

Efecto de la cosecha mecanizada sobre la fertilidad física de suelos del S.E. bonaerense y su efecto sobre el recepado de *Eucalyptus globulus*

Victor Hugo Merani¹, Matilde Mur², Luciano Larriue², Daniel Adalberto Ferro², Esteban Iván Pereira², Facundo Daniel Guilino², Tatiana Cinquetti², Juan Manuel Vazquez², Florencia Marlene Bongiorno³, Guillermo Jose Millan⁴

Palabras clave: Daños en suelo poscosecha, Tránsito de maquinaria, Compactación

Introducción

En las últimas décadas ha ocurrido en Argentina un constante y significativo aumento del peso de los vehículos agrícolas y forestales. Si bien eso se vuelve necesario para adaptarse a las necesidades operativas de los sistemas productivos, preocupa por las consecuencias a largo plazo sobre la sustentabilidad de los suelos transitados. El abastecimiento de madera desde el lugar de corte hasta las industrias implica que una parte del tránsito deba realizarse dentro de la plantación. El tránsito de tractores y acoplados causa los cambios más severos en la estructura del monte y del suelo (Aroca-Fernández et al. 2019; Laroca et al. 2018). Según Håkansson & Reeder (1994), entre los numerosos procesos que conducen al deterioro de la estructura del suelo, la compactación del subsuelo inducida por el tráfico de vehículos pesados pareciera ser el desafío más importante a largo plazo para una producción sostenible.

A nivel nacional la producción de *E. globulus* se encuentra ubicada principalmente en el sudeste (SE) de la provincia de Buenos Aires, especialmente en los partidos de Lobería, Necochea y San Cayetano. El manejo silvícola de estos montes en la actualidad se basa en el recepado de los mismos. Esta es una técnica para producir biomasa después del primer ciclo de corta, evitando los costos de replantación. La capacidad de brotación y supervivencia se ve reducida por muchos factores que afectan a los tocones con mayor o menor intensidad, entre los que se menciona la calidad de los suelos (Merani et al. 2022).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del tránsito durante el corte y la extracción de madera sobre diferentes indicadores de calidad física del suelo

en una plantación de *Eucalyptus globulus* sp. en lotes del SE bonaerense y su efecto en el corto plazo sobre el rebrote de los tocones.

Materiales y Métodos

El ensayo se realizó en el establecimiento “El Triángulo”, Buenos Aires, Argentina. (38°32'40.9"S, 59°29'07.9"O). Se seleccionó un lote homogéneo, en cuanto a tipo de suelo, pendiente, etc. y se realizaron evaluaciones y mediciones de propiedades físicas del suelo en dos fechas: septiembre de 2021 (fecha 1) y en marzo de 2022 (fecha 2). Los datos recopilados en la primera fecha se utilizaron para realizar el diagnóstico de la situación edáfica inmediatamente después de la cosecha mecanizada, mientras que los datos recopilados en la segunda fecha se utilizaron para evaluar el cambio de las propiedades en el corto plazo. En función de la logística de cosecha utilizada, se realizó una división en tres zonas de análisis (figura 1):

- 1) *Huella del camino (H)*: zona de pisada de las ruedas durante la cosecha y extracción
- 2) *Entre huellas del camino (EH)*: zona central entre las dos huellas de un camino
- 3) *Entre caminos (EC)*: superficie no pisada por vehículos, pero donde se depositan los arboles cosechados.



Figura 1. Diseño del ensayo.

1 Mecanización Agraria y Forestal, FCAYF. UNLP. Contacto: victormeranimail.com.

2 Mecanización Agraria y Forestal, FCAYF. UNLP.

3 Genética, FCAYF. UNLP. Contacto: bongiornoflorencia@gmail.com.

4 Manejo y conservación de suelos, FCAYF. UNLP. Contacto: g.j.millan61@gmail.com.

Definidas las tres zonas, se realizaron las siguientes determinaciones a modo de caracterización y evaluación de la situación edáfica y mecánica en cada una:

Resistencia mecánica a la penetración (RMP): las mediciones se realizaron inmediatamente después de la cosecha (fecha 1) con un penetrómetro de cono electrónico (FieldScout SC900), acompañado de un perfil de humedad (las mediciones de penetrometría se realizaron 4 días después de una precipitación, tratando de conseguir condiciones de RMP similares). Se repitieron las mediciones 6 meses después de la cosecha (fecha 2).

