

## Fluctuación de la napa freática y crecimiento de forestaciones de *Populus deltoides* en un campo endicado y drenado del Bajo Delta del Paraná.

**ALVAREZ<sup>1</sup>, J.; FERNÁNDEZ TSCHIEDER<sup>1</sup>, E.; FAUSTINO<sup>1</sup>, L.; GRACIANO<sup>2</sup>, C.; GYENGE<sup>3</sup>, J.**

<sup>1</sup> EEA Delta del Paraná, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Paraná de las Palmas y Canal Laurentino Comas, (2804) Campana, Buenos Aires. [javieralvarez@correo.inta.gov.ar](mailto:javieralvarez@correo.inta.gov.ar) o [jalelvarez@gmail.com](mailto:jalelvarez@gmail.com)

<sup>2</sup> Instituto de Fisiología Vegetal - UNLP - CCT CONICET La Plata. <sup>3</sup> CONICET - INTA EEA Balcarce - Oficina Tandil.

### Resumen

La forestación con Salicáceas (*Populus spp.* y *Salix spp.*) asciende a unas 83.000 ha en el Bajo Delta del Paraná y constituye la principal actividad productiva de la región. El ingreso del río y anegamiento prolongado afectan la productividad del álamo y es por esto que se deben realizar obras de drenaje y se disponen terraplenes (diques) en el perímetro de las islas. Dentro de estos endicamientos se verifica un amplio rango de disponibilidad hídrica que va desde anegamiento temporal hasta episodios de sequía durante el verano. El objetivo de este trabajo es caracterizar la dinámica de la napa freática y evaluar su relación con las condiciones climáticas y el crecimiento de las plantaciones de álamo en dos posiciones contrastantes en cuanto a relieve y distancia a cursos de agua, dentro de un predio endicado y drenado del Bajo Delta del Paraná. En una plantación adulta de *Populus deltoides* clon 'Australiano 129/60' se realizó un monitoreo (desde 2010 a 2013) de parcelas instaladas en ambos extremos de una transecta definida en sentido perpendicular al curso de agua principal (canal). El sector cercano al canal (35 m) se encontraba además en un sector relativamente más bajo mientras que el sector más alejado (680 m) correspondía a un albardón. La dinámica de la napa freática en el perfil superior del suelo (hasta 3,5m) fue contrastante entre ambos sectores. La fluctuación de la napa en el sector más bajo se correlacionó principalmente con la demanda evapotranspirativa, con un marcado descenso durante el período de crecimiento de las forestaciones y ascenso en los meses de invierno con recarga principalmente por precipitaciones. Los árboles no manifestaron síntomas de estrés y el crecimiento fue similar en los tres períodos. En cambio, en el albardón la presencia de la napa se registró en períodos breves, a una profundidad mayor a los 2,5 m. Este descenso del nivel freático se reflejó en la pérdida de área foliar y menor crecimiento durante los años con déficit de precipitaciones, 2010/2011 y 2011/2012, recuperando el crecimiento durante el período húmedo 2012/2013, en el cual la producción de hojas fue mayor y el incremento en diámetro del fuste (DAP) y área basal (AB) duplicó al de los años anteriores. La influencia del río sobre la fluctuación de la napa no resultó importante aunque es necesario ampliar la escala temporal y espacial para determinar qué tipo de relación existe entre ambos patrones.

