

**ENFRENTANDO EL CAMBIO CLIMÁTICO: ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS A LA INUNDACIÓN EN UNA FAMILIA DE *POPULUS DELTOIDES* W. BARTRAM EX MARSHALL.**

RODRÍGUEZ M. E.<sup>1\*</sup>; MOZO I.<sup>1</sup>; CAPPA E. P.<sup>2</sup>; DOFFO G.<sup>1</sup>; CORTIZO S.<sup>3</sup>; MONTEOLIVA S.<sup>1</sup>; MARTINEZ S.<sup>1</sup>; VERA BAHIMA J.<sup>1</sup>; BARTOLOZZI M.<sup>1</sup>; LUQUEZ V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE, CONICET–UNLP), CC 327 La Plata, Argentina.

<sup>2</sup> Instituto de Recursos Biológicos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Nicolás Repetto y De Los Reseros, (1686) Hurlingham, Buenos Aires

<sup>3</sup> EEA Delta del Paraná, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Paraná de las Palmas y Canal Laurentino Comas, (2804) Campana, Buenos Aires, Argentina.

\* [emiliar21@gmail.com](mailto:emiliar21@gmail.com)

## Resumen

Uno de los mayores impactos del cambio climático a nivel mundial será la alteración en el patrón de las precipitaciones. Los posibles escenarios de cambio climático indican que habrá un aumento en la ocurrencia de precipitaciones extremas en ciertas áreas, ocasionando un aumento en la frecuencia de episodios de inundación. En Argentina la principal área de plantaciones de álamo se encuentra en el Delta del Río Paraná, donde los modelos de cambio climático predicen un aumento en la frecuencia de precipitaciones locales excesivas. Incluso cuando estos eventos de estrés no ocasionan la muerte de la planta, el álamo puede experimentar reducción del crecimiento y la productividad. Es por ello que resulta necesario obtener clones con un mejor rendimiento cuando se encuentran sometidos a estrés por inundación. El objetivo de este trabajo fue identificar caracteres fenotípicos que puedan ser útiles como herramienta de selección indirecta de clones tolerantes a dicho estrés. Se realizó un ensayo de inundación en invernáculo con una F1 de *P. deltoides* obtenida en el programa de mejoramiento de álamo del INTA, a partir del cruzamiento de los clones A106 x ST67. De acuerdo a los datos preliminares, la F1 muestra variabilidad en la tolerancia a la inundación evaluada como reducción del crecimiento, siendo algunos clones de la F1 más tolerantes y otros más sensibles que sus padres. No hubo diferencias clonales en la respuesta de la conductancia estomática y la formación de lenticelas hipertrofiadas y raíces adventicias. Sin embargo, se observó variabilidad de respuesta en el crecimiento en altura y biomasa y en la formación de nuevas hojas. Utilizando los resultados obtenidos en este experimento, se identificarán caracteres que puedan ser usados para la selección indirecta de individuos con tolerancia a la inundación, determinando la correlación genética de estos caracteres con la tolerancia a la inundación, y su heredabilidad bajo esta situación de estrés.

Palabras clave: Cambio climático, Inundación, Álamos, Tolerancia

## Introducción

La familia de las Salicáceas, que comprende los géneros *Populus* (álamos) y *Salix* (sauces), es el tercer cultivo forestal en superficie de la Argentina, detrás de los pinos y eucaliptos, encontrándose la mayor área de plantaciones de álamos en la zona del Delta del Paraná (Borodowski 2006).

En las islas del Delta del Río Paraná se distinguen dos zonas características: una elevada (albardón) que constituye el 20 % de la superficie, y una baja en el centro (estero o pajonal) que constituye el 80 % de la superficie de las islas (Luquez *et al.* 2012). Las zonas bajas son especialmente susceptibles a experimentar episodios de inundación, por lo que en las áreas forestadas, los productores sistematizan los campos construyendo canales para facilitar el drenaje, diques para evitar la entrada de agua y bombas para desagotar el exceso de agua (Luquez *et al.* 2012). Sin embargo, una temporada de precipitaciones extraordinarias puede causar episodios de inundación en campos endicados que, incluso con bombeo a máxima capacidad, pueden durar varias semanas (J. Alvarez, comunicación personal). Los escenarios de cambio climático indican que habrá un incremento en la ocurrencia de precipitaciones extraordinarias para la zona (Barros *et al.* 2006), por lo que los episodios de inundación serán más frecuentes. Estos episodios reducen sensiblemente la productividad de la mayoría de los genotipos plantados en la región (Luquez *et al.* 2012), haciendo necesario disponer de material genético que tenga tolerancia a la inundación. Resulta necesario ampliar la oferta de clones con características adecuadas para plantar en la zona, y que su rendimiento no se vea afectado negativamente cuando están expuestos a episodios de inundación.