Infiltración (I): la infiltración se midió (Fecha 1) utilizando un infiltrómetro de tensión de 6,25 cm de radio (Perroux & White 1988). En cada zona tratamiento se realizaron tres muestreos en sitios al azar. Las corridas de infiltración se realizaron a tres valores de tensión de agua en el suelo, h (-6, -3 y 0 cm, aplicados en este orden y en el mismo lugar). Se realizaron observaciones del flujo continuo cada 5 minutos durante los primeros 30 minutos, y cada 10 minutos hasta que se alcanzó flujo estacionario. A partir de los datos de infiltración de campo se calcularon los datos de estado estacionario de la curva de infiltración de agua en el suelo, K_0 , y la conductividad hidráulica de campo en $h = -3$ (K_3) y en $h = -6$ (K_6) se calcularon siguiendo a Ankeny et al. (1991). Además, la macroporosidad conductora de agua (ϵ_{ma} , $r > 0,5$ mm) y la mesoporosidad conductora de agua (ϵ_{me} , $r = [0,25-0,5$ mm]) se calcularon de acuerdo con Watson & Luxmoore (1986).

Crecimiento poscosecha: en la Fecha 2 sobre los tocones recepados en las zonas EC y EH se midieron número de brotes, diámetro de los mismos y altura total, y se evaluó también número de plantas muertas en una distancia de 50 m en la que se contabilizaron igual cantidad de tocones.

Sistema y logística de cosecha

La cosecha se realizó con sistema corte a medida de postes largos, con cosechadora de base Hyundai 220 LC-9S de 115,6 kW (155 HP) y 22.250 kg de peso con orugas metálicas de 700 mm, equipada con un cabezal Waratah HTH 616C de 1970 kg, que realiza in situ apeo, desramado, corte a medida y clasificación. La extracción se realizó con un tractor Valtra BT190 de 149 kW (200 HP) y 10.450 kg, con carro autocargador de 12 t de capacidad y 4 ruedas. Al momento de la cosecha la cosechadora se coloca a caballo sobre una fila de árboles sobre la que avanza extrayendo árboles de a

2 filas por lado y depositando los fustes trozados en la zona entre caminos. Para la extracción, el tractor con el carro cargador circula sobre las huellas dejadas por la cosechadora, cargando la madera depositada, con un promedio de 7-8 entradas y salidas para extraer completamente la madera.

Resultados

Resistencia mecánica a la penetración

En la Figura 3 se puede observar el efecto del tiempo sobre la variable RMP; en la misma vemos cómo después de 6 meses desde la cosecha la variable presenta valores menores en todo el perfil para dos zonas de muestreo.

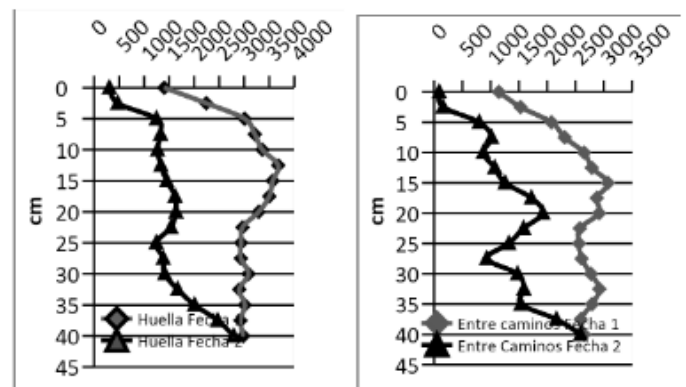


Figura 2: valores de RMP en las zonas H y EC para las dos fechas de medición.