**Palabras clave:** napa freática, dique, albardón, estrés, *Populus*.

## Introducción

La forestación con Salicáceas (*Populus spp.* y *Salix spp.*) asciende a unas 83.000 ha (MAGyP, 2012) en el Bajo Delta del Río Paraná y constituye la principal actividad productiva de la región. Esta es la región de Argentina con mayor superficie forestada con Salicáceas (Borodowski, 2006) y en el caso del álamo abarca una superficie aproximada de 12.500 ha (MAGyP, 2012). La madera de álamo se destinada principalmente a las industrias del aserrado y debobinado y en menor medida, a la celulósica-papelera y triturado (Borodowski y Suárez, 2005). El ingreso del río y anegamiento prolongado afecta la productividad del álamo en las islas del Delta. Con el objetivo de facilitar la evacuación de excesos hídricos internos y evitar el ingreso de agua fluvial, se realizan obras de drenaje mediante zanjas y canales y se disponen terraplenes elevados (diques) en el perímetro de la superficie (Borodowski, 2006). Las plantaciones de álamo se realizan bajo este sistema de manejo del agua y se concentran en el área denominada localmente como “zona núcleo forestal”. Dentro de estos endicamientos se verifica un amplio rango de disponibilidad hídrica que va desde anegamiento temporal del sector radical en bajos donde se acumulan las precipitaciones hasta sequía durante el verano. En tal sentido, cabe destacar que la elevada productividad del álamo está asociada con altos requerimientos hídricos (Braatne *et al.*, 1992; Tschaplinski *et al.*, 1994) y a pesar de que las precipitaciones en la zona tienen un promedio anual cercano a los 1000 mm (Berrondo, 1995) su distribución es muy variable intra e interanualmente. A partir de esta situación surge en los productores la necesidad de utilizar el sistema originalmente planificado para drenaje para permitir el ingreso de agua al campo desde los canales en momentos con déficit hídrico. La optimización de este manejo requiere contar con información que permita definir el momento y volumen de agua a ingresar, mantener en los canales o drenar. Es decir, que es necesario comprender la influencia del clima, del relieve, de las características edáficas, de la dinámica de los ríos y de la propia sistematización sobre la fluctuación de la napa y el agua disponible para las forestaciones. *El objetivo de este trabajo es caracterizar la dinámica de la napa freática y evaluar su relación con las condiciones climáticas y el crecimiento de las plantaciones de álamo en dos posiciones contrastantes en cuanto a relieve y distancia a cursos de agua, dentro de un predio endicado y drenado del Bajo Delta del Paraná.*

## Materiales y métodos

El presente trabajo, corresponde a un estudio de caso realizado en un rodal de *Populus deltoides* clon ‘Australiano 129/60’ dentro de un sistema endicado y drenado de la zona núcleo forestal en el Bajo Delta del Paraná. El monitoreo de la fluctuación diaria de la napa freática en este sitio comenzó en el año 2010 y es el más antiguo de la red de freatómetros de INTA (EEA Delta del Paraná). Este caso permite visualizar dos situaciones contrastantes en cuanto a posición en el relieve y distancia a cursos de agua, y su relación con el crecimiento. El rodal seleccionado fue plantado en el año 2000 a partir de estacas, con una distancia de plantación de 6x3 m, densidad de 555 árboles/ha, que luego se modificó mediante un raleo selectivo intermedio. La última poda alcanzó los 6 m aproximadamente. El manejo forestal de este rodal se realizó mediante las prácticas comúnmente utilizadas en la región para obtener madera de calidad para aserrado y debobinado. En esta plantación se instaló una parcela de medición permanente en cada extremo de una transecta definida en sentido perpendicular al curso de agua principal (canal). Este canal tiene 3 m de ancho y 2 m de profundidad y se mantuvo con un nivel de agua de 1 m aproximadamente durante el período evaluado. A 70 m del canal y separado por el dique perimetral se encuentra el río. La *parcela 1*, más cercana al curso de agua, se instaló dejando más de 5 filas de bordura entre el límite de la plantación y el inicio de la parcela para evitar la posible interacción del efecto del agua con la mayor radiación que reciben los árboles en el borde del rodal. Este aspecto también fue considerado en el caso de la *parcela 2*, más alejada del canal. Dado el relieve de este sector del campo, la parcela 1 (a 35 m del canal) se encuentra a su vez en un sector bajo con respecto a la parcela 2, la cual está alejada del curso de agua (680 m) y ubicada sobre el albardón.

La superficie de las parcelas es de 432 m<sup>2</sup>. La parcela 1 tiene una densidad de 347 árboles/ha (15 individuos), mientras que la 2 tiene 394 árboles/ha (17 individuos). En cada parcela se midió mensualmente el diámetro a la altura del pecho (DAP) con cinta diamétrica, para lo cual se marcó el fuste a 1,3 m de altura de todos los árboles. Se evaluó el incremento

corriente anual (ICA) en DAP (cm) y en área basal AB (m<sup>2</sup>/ha). Para evaluar la caída de hojas a lo largo de todo el período, en cada parcela se instalaron 8 canastas distribuidas al azar. A partir de la caída recolectada se estimó la producción anual de materia seca de hojas (MS hojas kg/ha/año) y por otro lado, la proporción de hojas que cada parcela perdió desde la brotación hasta mediados del mes de enero como indicador indirecto de situaciones de estrés (biótico o abiótico) que puedan afectar el crecimiento del álamo.

