

## Crecimiento de *Populus deltoides* 'Catfish 2' en cuatro distintas densidades

MARQUINA J. L.<sup>1</sup>; MARLATS R.<sup>2</sup>; CIOCCHINI G.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Profesor adjunto - Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales – UNLP – diag 113 y 61, La Plata C.P.1900. jmarqui@agro.unlp.edu.ar

<sup>2</sup> Profesor titular - Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales – UNLP – diag 113 y 61, La Plata C.P.1900

<sup>3</sup> Profesional asistente - Comisión Investigaciones Científicas, Buenos Aires - diag 113 y 61, La Plata C.P.1900

### RESUMEN

La densidad de plantas regula el crecimiento de los ejemplares en un rodal; su fijación, es la primera decisión que influye en el área individual con que contará cada ejemplar para desarrollar. El diámetro a la altura del pecho (**dap**) es el indicador más frecuentemente usado para caracterizar el tamaño de las plantas y en consecuencia su crecimiento. El objetivo del trabajo fue caracterizar la evolución del **dap** durante un período equivalente a uno de los turnos de uso habitual, en ejemplares de *Populus deltoides* 'Catfish 2', que crecieron en parcelas con cuatro densidades distintas, en un ambiente del Partido de Alberti, Provincia de Buenos Aires. Los estudios se realizaron con material de plantaciones de 15 años de edad. Las densidades analizadas fueron: 3333, 1667, 1111 y 816 plantas por hectárea. Para cada tratamiento se analizaron 45 ejemplares que hubieran tenido competencia completa durante el turno, de los cuales se obtuvieron rodajas de 5 cm de espesor a 1,3m de altura. En las mismas se midieron los diámetros correspondientes a cada año de crecimiento. Para cada densidad por separado, se ajustaron funciones vinculantes de la edad con el **dap**. Los modelos utilizados fueron: Logarítmico-X, Curva-S, Doble Inverso, y Multiplicativo. Los ajustes de los modelos se realizaron por el método de mínimos cuadrados. La eficiencia de los modelos se evaluó a través de los correspondientes valores de F, coeficiente de determinación (R cuadrado), y comportamiento de los valores residuales. El área disponible por cada planta para crecer resultó determinante de modo significativo en la magnitud de los incrementos anuales y medios anuales en **dap**. A mayor espacio disponible, mayores resultaron los valores máximos de los incrementos anuales y medios anuales. Los valores de incremento anual máximo de área basal, considerados según densidad, se presentaron entre los 2 y los 4 años de edad. La intercepción de curvas de incrementos anual y anual medio se produjo entre los 4 y los 7 años, presentándose antes en los tratamientos de mayor densidad. El modelo Curva – S resultó el más eficiente para relacionar la evolución del **dap** con la edad, expresando un alto porcentaje de la variación, con estimaciones insesgadas.

**Palabras clave:** *Populus deltoides*, Catfish 2, densidad, crecimiento

## Crecimiento de *Populus deltoides* 'Catfish 2' en cuatro distintas densidades

### INTRODUCCIÓN

El género *Populus* es dentro de los forestales, el tercero en Argentina respecto a volúmenes extraídos anualmente, ubicándose por debajo de *Pinus* y *Eucalyptus* (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 2002). La Provincia de Buenos Aires concentra el 35 % de las forestaciones con *Populus* en el país, y en ella se extrae el mayor volumen de productos del género, con un total de 181.495 tn/año (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 2002). Uno de los clones más utilizado es *Populus deltoides* 'Catfish 2' (Núñez Cresto, 1997; Petray 1998a, 1998b). Es usado para generar pasta celulósica, partículas, y para la fabricación de muebles.

El crecimiento de las especies forestales es regulado por una serie de condicionantes comunes. Según Clutter *et al.* (1981) el crecimiento de una masa forestal está determinado por una serie de factores, entre los que podemos mencionar: la capacidad productiva innata del sitio, el número de árboles por especie, las edades, las categorías diamétricas y la distribución espacial de los árboles. Daniel *et al.* (1982), expresa que los pronósticos de rendimientos de cada especie se encuentran condicionados por tres grupos de factores: Stock Genético, Sitio, Prácticas culturales

A excepción del sitio, los otros factores pueden ser controlados directamente por el silvicultor, mediante la elección de prácticas apropiadas.