Las respuestas de las plantas a la inundación varían de acuerdo a la duración del período de estrés, el grado de cobertura por el agua y si la inundación ocurre durante el período de crecimiento o de reposo (Kozłowski 1997, Glenz *et al.* 2006). En plantas leñosas, un episodio de inundación puede causar reducción del crecimiento, cierre estomático y disminución de la actividad fotosintética (Kozłowski 1997). Las especies tolerantes pueden aclimatarse a este tipo de estrés desarrollando lenticelas hipertrofiadas, raíces adventicias y aerénquima, y modificando el metabolismo en respuesta a la anoxia o la hipoxia generada por el exceso de agua (Glenz *et al.* 2006, Bailey-Serres y Voesenek 2008). Las especies con mayor sensibilidad a la inundación manifiestan mayor reducción del crecimiento, debido a que experimentan reducciones en la tasa de formación y expansión de nuevas hojas (Angelov *et al.* 1996). El área foliar fotosintéticamente activa puede reducirse también por la aceleración de la senescencia y abscisión foliar (Kozłowski 1997). La reducción del crecimiento afecta tanto a la parte aérea como a las raíces, pero mayormente a estas últimas provocando su muerte, disminuyendo así la relación raíz / vástago (Kozłowski 1997). Las especies tolerantes a la inundación desarrollan un nuevo sistema radicular adventicio superficial en reemplazo de las raíces muertas por la inundación (Glenz *et al.* 2006).

Se han identificado varios caracteres relacionados con la productividad en álamo que han sido propuestos como variables caracteres a seleccionar para incrementar el rendimiento; entre ellos se encuentran: ramificación, área foliar total, área foliar individual, número de hojas del tallo principal, tasa de incremento del número de hojas (Rae *et al.* 2004, Marron y Ceulemans 2006), número de estomas (Al Afas *et al.* 2006, Dillen *et al.* 2008) y discriminación isotópica de carbono (Monclus *et al.* 2005, Dillen *et al.* 2008). El área foliar, tanto individual como total, muestra una buena correlación con el crecimiento, pero otros caracteres, como la densidad estomática, varían mucho dependiendo del genotipo. En el caso de plantas sometidas a inundación, el mantenimiento del área foliar correlaciona con la tolerancia (Luquez *et al.* 2012), mientras que para los caracteres estomáticos la relación no es tan clara (Rodríguez *et al.* 2015). Para establecer si estos y otros caracteres podrían ser útiles como herramienta de selección indirecta de clones tolerantes a la inundación, es necesario evaluarlos en un mayor número de genotipos, para determinar sus correlaciones genéticas con la tolerancia a la inundación y su heredabilidad bajo condiciones de estrés (Monclus *et al.* 2009).

El INTA tiene un programa de mejoramiento de álamo, que ha obtenido numerosas progenies a partir de cruzamientos controlados (Cortizo *et al.* 2009). En este proyecto, utilizaremos parte de ese material para identificar caracteres sencillos de medir que correlacionen con la tolerancia a inundación, y que puedan utilizarse para analizar un gran número de individuos en un plan de mejoramiento. Nuestro proyecto será complementario de este programa de mejoramiento del INTA, contribuyendo a identificar clones que, además de tener buenas características productivas, sean tolerantes a la inundación.

El objetivo de este trabajo es analizar la tolerancia a la inundación de una progenie de álamo obtenida del cruzamiento de los clones Australiano 106-60 y Stoneville 67, e identificar caracteres fenotípicos que correlacionen con la tolerancia a la inundación en álamo.