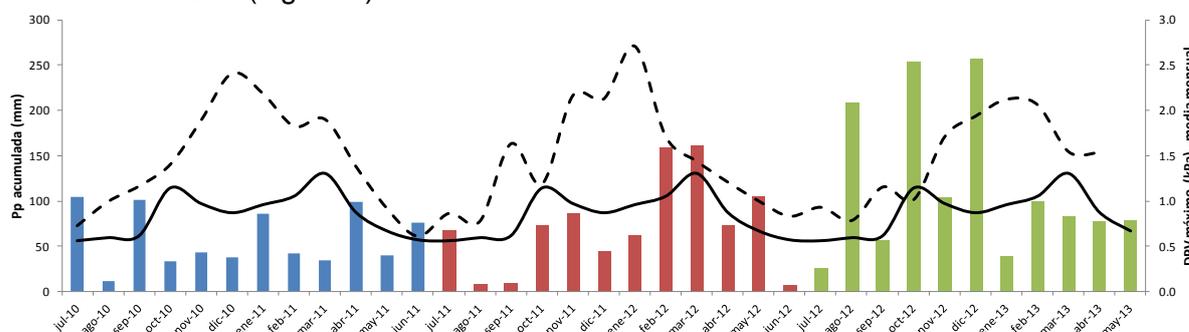
La dinámica de la napa freática en el perfil superior del suelo (hasta 3,5m de profundidad), se evaluó a partir de registros diarios de fluctuación de la napa en cada una de las parcelas instaladas. La fecha de inicio de estos registros fue el 21/10/2010. En el caso de la parcela cercana al curso de agua, el freatómetro debió profundizarse luego del primer período, modificando su profundidad de 2,5 m a 3,5 m a partir del 12/10/2011. Se instaló un freatómetro por parcela construido con caños perforados de PVC que funcionan a su vez como estructura de soporte para los sensores de registro automático (Micro-Diver-Schlumberger). El efecto generado por variación de la presión atmosférica sobre estas mediciones fue compensado a partir de una estación barométrica local (Schlumberger, 2008). Finalmente, se evaluó la posible influencia del nivel del río sobre la fluctuación de la napa a partir de los registros horarios de altura de los ríos de la región publicados por la Prefectura Naval Argentina.

Las mediciones comprenden tres períodos de crecimiento (2010 a 2013) con el objetivo de considerar el efecto de la variación climática interanual. Los datos climáticos se obtuvieron de una estación agrometeorológica iMETOS PRO instalada en la EEA Delta del Paraná (INTA). Se analizaron las variables: precipitaciones, temperatura y humedad relativa del ambiente. A partir de estas últimas se calculó el déficit de presión de vapor de la atmósfera (DPV (kPa)) como estimador indirecto de la demanda evapotranspirativa y se graficó su evolución en función de los valores diarios máximos (DPV<sub>máx</sub> (kPa)). La posible incidencia de las precipitaciones se analizó considerando el momento dentro del ciclo de crecimiento anual de los álamos. Por esto, se ha redefinido el período anual abarcando desde el mes de julio hasta junio del año próximo siguiente. Los tres períodos se denominaron 2010/2011; 2011/2012 y 2012/2013. Considerando este reagrupamiento, las precipitaciones mensuales se compararon con las precipitaciones medias históricas de la serie 1960-1994 (Berrondo, 1995) y a su vez, se comparó la precipitación acumulada mes a mes con aquella que surgiría de la media histórica con el propósito de determinar si el período fue más seco o más húmedo que la media y analizar la magnitud de este desvío en distintos momentos (por ej. déficit acumulado respecto a la media desde la brotación hasta el mes de enero).

Los suelos de esta región se caracterizan por presentar estructura masiva, abundante carbono en estratos superficiales y presencia de una capa subsuperficial arcillosa que con bajo contenido hídrico puede constituir una impedancia física para el desarrollo radical (Ceballos, 2011).

