase. Cátedra de Fitopatología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. 6 pp.
- POZZO ARDIZZI, M.C. (2014). *Cancrosis del álamo en plantaciones comerciales de la región del Comahue*. Estado actual y perspectivas (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires). 208 pp.
- REIGOSA, J.M., PEDROL, N. & SÁNCHEZ, A. (2004). *La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis*. Editorial Thomson. Madrid, España. Cap. 38.
- RIEMENSCHNEIDER, R.E.; STANTON, B.J.; VALLÉE, G. & PÉRINET, P. (2001). *Poplar breeding strategies*. Ed: Dickmann, D.I., Isebrand, J.G., Eckenwalde, J.E. and Richardson, J. Poplar culture in North America. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada: 43-76 pp.
- RIU, N., LUCERO, G., PIZZUOLO, P., PÉREZ HURTADO, R., & ROBLEDO, S. (2009). Susceptibilidad en fuste de distintos clones de *Populus* a *Septoria musiva* en Mendoza, Argentina. *Jornadas Salicáceas, Mendoza, Argentina*. 5 pp.
- ROBINSON, D.J., RAFFA, K.F. (1998). Productivity, drought tolerance and pest status of hybrid *Populus*: tree improvement and silvicultural implications. *Biomass and Bioenergy*, 14:1-20 pp.
- SALISBURY, F.B. & ROSS, C.W. (2000). *Fisiología de las plantas 3*. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Editorial Paraninfo. Madrid, España. Cap. 26, 907-943 pp.
- SCHOENEWEISS, D.F. (1975). Predisposition, stress and plant disease, *Ann. Rev. Phytopathology*, 13:193-211 pp.
- SENISTERRA, G., MURACE, M., DUCID, M. & MARQUINA, J. (2012). Susceptibilidad a *Septoria musiva* de híbridos inter e intraespecíficos de *Populus spp.* implantados en dos micrositios de la Pampa Húmeda Argentina. *Rev. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 44(1), 65–75 pp.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. (2006). *Fisiología Vegetal*. Volumen 2. Ed. Universitat Jaume I. Castello de la Plana, Valencia, España. Cap. 25. 1129-1196.
- THOMPSON, G.E. (1941). Leaf-spot disease of poplars caused by *Septoria musiva* and *S. populicola*. *Phytopathology*, 31:241-254 pp.
- WELCKER, C.; BOUSSUGE, B.; BENCIVENNI, C.; RIBAUT, J. M. & TARDIEU, F. (2007). Are source and sink strengths genetically linked in maize plants subjected to water deficit? A QTL study of the responses of leaf growth and of anthesis-silking interval to water deficit. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 339-349 pp.
- WOODBURY, P.B., LAURENCE, J.A. & HUDLER, G.W. (1994). Chronic ozone exposure increases the susceptibility of hybrid *Populus* to disease caused by *Septoria musiva*. *Environmental Pollution*, 86:109-114 pp.

YARWOOD, C.E., & SYLVESTER, E.S. (1959). The half-life concept of longevity of plant pathogens. *Plant Dis. Rep.*, 43:125-128 pp.

ZALENSNY, R.S.; HALL, R.B.; BAUER, E.O.; RIEMENSCHNEIDER, D.E. (2003). Shoot position affects root initiation and growth of dormant unrooted cuttings of *Populus*. *Silvae Genetica*. 52:273-9 pp.

ANEXOS

ANEXO 1: Potencial agua (ψ) promedio al alba (kgf/cm^2) en hojas del clon Harvard y Conti-12, para cada tratamiento hídrico y de inoculación (Inoculado con *Septoria musiva* y testigo).

Clon	Hora	Tratamiento hídrico	Inoculado (1) o No Inoculado (0)	Media	\pm Error Stand.	**
Harvard	Alba	50%	Inoculado	-2,90	0,19	A
Harvard	Alba	50%	No inoculado	-2,85	0,17	A
Conti 12	Alba	50%	Inoculado	-2,60	0,22	AB
Conti 12	Alba	50%	No inoculado	-2,55	0,13	AB
Harvard	Alba	70%	No inoculado	-2,30	0,17	BC
Harvard	Alba	70%	Inoculado	-2,30	0,13	BC
Conti 12	Alba	70%	No inoculado	-2,15	0,13	BC
Conti 12	Alba	70%	Inoculado	-2,05	0,10	C
Conti 12	Alba	90%	Inoculado	-1,58	0,19	D
Harvard	Alba	90%	No inoculado	-1,55	0,15	D
Harvard	Alba	90%	Inoculado	-1,40	0,14	D
Conti 12	Alba	90%	No inoculado	-1,35	0,15	D

** Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

ANEXO 2: Potencial agua (ψ) promedio a la tarde (kgf/cm²) en hojas del clon Harvard y Conti-12, para cada tratamiento hídrico y de inoculación (Inoculado con *Septoria musiva* y testigo).