## Materiales y Métodos

El trabajo se realizó con una familia de clones de álamo pertenecientes a un cruzamiento realizado por la Ing. Agr. Silvia Cortizo (EEA INTA Delta del Paraná). Esta familia comprende los padres y 30 individuos de la F1 del cruzamiento intraespecífico del clon de *Populus deltoides* Australiano 106-60 (A106) como madre y el clon de *P. deltoides* Stoneville 67 (ST67) como padre. Ambos son clones plantados actualmente en la zona del Delta, siendo la madre más tolerante a la inundación que el padre, como se determinó en un trabajo previo (Luquez *et al.* 2012).

Estacas de un año de edad y 20 cm de longitud, fueron plantadas el 1 de septiembre de 2015, en macetas de 5 L rellenas con una mezcla 1:1 de tierra-arena. Las macetas fueron colocadas en invernáculo en un diseño totalmente aleatorizado con 6 réplicas por cada clon y tratamiento, siendo un total de 384 plantas. Antes de iniciar el ensayo los árboles fueron podados, manteniéndose un brote a fin de minimizar la variabilidad inducida por diferencias en el número de brotes por planta. El tratamiento de estrés fue iniciado el 9 de noviembre de 2015, colocando las macetas de 5 L dentro de macetas selladas de 10 L, llenas con agua hasta aproximadamente 10 cm por encima del nivel del suelo; se añadió agua para mantener el nivel cuando fue necesario. Las plantas control fueron regadas regularmente manteniendo el suelo a capacidad de campo. Luego de 35 días, el tratamiento de estrés fue finalizado.

Algunas de las variables registradas en el transcurso del experimento son: *altura (cm)* y *diámetro basal (mm)* *tallo(cm)*; *número de hojas del tallo*, contando todas las hojas mayores a 2 cm de longitud (Ceulemans *et al.* 1988); desarrollo de *lenticelas hipertrofiadas* y *raíces adventicias* en la parte sumergida del tallo (presencia o ausencia); *contenido de Clorofila*, monitoreado en la última hoja completamente expandida con un SPAD Minolta; y *conductancia estomática (gs)*, medida con un porómetro Decagon SC1 en la cara abaxial de la última hoja completamente expandida. Con los datos de crecimiento en altura se ajustó una recta de la altura en función de los días desde el comienzo de la inundación para cada clon y tratamiento. La pendiente de esta recta es la tasa de crecimiento de ese clon.

Al finalizar el ensayo se determinó la biomasa seca total (secando el material en estufa a 65 °C hasta peso constante). Con estos datos se analizó si existía variabilidad en el índice de tolerancia a la inundación (ITI), calculado como:

$$ITI = (\text{biomasa total tratamiento inundado} / \text{biomasa total tratamiento control}) * 100$$

Este índice cuantifica la disminución del crecimiento causada por el estrés. A menor estrés, los valores de las plantas controles y estresadas son semejantes y el valor es cercano a 100. Cuanto más severo el estrés, más disminuye el valor de ITI.