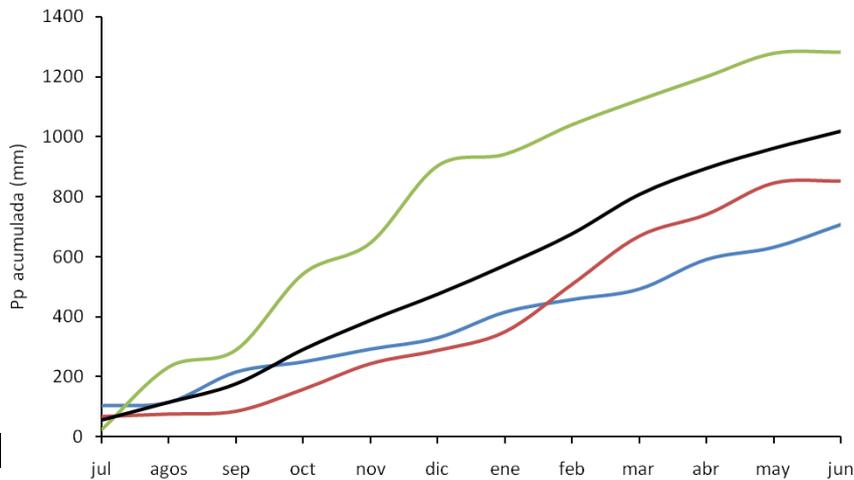
## Resultados y discusión

Las precipitaciones mensuales tuvieron alta variabilidad intra e interanual a lo largo de los 3 períodos de crecimiento analizados. Durante los períodos 2010/2011 y 2011/2012 las precipitaciones mensuales generalmente fueron menores a la media histórica, a diferencia del período 2012/2013 (Figura 1).



**Figura 1. Precipitación mensual (mm) durante el período 2010-2011 (barras azules), 2011-2012 (barras rojas) y 2012-2013 (barras verdes). Comparación con la precipitación media histórica registrada entre 1960 y 1994 (línea entera), y evolución de la demanda evapotranspirativa (línea punteada).**

Las precipitaciones acumuladas durante el período 2010/2011 y 2011/2012 fueron menores en comparación a los valores de la serie histórica 1960-1994 y se los consideró como períodos “secos” en este estudio (Figura 2). En 2011/2012, si bien la diferencia es menor, cabe destacar que lo antecede un período “seco” y que tuvo precipitaciones menores a la media hasta el mes de enero (Figura 1) alcanzando en este mes un déficit similar al del período anterior (Figura 2).