Infiltración

En la Figura 3 se observa la curva de infiltración en el tiempo, donde los valores H y EH son muy similares y difieren significativamente del valor EC.

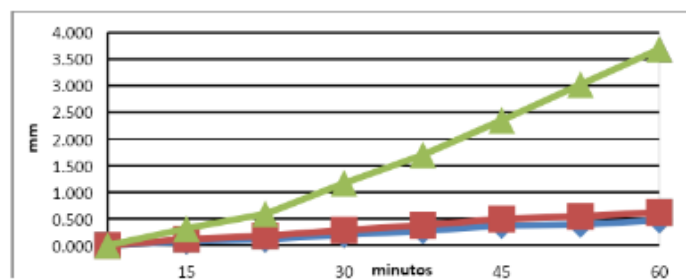


Figura 3: Evolución de la infiltración para las tres zonas (H, EH, EC) en la Fecha 1.

Porosidad

Los valores de porosidad demuestran una pérdida importante de poros > 1 mm por el paso de la maquinaria, los cuales son remplazados en el porcentaje final por poros $< 0,5$ mm. Este efecto es más notorio en la zona H, mientras que en la zona EH se presentan va-

lores intermedios (Figura 4).

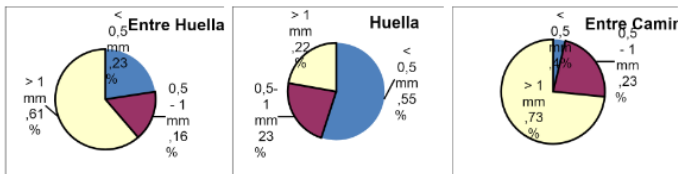


Figura 4: Porcentaje de poros para las tres zonas muestreadas en la Fecha 1.

Crecimiento poscosecha

Como se observa en la Figura 5, las zonas EH y EC mostraron diferencias significativas en el crecimiento: en EH se observó menor número de renovales, de menor calibre y altura y mayor número de tocones muertos que en EC.

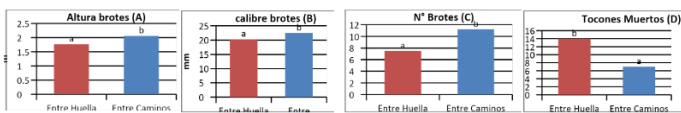


Figura 5: Efectos sobre el brotado para las zonas EH y EC en la Fecha 2.

Discusión

Los valores de RMP coinciden en parte con lo reportado por Balbuena et al. (2000), que mencionan que el tránsito reiterado causa un aumento en la RMP; sin embargo, los datos obtenidos en la Fecha 2 muestran una reducción de estos valores. Esto podría deberse al crecimiento activo de las raíces presentes en el sistema, diferente a los crecimientos radiculares de los cultivos de escarda, ya que las raíces son de mayor tamaño y las mismas pueden soportar la presión ejercida y esperar el momento oportuno de humedad del suelo para continuar su crecimiento y contribuir a mejorar sus condiciones físicas. Por otro lado, durante 6 meses no hubo tránsito de maquinaria, condiciones difíciles de observar en producciones agrícolas.

Diferencias en el desarrollo y crecimiento vegetal deben ser atribuidas a este primer periodo de crecimiento. Se observa menor crecimiento de los rebrotes y muerte de las cepas en las zonas donde los valores de infiltración y de macroporos disminuyen, así como por efecto temporal de aumento de la RMP inmediatamente después de la cosecha. Por otro lado, Clothier & White (1981) encontraron que casi el 48 % del flujo saturado a través de una arena fina ocurría a través de poros asociados con el rango de tensión de 0 a 4 cm. La reducción marcada de estos poros en el porcentaje total de porosidad (Figura 4) genera una

reducción del contenido hídrico del suelo que afecta negativamente el crecimiento.