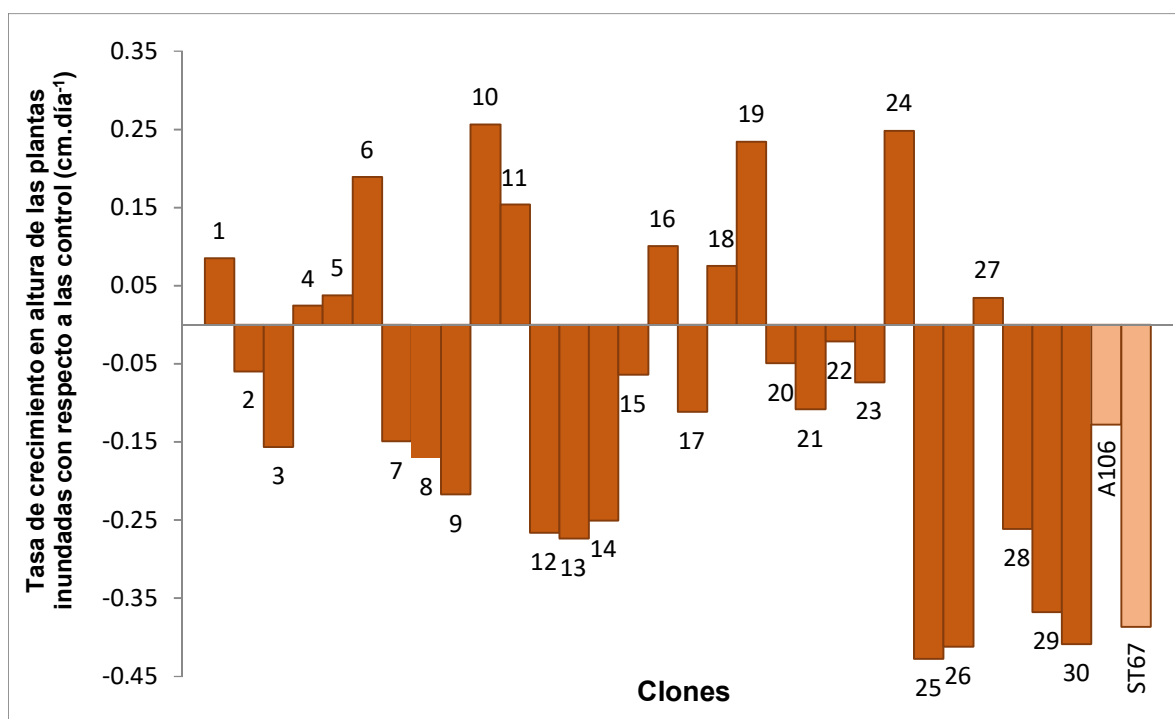
## Resultados

Al ser sometidos a inundación, todos los clones mostraron desarrollo de lenticelas hipertrofiadas desde la primera semana de inundación y raíces adventicias entre la primera y la segunda semana, en la porción sumergida del tallo. La conductancia estomática (gs) disminuyó en todos los clones inundados, siendo significativamente menor hasta el final del ensayo (gs tratamiento inundado:  $64 \text{ mmoles m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; gs tratamiento control:  $183 \text{ mmoles m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ).

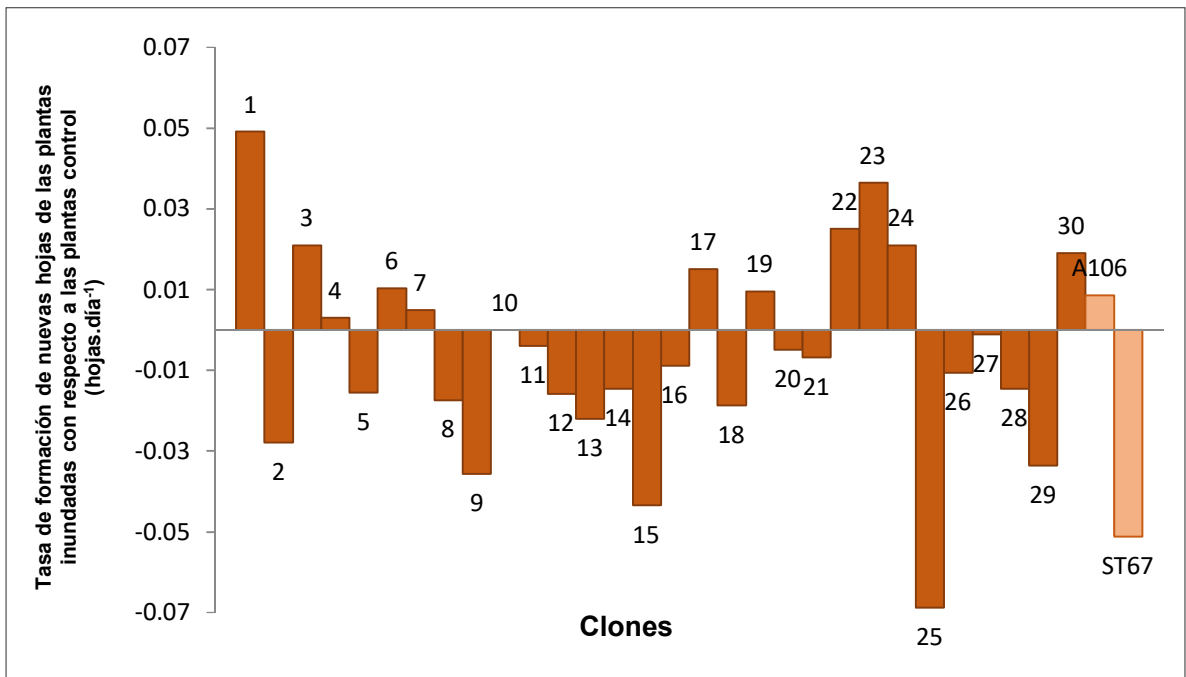
La figura 1 muestra la diferencia de la tasa de crecimiento en altura de las plantas inundadas con respecto a las plantas control. Las diferencias negativas indican que el tratamiento inundado de ese clon tuvo una menor tasa de crecimiento que el control, mientras que un valor positivo indica una mayor tasa de crecimiento para el tratamiento inundado. Se observa que, al sufrir estrés por inundación, el padre (ST67) redujo su tasa de crecimiento en mayor medida que la madre (A106), tal como se había comprobado con anterioridad (Luquez *et al.* 2012).