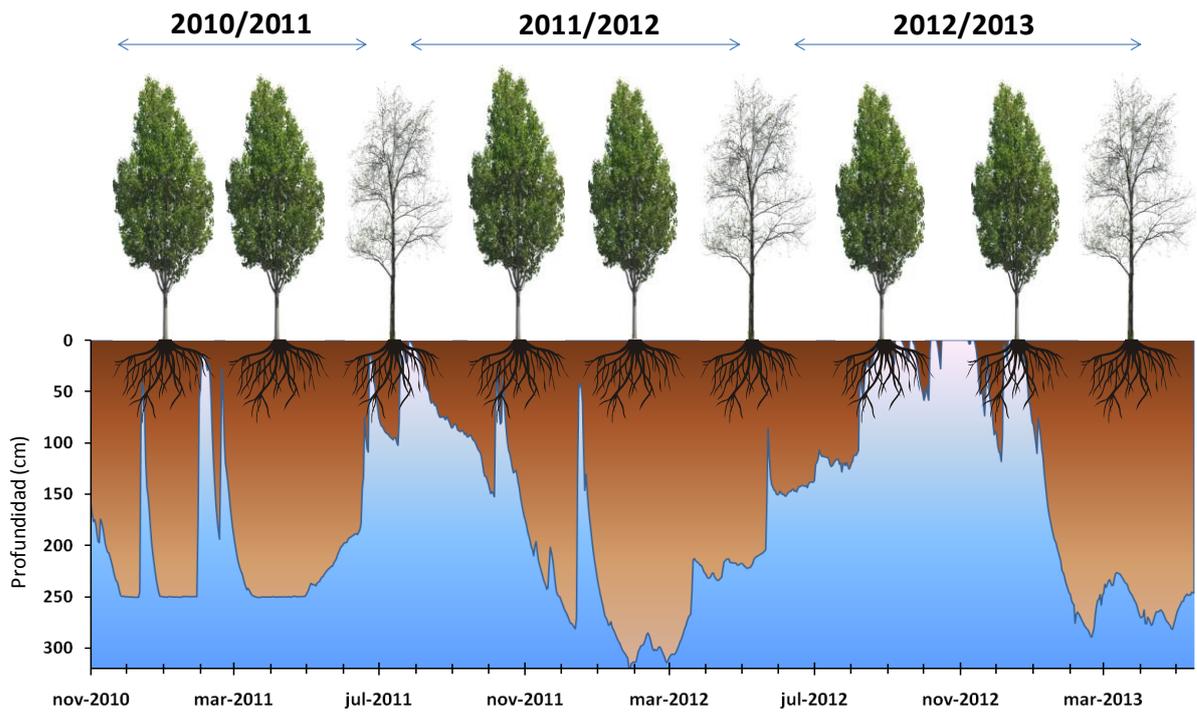


El período 2012/2013 se consideró “húmedo” y tuvo importantes precipitaciones en agosto, octubre y diciembre. La demanda evapotranspirativa (DPV máx) alcanzó los picos máximos en los meses de diciembre y enero en los tres períodos, y en términos absolutos fue mayor en los períodos “secos”, especialmente en 2011/2012 (Figura 1).

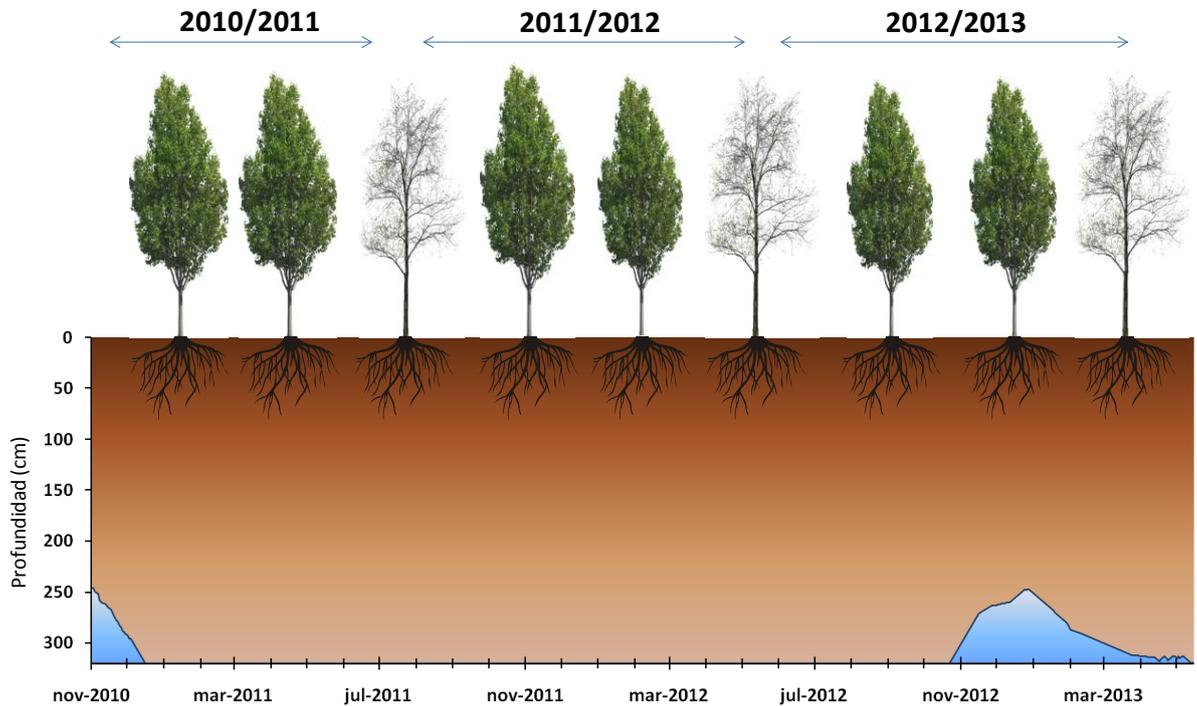
**Figura 2. Precipitación mensual (mm) acumulada durante el período 2010-2011 (línea azul), 2011-2012 (línea roja) y 2012-2013 (línea verde). Comparación con la precipitación media histórica registrada entre 1960 y 1994 (línea negra).**

La dinámica de la napa freática fue muy distinta en ambos sitios. La napa de la parcela 1 fluctuó entre períodos de descarga y recarga, pero se mantuvo siempre por encima de los 3,5 m de profundidad (Figura 3). Zhang *et al.* (1999) destacan el aporte de agua que puede realizar la napa freática en los casos en que fluctúa cercana a la zona de raíces. Estos autores estimaron aportes de la napa que variaban entre 15 y 60 % del agua transpirada en plantaciones de álamo y que su proporción aumentaba a medida que se secaban los estratos más superficiales del suelo. En el caso de la parcela 2, la napa se mantuvo principalmente por debajo de los 3,5 m de profundidad, con un leve ascenso en el período húmedo (2012/2013) en que las mayores precipitaciones generaron una recarga hasta los 2,5 m (Figura 4). Considerando que gran parte del sistema radical se desarrolla en el primer metro de suelo (Ceballos, 2011), es probable que en esta condición la interacción de las raíces con la napa freática y la posibilidad de utilizarla como fuente de abastecimiento de agua sea mucho menor que en el caso de la parcela 1.