Conclusión

Los procesos de cosecha mecanizada de masas arbóreas producen un impacto negativo en la fertilidad física de los suelos y afectan el brotado de los tocones remanentes. Pese a esto, el efecto es temporal y a los 6 meses posteriores a la labor de cosecha mejora la RMP con valores similares al testigo.

Agradecimientos

A Madereras del Sudeste S.A. por permitirnos realizar este ensayo en sus instalaciones y al Sr. Juan Manuel Vazquez por facilitarnos la logística.

Bibliografía

- Ankeny MD, Ahmed M, Kaspar TC, & Horton R. (1991). Simple Field Method for Determining Unsaturated Hydraulic Conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 55(2), 467.
- Aroca-Fernández MJ, Bravo-Fernández JA, García-Viñas JI, Fernández-Yuste JA, & Serrada R. (2019). Forest soils compaction: better hoofs or rubber-tired? *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For*, 45(3), 37-58.
- Balbuena RH, Terminiello AM, Claverie JA, Casado JP, & Marlats R. (2000). Compactación del suelo durante la cosecha forestal. *Evolución de las propiedades físicas. Engenharia Agrícola*, 119(1900), 453-459.
- Clothier BE, & White I. (1981). Measurement of Sorptivity and Soil Water Diffusivity in the Field. *Soil Science Society of America Journal*, 45(2), 241-245.
- Håkansson I, & Reeder RC. (1994). Subsoil compaction by vehicles with high axle load-extent, persistence and crop response. *Soil and Tillage Research*, 29(2-3), 277-304.
- Laroca F, Tea D, Ayrton L, & Neifert M. (2018). Impacto de la compactación por tránsito de maquinaria en las vías de saca de cosecha forestal. *Congreso Internacional de Suelos*.
- Merani VH, Mur M., Larriou L, Ferro DA, Pereira EI, Guilino F, Cinquetti T, & Vazquez JM. (2022). Efecto de la cosecha mecanizada sobre la resistencia mecánica a la penetración en suelos del se bonaerense. *Xxxvi jornadas forestales de entre rios*, 3-7.
- Perroux KM, & White I. (1988). Designs for Disc Permeameters. *Soil Science Society of America Journal*, 52(5), 1205-1215.
- Watson KW, & Luxmoore RJ. (1986). Estimating Macroporosity in a Forest Watershed by use of a Tension Infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal*, 50(3), 578-582.

La inoculación con levaduras modifica el crecimiento de estacas de *Populus nigra* 'Italica' en condiciones de estrés hídrico

Mestre María Cecilia¹, Geldres Valeria²

Palabras Clave: sequía, álamo, *Tausonia pullulans*,

Introducción

La aplicación de microorganismos en etapas tempranas del cultivo de *Populus* como estrategia para mejorar la producción se utiliza en el hemisferio norte, en particular en los países de mayor producción de madera de Salicáceas. Sin embargo, este tipo de herramientas no está muy difundido en Sudamérica en general. Los microorganismos con capacidad de promover el crecimiento vegetal pueden servir para ampliar el área de producción, ya que pueden disminuir el estrés y aumentar la producción en suelos pobres o degradados (Compant et al. 2010).

Trabajos previos muestran la posibilidad de utilizar levaduras nativas de Patagonia (Argentina) como promotores del crecimiento vegetal en distintos clones de álamo (Mestre et al. 2017 a y b). Estas levaduras se encuentran adaptadas a bajas temperaturas y baja disponibilidad de agua en el suelo por congelamiento (Mestre et al. 2014). Las levaduras nativas de Patagonia se presentan como una alternativa ventajosa para la producción forestal en condiciones ambientales poco favorables. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la inoculación de 3 levaduras nativas de Patagonia en estacas de *Populus nigra* 'Italica' cultivadas bajo diferentes regímenes de riego, como estrategia para mitigar los efectos del estrés hídrico en la producción de barbados.