En condiciones de inundación, el padre (ST67) mostró una menor tasa de formación de nuevas hojas con respecto a la madre (A106; Fig 2), que mantuvo una tasa de formación de hojas similar en ambos tratamientos (inundación y control). Entre los hijos se observa variedad de respuesta, habiendo varios hijos con una mayor tasa de formación de hojas cuando son sometidos a inundación.

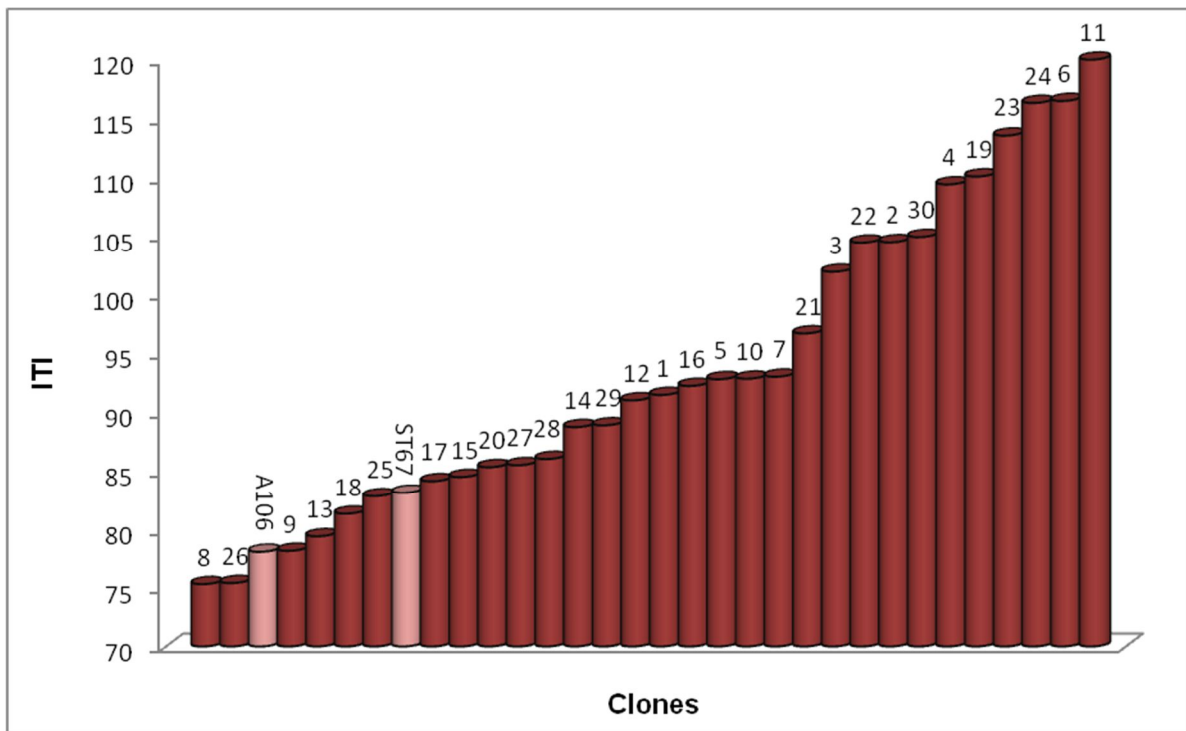
Utilizando los datos de biomasa total al final del experimento se calculó el índice de tolerancia a la inundación (ITI, figura 3). El ITI muestra que hay hijos que tienen una mayor tolerancia al estrés que los padres, ya que hay individuos con valores mayores a 100 %, indicando que las plantas inundadas acumulan más biomasa que las controles.