Al analizar la dinámica de napa de la parcela 1 podemos inferir que en los períodos “secos” la tendencia general parece estar correlacionada principalmente con la curva de demanda evapotranspirativa, con ascenso de la napa en el período invernal y descensos marcados a partir del inicio del período de crecimiento de los álamos. Esta tendencia general se ve interrumpida por picos de rápido ascenso generados por precipitaciones intensas. Estos picos tuvieron un rápido descenso cuando ocurrieron entre los meses de octubre y marzo; y tuvieron un descenso poco pronunciado o se mantuvieron elevados cuando ocurrieron entre los meses de abril y septiembre, en los cuales la demanda evapotranspirativa fue menor. En el caso del período húmedo 2012/13, la dinámica de napa se modificó debido a las elevadas precipitaciones en los meses de octubre y diciembre, que la mantuvieron cercana a la superficie hasta fines diciembre (por momentos con acumulación de agua en superficie). Posteriormente descendió de manera pronunciada.

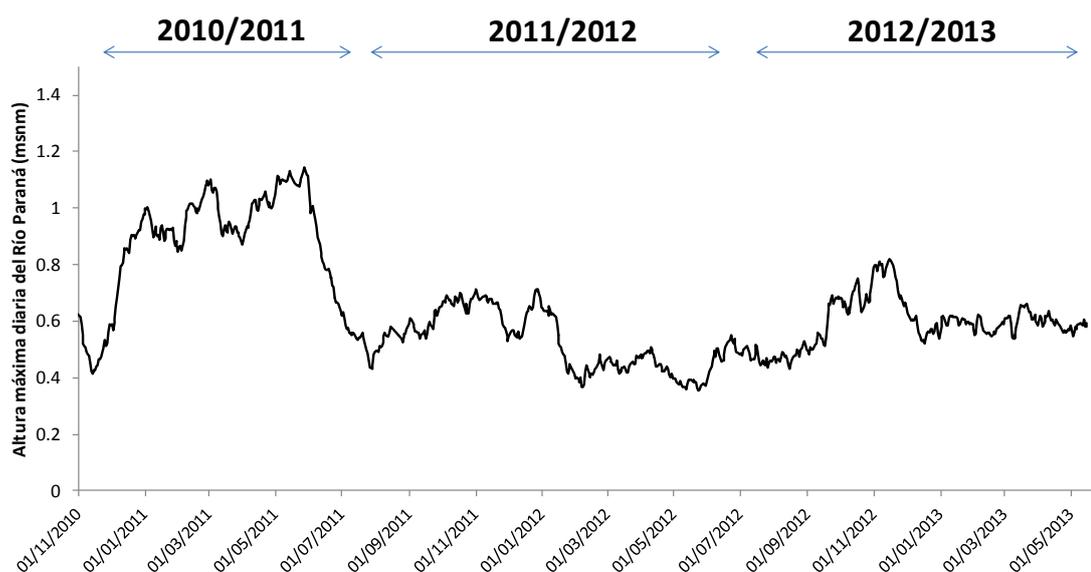


**Figura 3. Fluctuación diaria de la napa freática en la parcela ubicada en el bajo cercano a los cursos de agua (los árboles no se graficaron a escala).**



**Figura 4. Fluctuación diaria de la napa freática en la parcela ubicada en el albardón y lejana a cursos de agua (los árboles no se graficaron a escala).**

El patrón de fluctuación del río (Figura 5) no muestra correlación con la dinámica de la napa freática dado que presenta mayor altura durante el período 2010/2011 y se mantiene en niveles menores durante el período 2011/2012 y 2012/2013. Teniendo en cuenta que ningún repunte del río superó la altura del dique, si existiese influencia del río sería de manera subterránea y probablemente difícil de detectar dadas las diferencias entre el patrón de fluctuación de la napa dentro del dique y el del nivel del río.