Materiales y Métodos

Se utilizaron estacas de *Populus nigra* 'Italica' obtenidas en el estaquero de la EEA INTA Bariloche. Las estacas de 1 año, se cortaron en un tamaño final de 25 cm de largo descartando la región apical. Se utilizaron 3 cepas de levaduras nativas de los bosques de *Nothofagus* de la Patagonia andina para inocular las estacas. Las cepas seleccionadas fueron: *Tausonia pullulans* CRUB1772 (Basidiomycota), muy buen productor de auxinas in-vitro; *Saccharomyces euba-*

yanus CRUB2014 (Ascomycota), capaz de producir auxinas y solubilizar fosfatos; y la cepa *Candida sake* CRUB1997 (Ascomycota), que produce auxinas, solubiliza fosfatos y tolera hasta 10% de NaCl.

Las estacas se inocularon por inmersión en una suspensión de levaduras en agua peptonada durante 24-48 h. El control consistió en la inmersión de las estacas en agua peptonada sin levaduras durante 24-48 h. Se utilizaron 14 estacas para cada tratamiento con levadura y para el control (56 estacas totales).

Las estacas inoculadas se colocaron en bolsas-maceta de 30 cm x 25 cm que contenían sustrato sin esterilizar conformado por una mezcla suelo, perlita, y turba (4:1:1, v/v/v). El ensayo se realizó en un invernadero con riego por aspersión automatizado (80 mL agua/día/maceta) y se extendió por 105 días hasta la cosecha. Las plantas se dividieron en 2 grupos según el régimen de riego y las macetas se dispusieron en un diseño completamente aleatorizado para cada condición de riego. Un grupo de plantas recibió riego durante todo el ensayo (riego continuo). El segundo grupo fue sometido a dos pulsos de sequía de 7 días cada uno con una separación de 15 días entre ellos (riego restringido). Los pulsos de sequía se aplicaron en el día 50 y 71 de crecimiento, completando 91 días de riego.

Al momento de la cosecha (105 días) se midieron el largo y el diámetro del eje principal, se contaron el número de hojas en pie y el número de cicatrices dejado por las hojas. En ambos grupos se contó el número de raíces producidas distinguiendo entre las que salieron directamente desde la estaca y las que se produjeron en la cicatriz de corte de la estaca (corona). El material aéreo de las plantas de riego continuo y el material radical de ambos regímenes de riego se colectaron para estimar la biomasa aérea y radical producida por secado en estufa a 70 °C hasta peso constante. El material aéreo de las plantas del grupo de riego restringido tenía distintos estados de desarrollo al momento de la cosecha, por este motivo se decidió no utilizar la

1 IPATEC (UNCo-CONICET). Contacto: mestremc@comahue-conicet.gob.ar.

2 Sede Andina, UNRN. Contacto: valgelar@yahoo.com.ar.

biomasa aérea de este grupo para el presente análisis. El efecto de la inoculación con levaduras se analizó por separado en cada uno de los regímenes de riego. Las variables se analizaron por ANOVA de 1 factor ($\alpha=0,05$), seguido de Test de Tukey cuando fue necesario.

Resultados

Todas las plantas incluidas en el ensayo sobrevivieron independientemente del régimen de riego. La reducción de riego afectó visiblemente el crecimiento de las plantas. Las plantas bajo riego restringido presentaron en promedio un eje principal más corto (29 cm) que las de riego continuo (42 cm). Las plantas en condiciones de riego continuo no perdieron hojas mientras que para la condición de riego restringido se observó la pérdida de hojas y en algunos casos se observó la aparición de nuevas hojas (rebrote) en las cicatrices de las hojas perdidas. En cuanto al sistema radical, las plantas bajo riego restringido presentaron raíces con distintas morfologías (i.e., claras vs oscuras, turgentes vs reseca). En general el número total de raíces promedio resultó mayor en las plantas bajo riego restringido (45) que en las de riego continuo (30).