Clon	Hora	Tratamiento hídrico	Inoculado (1) o No Inoculado (0)	Media	± Error Stand.	**
Conti 12	Tarde	50%	No inoculado	-10,95	0,15	A
Conti 12	Tarde	50%	Inoculado	-10,90	0,10	A
Harvard	Tarde	50%	Inoculado	-10,65	0,17	A
Harvard	Tarde	50%	No inoculado	-10,45	0,30	A
Harvard	Tarde	70%	Inoculado	-9,15	0,10	B
Conti 12	Tarde	70%	No inoculado	-9,05	0,36	B
Conti 12	Tarde	70%	Inoculado	-8,98	0,23	B
Harvard	Tarde	70%	No inoculado	-8,93	0,18	B
Conti 12	Tarde	90%	No inoculado	-6,85	0,17	C
Conti 12	Tarde	90%	Inoculado	-6,80	0,22	C
Harvard	Tarde	90%	No inoculado	-6,50	0,24	C
Harvard	Tarde	90%	Inoculado	-6,45	0,33	C

** Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

ANEXO 3: Longitud promedio de cancro (mm) en tallos del clon Harvard, sometidos a diferentes tratamientos hídricos y de inoculación (Inoculado con *Septoria musiva* y testigo).

Clon	Tratamiento hídrico	Inoculado (1) o No Inoculado (0)	Media	± Error Stand.	**
Harvard	90%	0	6,56	± 0,64	A
Harvard	50%	0	7,31	± 0,32	A
Harvard	70%	0	7,7	± 0,76	A
Harvard	90%	1	11,76	± 1,07	B
Harvard	70%	1	18,61	± 1,77	C
Harvard	50%	1	24,9	± 1,78	D

** Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

ANEXO 4: Porcentaje (%) promedio de cobertura del perímetro por parte del cancro en tallos del clon Harvard, sometidos a diferentes tratamientos hídricos y de inoculación (Inoculado con *Septoria musiva* y testigo).

Clon	Tratamiento hídrico	Inoculado (1) o No Inoculado (0)	Media ± Error Stand.	± Error Stand.	**
Harvard	90%	0	20	± 0,74	A
Harvard	70%	0	23,13	± 1,01	A
Harvard	50%	0	23,75	± 1,41	A
Harvard	90%	1	34,58	± 2,17	B
Harvard	70%	1	47,5	± 2,79	C
Harvard	50%	1	58	± 2,00	D

** Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

ANEXO 5: Longitud promedio de cancro (mm) en tallos del clon Conti-12, sometidos a diferentes tratamientos hídricos y de inoculación (Inoculado con *Septoria musiva* y testigo).

Clon	Tratamiento hídrico	Inoculado (1) o No Inoculado (0)	Media	± Error Stand.	**
Conti 12	70%	0	5,81	± 0,40	A
Conti 12	50%	0	6,4	± 0,66	A
Conti 12	90%	0	7,9	± 0,83	A
Conti 12	90%	1	15,34	± 1,37	B
Conti 12	70%	1	20,9	± 1,49	C
Conti 12	50%	1	26,16	± 1,29	D

** Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

ANEXO 6: Porcentaje (%) promedio de cobertura del perímetro por parte del cancro en tallos del clon Conti-12, sometidos a diferentes tratamientos hídricos y de inoculación (Inoculado con *Septoria musiva* y testigo).

Clon	Tratamiento hídrico	Inoculado (1) o No Inoculado (0)	Media ± Error Stand.	± Error Stand.	**
Conti 12	90%	0	21,88	± 0,63	A
Conti 12	70%	0	22,81	± 0,91	A
Conti 12	50%	0	23,13	± 0,90	A
Conti 12	90%	1	38,44	± 2,49	B
Conti 12	70%	1	49,64	± 3,08	C
Conti 12	50%	1	58,93	± 3,40	D

** Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

ANEXO 7: Longitud promedio de cancro (mm) en tallos del clon Harvard y Conti-12, sometidos a diferentes tratamientos hídricos y de inoculación (Inoculado con *Septoria musiva* y testigo).