**Figura 5. Fluctuación del Río Paraná. Patrón generado en función de las alturas máximas diarias y utilizando una media móvil de n=30.**

Al momento de la instalación de las parcelas, año 2010, las plantas tenían 11 años de edad. La parcela 1 tenía un DAP promedio de 29,1 cm y un AB de 23,4 m<sup>2</sup>/ha. Mientras que la parcela 2 tenía un DAP promedio de 22,8 cm y un AB de 16,1 m<sup>2</sup>/ha. Las diferencias en DAP y AB fueron muy marcadas desde el inicio de las mediciones. Incluso, la mayor densidad de la parcela 2 no compensa las diferencias en área basal entre ambas parcelas. Estas diferencias se mantuvieron a lo largo de los tres periodos y no hubo registro de mortalidad (Tabla 1).

**Tabla 1. Descripción de las parcelas permanentes. Evolución del DAP (entre paréntesis se detalla el desvío estándar) y el AB durante 3 periodos de crecimiento.**

Parcela	Año	Edad	Arboles/ha	DAP (cm)	AB (m <sup>2</sup> /ha)
<b>1</b> <b>Bajo a 35 m del canal y 170 m del río</b>	2010	11	347	29,1 (2,9)	23,4
	2011	12	347	30,5 (3,1)	25,5
	2012	13	347	31,7 (3,2)	27,6
	2013	14	347	32,7 (3,3)	29
<b>2</b> <b>Albardón a 680 m del canal y 750 m del río</b>	2010	11	394	22,8 (2,1)	16,1
	2011	12	394	23,5 (2,2)	17,2
	2012	13	394	24,2 (2,2)	18,2
	2013	14	394	25,6 (2,3)	20,4

**Tabla 2. Producción anual de hojas (kg/ha/año), caída de hojas hasta el mes de enero (kg/ha), porcentaje que representa dicha caída con respecto al total de hojas e incremento corriente anual (ICA) del DAP y del AB desde el año 2010 al 2013.**

Parcela	Período	MS Hojas (kg/ha/año)	↓MS Hojas enero (kg/ha)	↓enero (%)	ICA DAP (cm)	ICA AB (m <sup>2</sup> /ha)
1	2010/11	4152	58	1,4	1,3	2,2
Bajo a 35 m del canal y 170 m del río	2011/12	3174	48	1,5	1,2	2,0
	2012/13	3690	346	9,4	1,0	1,8
2	2010/11	2876	544	18,9	0,7	1,0
Albardón a 680 m del canal y 750 m del río	2011/12	3133	736	23,5	0,7	1,1
	2012/13	3929	665	16,9	1,4	2,2

**Referencias:** *MS Hojas (kg/ha/año)*: Materia seca de hojas acumulada durante el período de crecimiento. *↓MS Hojas enero (kg/ha)*: Pérdida de materia seca de hojas acumulada hasta el mes de enero. *↓enero (%)*: pérdida de hojas hasta enero en términos porcentuales. *ICA DAP (cm)*: Incremento Corriente Anual en diámetro a 1,3 m de altura (DAP). *ICA AB (m<sup>2</sup>/ha)*: Incremento Corriente Anual en Área Basal.

La producción anual de hojas fue variable entre períodos para ambas parcelas. Si se compara a las parcelas dentro de un mismo período, la materia seca de hojas fue similar para ambas a excepción de 2010/2011 donde la parcela 1 tuvo mayor producción (Tabla 2). Las diferencias más importantes se registraron en la proporción de hojas caídas hasta el mes de enero que en todos los casos fue considerablemente mayor en la parcela 2. Este síntoma y la ausencia de enfermedades permiten inferir condiciones de estrés hídrico en este sitio dado que la pérdida de hojas es una estrategia de aclimatación habitual en este clon (Alvarez *et al.*, 2012). Es factible que esto haya afectado el crecimiento de esta parcela dado que el 85% del incremento anual del DAP ocurre durante los meses de octubre a enero (promedio estimado a partir de las mediciones mensuales de DAP).