En condición de riego continuo no se observaron diferencias significativas en las variables medidas de la parte aérea (Figura 1) ni en la parte radical (Figura 2). Las estacas inoculadas con *T. pullulans* alcanzaron valores de largo de eje principal, diámetro y biomasa radical similares a las estacas sin inocular y en general más altos que los valores registrados para las estacas de los otros tratamientos.

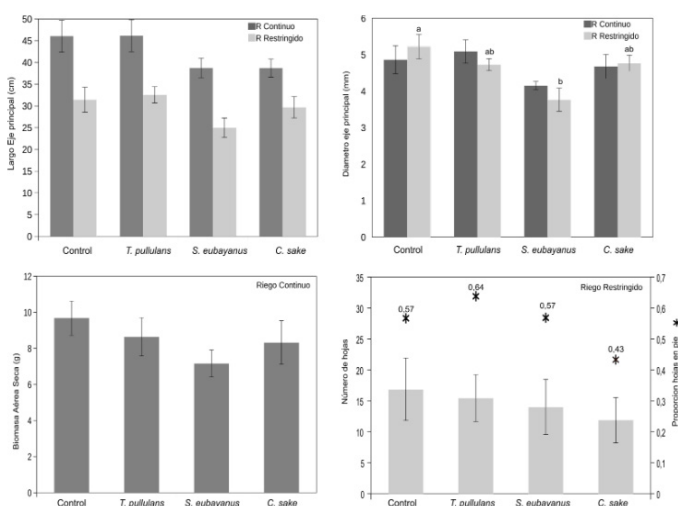


Figura 1: Desarrollo de la parte aérea de estacas de álamo criollo inoculadas con levaduras nativas de Patagonia durante el cultivo bajo distintas condiciones de riego. Letras distintas corresponden a distintos grupos homogéneos calculados por Test de Tukey.

En la condición de riego restringido, las estacas del tratamiento control presentaron un mayor diámetro de eje principal ($p=0,007$) que las inoculadas con la levadura *S. eubayanus* (Figura 1). Las otras variables aéreas no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Se observó que la proporción de hojas en pie en el momento de la cosecha fue mayor en las estacas inoculadas con *T. pullulans* (67%) que en los otros tratamientos. Para las variables de la parte radical (Figura 2), se observaron variaciones significativas en el número de raíces que se producen en la región de la corona ($p=0,032$) y el número total de raíces ($p=0,021$) entre las plantas inoculadas con diferentes levaduras. El número de raíces en la región de la corona fue mayor en las estacas inoculadas con *T. pullulans* que en las plantas inoculadas con *C. sake*, mientras que el número total de raíces resultó mayor en las estacas inoculadas con *T. pullulans* que en las estacas inoculadas con *S. eubayanus*.

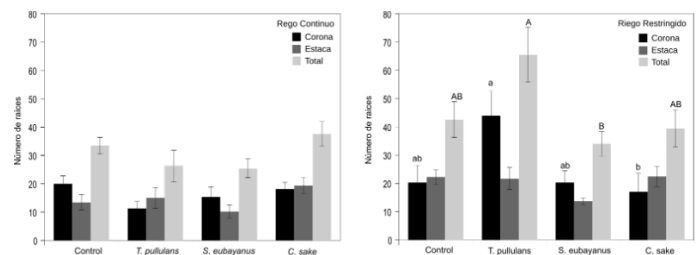


Figura 2: Desarrollo de la parte radical de estacas de álamo criollo inoculadas con levaduras nativas de Patagonia durante el cultivo bajo distintas condiciones de riego. Letras distintas corresponden a distintos grupos homogéneos calculados por Test de Tukey.

Discusión

Los efectos generales observados entre las dos condiciones de riego fueron la restricción de crecimiento aéreo y el aumento del número de raíces; éstos efectos se pueden asociar al estrés hídrico (Farooq et al. 2012). Las plantas bajo riego restringido mostraron detenciones y reinicios del crecimiento tanto en la parte aérea como radical. De esta forma se evidenció que aún pulsos cortos de interrupción del riego alteran el patrón de crecimiento de los barbados pero no generan la muerte de plantas.