Clon	Tratamiento hídrico	Inoculado (1) o No Inoculado (0)	Media	± Error Stand.	**
Conti 12	70%	0	5,81	± 0,40	A
Conti 12	50%	0	6,4	± 0,66	A
Harvard	90%	0	6,56	± 0,64	A
Harvard	50%	0	7,31	± 0,32	A
Harvard	70%	0	7,7	± 0,76	A
Conti 12	90%	0	7,9	± 0,83	A
Harvard	90%	1	11,76	± 1,07	B
Conti 12	90%	1	15,34	± 1,37	C
Harvard	70%	1	18,61	± 1,77	D
Conti 12	70%	1	20,9	± 1,49	D
Harvard	50%	1	24,9	± 1,78	E
Conti 12	50%	1	26,16	± 1,29	E

** Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

ANEXO 8: Porcentaje (%) promedio de cobertura del perímetro por parte del cancro en tallos del clon Harvard y Conti-12, sometidos a diferentes tratamientos hídricos y de inoculación (Inoculado con *Septoria musiva* y testigo).

Clon	Tratamiento hídrico	Inoculado (1) o No Inoculado (0)	Media \pm Error Stand.	\pm Error Stand.	**
Harvard	90%	0	20	\pm 0,74	A
Conti 12	90%	0	21,88	\pm 0,63	A
Conti 12	70%	0	22,81	\pm 0,91	A
Conti 12	50%	0	23,13	\pm 0,90	A
Harvard	70%	0	23,13	\pm 1,01	A
Harvard	50%	0	23,75	\pm 1,41	A
Harvard	90%	1	34,58	\pm 2,17	B
Conti 12	90%	1	38,44	\pm 2,49	B
Harvard	70%	1	47,5	\pm 2,79	C
Conti 12	70%	1	49,64	\pm 3,08	C
Harvard	50%	1	58	\pm 2,00	D
Conti 12	50%	1	58,93	\pm 3,40	D

** Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

ANEXO 9: Porcentaje promedio de área necrótica (%) en discos de hojas para el clon Harvard, en cada tratamiento hídricos y de inoculación (Inoculado con *Septoria musiva* y testigo).

Clon	Tratamiento hídrico	Inoculado (1) o No Inoculado (0)	Media	± Error Stand.	**
Harvard	50%	0	9,88	± 1,32	A
Harvard	70%	0	15,3	± 3,77	A
Harvard	90%	0	15,31	± 2,65	A
Harvard	50%	1	24,22	± 1,55	B
Harvard	70%	1	37,96	± 4,10	C
Harvard	90%	1	39,31	± 2,81	C

** Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

ANEXO 10: Porcentaje promedio de área necrótica (%) en discos de hojas para el clon Conti-12, en cada tratamiento hídricos y de inoculación (Inoculado con *Septoria musiva* y testigo).

Clon	Tratamiento hídrico	Inoculado (1) o No Inoculado (0)	Media	± Error Stand.	**
Conti 12	90%	0	3,62	± 0,91	A
Conti 12	70%	0	5,08	± 1,44	A
Conti 12	50%	0	7,16	± 1,56	A
Conti 12	90%	1	21,14	± 2,13	B
Conti 12	70%	1	32,91	± 6,01	C
Conti 12	50%	1	39,19	± 1,77	C

** Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

ANEXO 11: Porcentaje promedio de área necrótica (%) en discos de hojas para el clon Harvard y Conti-12, en cada tratamiento hídricos y de inoculación (Inoculado con *Septoria musiva* y testigo).

Clon	Tratamiento hídrico	Inoculado (1) o No Inoculado (0)	Media	± Error Stand.	**
Conti 12	90%	0	3,62	± 0,91	A
Conti 12	70%	0	5,08	± 1,44	A
Conti 12	50%	0	7,16	± 1,56	A
Harvard	50%	0	9,88	± 1,32	AB
Harvard	70%	0	15,3	± 3,77	BC
Harvard	90%	0	15,31	± 2,65	BC
Conti 12	90%	1	21,14	± 2,13	CD
Harvard	50%	1	24,22	± 1,55	D
Conti 12	70%	1	32,91	± 6,01	E
Harvard	70%	1	37,96	± 4,10	E
Conti 12	50%	1	39,19	± 1,77	E
Harvard	90%	1	39,31	± 2,81	E

** Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).