**Figura 1.** La tasa de crecimiento en altura de las plantas inundadas con respecto a las plantas control fue calculado como: la diferencia entre el promedio de la tasa de crecimiento en altura de las plantas inundadas y el promedio de la tasa de crecimiento en altura de las plantas control.



**Figura 2.** La tasa de formación de nuevas hojas de las plantas inundadas con respecto a las plantas control fue calculado como: la diferencia entre el promedio de la tasa de formación de nuevas hojas de las plantas inundadas y el promedio de la tasa de crecimiento en altura de las plantas control.



**Figura 3.** El índice de tolerancia a la inundación fue estimado en base a la biomasa total acumulada (hojas, tallo y raíz) de las plantas inundadas con respecto a las plantas control.

Los individuos de la F1 muestran una variación de respuesta cuando son sometidos a inundación tanto en la tasa de crecimiento en altura, la biomasa total final y la tasa de formación de hojas. En los hijos analizados hubo una gran variabilidad de comportamientos, con clones que redujeron su tasa de crecimiento en la situación de inundación, otros que mantuvieron tasas similares en ambos tratamientos y otros que la incrementaron en relación al control. Además la mayoría de los hijos mostró una mayor acumulación de biomasa total que sus padres al ser inundados, lo que se ve reflejado en el ITI.

Además de los resultados mostrados en este trabajo, se están analizando otros datos relacionados con la productividad como la discriminación isotópica del carbono y el índice estomático. Los cálculos de las correlaciones genéticas y heredabilidad determinarán qué caracteres sencillos podrían utilizarse para la selección indirecta de clones con tolerancia a la inundación.

## Referencias

- Al Afas N, Marron N, Ceulemans R (2006). *Env Exp Bot* 58:279-286.
- Angelov M *et al.* (1996). *Tree Physiol* 16 (5): 477 – 484.
- Bailey Serres J y Voeselek LACJ (2008). *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 313-339.
- Barros *et al.* (2006). AIACC Working Papers No 26. Último acceso en Julio 2017. Disponible en:  
[http://www.start.org/Projects/AIACC\\_Project/working\\_papers/Working%20Papers/AIACC\\_WP26\\_Barros%20\(rev\)%201.pdf](http://www.start.org/Projects/AIACC_Project/working_papers/Working%20Papers/AIACC_WP26_Barros%20(rev)%201.pdf)
- Borodowski E (2006). Actas Jornadas de Salicáceas 2006, Buenos Aires, Argentina.  
(<http://jornadasdesalicaceas2006.blogspot.com.ar/p/disertaciones.html>)
- Ceulemans R *et al.* (1988). *Can J Forest Res* 18: 1069 – 1077.
- Cortizo S, Abbiati N y Mema V (2009). Actas Jornadas de Salicáceas 2009, Mendoza, Argentina.  
(<http://jornadasdesalicaceas2009.blogspot.com.ar/p/trabajos-tecnicos.html>)
- Dillen S *et al.* (2008). *Ann Bot* 102: 399-407.
- Glenz *et al.* (2006). *For. Ecol. Manag.* 235:1-13.
- Kozłowski TT (1997). *Tree Physiol Monograph* No 1.
- Luquez V *et al.* (2012). *South Forests* 74 (1): 61-70.
- Marron N y Ceulemans R (2006). *Can J For Res* 36: 390-400.
- Monclus *et al.* (2005). *New Phytol* 167:53-62.
- Monclus *et al.* (2009) *Tree Physiol* 29: 1239 – 1339-
- Rae AM *et al.* (2004). *Can J For Res* 34: 1488-1498.
- Rodríguez ME *et al.* (2015). *Trees* 29: 953-960.
-