Uno de los fenómenos más estudiados en la interacción planta-microorganismo es la producción de fitohormonas tipo auxinas. Los efectos de las auxinas se asocian especialmente al desarrollo de las raíces y pueden modificar la arquitectura radical (Duca et al. 2014). Taghavi et al. (2009) propusieron que la produc-

ción de auxinas por parte de bacterias endófitas de las raíces de álamo, es uno de los principales mecanismos para aumentar el crecimiento de los árboles. *Tausonia pullulans* CRUB 1772 ha sido descrita como una buena productora de compuestos tipo auxinas en ensayos in-vitro (Mestre et al. 2021). Por este motivo los efectos observados en las estacas inoculadas inoculadas con *T. pullulans* CRUB 1772 podrían atribuirse a la producción de fitohormonas tipo auxinas por parte de esta levadura. En condiciones de riego restringido se observaron diferencias en la distribución de raíces en las estacas inoculadas con *T. pullulans* respecto del control sin inocular. El aumento del número de raíces totales producido por las estacas inoculadas con *T. pullulans* posibilita una mayor exploración del sustrato en búsqueda de agua y otros nutrientes, brindando una ventaja en condiciones de estrés hídrico. Además, las estacas inoculadas con *T. pullulans* conservaron hasta el 63% de las hojas producidas lo que da ventajas en la captación de luz.

Conclusiones

Las levaduras nativas de Patagonia tienen la capacidad de modificar el crecimiento de barbados de *Populus nigra* 'Italica' cuando estos son producidos en condiciones de riego restringido. En particular la levadura *Tausonia pullulans* es una buena candidata para desarrollar estrategias que ayuden a mitigar los efectos del estrés hídrico y a mejorar el aprovechamiento del agua de riego.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Servicio Forestal Andino de la Dirección de Bosques de Río Negro y al Tec. Daniel Farizo por su colaboración en la realización del ensayo. También agradecemos al Dr. A. Aparicio de EEA INTA Bariloche por facilitar el material para el ensayo. Este trabajo se realizó con financiación del proyecto PIC2018-3441 (FONCyT) y proyecto B240 (UNCo)

Bibliografía Citada

Compant S, Clément C, Sessitsch A. 2010. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: Their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology & Biochemistry* 42: 669-678.

Duca D, Lorv J, Patten CL, Rose D, Glick BR. 2014. Indole-3-acetic acid in plant-microbe interactions. *Antonie van Leeuwenhoek* 106: 85-125

Farooq M, Hussain M, Wahid A, Siddique KHM. 2012. Drought stress in plants: an overview. *Plant responses to drought stress*: 1-33

Mestre MC, Fontenla SB, Rosa CA. 2014. Ecology of cultivable yeasts in pristine forests in North-Patagonia (Argentina) influenced by different environmental factors. *Canadian Journal of Microbiology* 60(6): 371-82

Mestre MC, Garcia J, Boenel M, Fontenla S. 2017b. Micorrizas, levaduras y bacterias en la producción de barbados de *Populus* en invernadero. Quinto Congreso Internacional de Salicáceas Trabajo Técnico completo.

Mestre MC, Pastorino MJ, Aparicio AG, Fontenla S. 2017a. Natives helping foreigners? effect of inoculation of poplars with Patagonian beneficial microorganisms. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 17(4): 1028-1039

Mestre MC, Severino ME, Fontenla S. 2021. Evaluation and selection of culture media for the detection of auxin-like compounds and phosphate solubilization on soil yeasts. *Revista Argentina de Microbiología* 53 (1): 78-83

Taghavi S, Garafola C, Monchy S, Newman L, Hoffman A, Weyens N, Barac T, Vangronsveld J, van der Lelie D. 2009. Genome Survey and Characterization of Endophytic Bacteria Exhibiting a Beneficial Effect on Growth and Development of Poplar Trees. *Applied and Environmental Microbiology* 75: 748-757