Con respecto al ICA en DAP y AB de la parcela 1 se registraron valores similares durante los tres períodos aunque el incremento presentó una leve disminución en el último período acompañado de un mayor porcentaje de pérdida de hojas (cercano a 10%). Esto podría deberse a la acumulación esporádica de agua en superficie ocasionada por las lluvias a principios de diciembre. Las hojas caídas no tenían signos de infección por roya. En el caso de la parcela 2, la diferencia entre los dos períodos “secos” y el “húmedo” fue más contrastante. Durante este último período se duplicó el ICA en DAP y AB respecto a los años secos, la producción de hojas fue mayor y se redujo la proporción de caída con respecto al período anterior.

### Comentarios finales

La dinámica de la napa freática en el perfil superior del suelo (hasta 3,5m) fue contrastante entre un sector bajo cercano a un canal y un albardón alejado de los cursos de agua. La dinámica en el primer caso se correlacionó principalmente con la demanda evapotranspirativa, con un marcado descenso durante el período de crecimiento de las forestaciones y ascenso en los meses de invierno con recarga principalmente por precipitaciones. En ese caso, el crecimiento del álamo fue similar en los tres períodos. En el albardón la presencia de la napa por encima de los 3,5 m abarcó períodos breves. Esta dinámica se reflejó en la pérdida de área foliar y menor crecimiento durante los años con déficit de precipitaciones, 2010/2011 y

2011/2012, recuperando el crecimiento durante el período húmedo 2012/2013, durante el cual duplicó al de los años anteriores.

La influencia del río sobre la fluctuación de la napa no resultó importante aunque es necesario realizar un análisis considerando una mayor escala temporal para determinar qué tipo de relación existe entre ambos patrones.

Es necesario avanzar en el estudio de la dinámica hidrológica en campos endicados y generar criterios sólidos para que los productores de la región puedan discutir distintas alternativas que permitan optimizar el manejo del agua en las forestaciones.

**Agradecimientos.** A Edgardo Gomes y su familia, y a los compañeros de la EEA Delta del Paraná, especialmente a Darío Ceballos, Manuel García Cortés y Silvio Lovera. Al proyecto de Silvicultura de INTA PNFOR 01104073 y el PIA N° 12068 (Proyecto BIRF 7520 AR) por el financiamiento de las actividades.

## **Bibliografía.**

**Alvarez J.A., Faustino L.I., Gyenge J.E., Graciano, C.** 2012. Efecto del estrés hídrico sobre la dinámica foliar y su relación con la vulnerabilidad a la cavitación del pecíolo en dos clones de álamo. XXV Reunión Argentina de Ecología, 24 al 28 de septiembre, Universidad Nacional de Luján, Buenos Aires, Argentina.

**Braatne, J., Hinckley, T., Stettler, R.,** 1992. Influence of soil water on the physiological and morphological components of plant water balance in *Populus trichocarpa*, *Populus deltoides* and their F1 hybrids. *Tree Physiology* 11: 325–339.

**Berrondo, G.,** 1995. Registros Pluviométricos Diarios Período 1964-1994. En. EEA Delta del Paraná. ISSN 0045-9895.

**Borodowski, E.D., Suárez, R.O.,** 2005. Efecto de factores microambientales en la productividad de clones de álamo. En, Actas 3º Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. ISSN 1669-6786.

**Borodowski, E.D.,** 2006. Álamos y sauces en el Delta del Paraná: situación del sector y silvicultura. En, Actas Jornadas de Salicáceas 2006, pp. 61-70. ISSN 1850-3543.

**Ceballos, D.S.,** 2011. El reemplazo de pastizales anegadizos por plantaciones de álamos con suelos drenados en el Bajo Delta del río Paraná: cambios físicos y biogeoquímicos en el suelo y en el ecosistema. En, EPG FAUBA. UBA, Buenos Aires, p. 62.

**MAGyP.** 2012. "Elaboración de un mapa de plantaciones forestales de la República Argentina de actualización permanente". Área SIG e Inventario Forestal. Dirección de Producción Forestal. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación Argentina. <http://64.76.123.202/new/0-0/forestacion/inventario/mapa%20de%20planta.html>.

**Schlumberger,** 2008. Diver Office User's Manual. Schlumberger Water Services, Ontario, Canada.

**Tschaplinski T.; Tuskan G.; Gunderson C.** 1994. Water-stress tolerance of black cottonwood and eastern cottonwood clones and four of their hybrid progeny. I. Growth, water relations and gas exchange. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 364–371.

**Zhang, H., Morison, J.I.L., Simmonds, L.P.,** 1999. Transpiration and water relations of poplar trees growing close to the water table. *Tree Physiology* 19 (9): 563-573.