La densidad, expresada en número de plantas por unidad de superficie, es determinada básicamente por las configuraciones de plantación y los raleos. La misma influye decisivamente sobre tamaño y forma de los ejemplares a lo largo de la rotación.

El **diámetro a la altura del pecho (dap)**, cuando se lo relaciona con edad y densidad, es una variable indicadora de crecimiento de amplia aplicación para la caracterización de crecimiento y producción. Es un potente indicador de la producción y la competencia. Levy y McKay (2003) rescatan esta variable como eficiente indicadora de la ocupación de la capacidad productiva del sitio.

La vinculación de **dap** y volumen con densidades de plantación, ha sido establecida para distintas especies, en distintos estudios, para edades fijas (Schmidting (1988); Larguía (1967); Marlats y Pujato (1983); Marlats *et al.* (1999); Glade y Hosokawa (1987)). Sin embargo, en álamos (como en la mayoría de las especies) se cuenta con escasos estudios que vinculen simultáneamente densidades, edades y **dap**.

**Objetivo:** caracterizar el desarrollo de diámetro a la altura del pecho (**dap**), durante el turno de crecimiento, en ejemplares de *Populus deltoides* 'Catfish 2', pertenecientes a parcelas con distintas densidades

### MATERIALES Y MÉTODOS

Las tareas se realizaron con material de plantaciones localizadas en el Establecimiento Forestal "María Dolores", de Papel Prensa S.A., situado en el Partido de Alberti, Provincia de Buenos Aires, Argentina, a los 35° 40' LS, 60° 15' LW. Es un ambiente donde ocurren temperaturas medias anuales de 20,1°C, mínimas absolutas de -5,1°C (junio) y máximas absolutas de 40,9°C (enero). La precipitación media anual es de 890mm, con un régimen isohigro. El suelo corresponde a un Hapludol éntico, franca gruesa, mixta, térmica; fase moderadamente bien drenada.

El clon estudiado fue *Populus deltoides* 'Catfish 2'.

La edad de las plantaciones correspondientes fue de 15 años. Las mismas desarrollaron a partir de estacas similares en longitud (60 cm) y diámetro (2-2,5 cm), extraídas de la misma posición dentro de las guías originales, para eliminar el posible efecto de topótesis (Alonzo & Sancho, 1964) influyendo sobre el crecimiento de manera diferencial.

Se trabajó con cuatro situaciones de densidad de plantas:

**Cuadro 1. Tratamientos de espaciamiento a los que fueron sometidos los ejemplares analizados**

Configuración [mxm]	Área/árbol [m <sup>2</sup> ]	Densidad (plantas/ha)
1,5x2	3	3333
3x2	6	1667
3x3	9	1111
3,5x3,5	12,25	816

Se seleccionaron al azar 5 grupos de 3 filas por 3 plantas (9 ejemplares) por cada configuración de plantación estudiada, que hubieran tenido competencia completa a lo largo del turno (los 8 ejemplares más cercanos siempre presentes). Se marcó la orientación norte en su corteza. Se aparearon. De cada ejemplar se obtuvieron rodajas de 5 cm de espesor a 1,3m de altura. Las rodajas se lijaron mecánicamente, y en cada una de ellas se procedió a medir con regla milimetrada la longitud de los diámetros en la dirección de las filas y en dirección perpendicular a la misma, para cada año de crecimiento.

Se ajustaron para cada densidad por separado, funciones vinculantes de la edad con el **dap**. Los modelos utilizados fueron:

Modelo Logarítmico-X:  $Y = a + b \cdot \ln(X)$

Modelo Curva-S:  $Y = \exp(a + b/X)$

Modelo Doble Inverso:  $Y = 1/(a + b/X)$

Modelo Multiplicativo:  $Y = a \cdot X^b$

donde  $Y = \mathbf{dap}$  ó volumen comercial ;  $X = \text{edad}$

Los ajustes de los modelos se realizaron por el método de mínimos cuadrados. La eficiencia de ajuste de los modelos se evaluó a través del análisis de valores de F, coeficientes de determinación y del comportamiento de los valores residuales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Cuadro 2. Valores de F y sus probabilidades calculados según modelos y áreas disponibles para los ejemplares**

Área disponible	Modelo			
	Logarítmico - X	Curva - S	Doble inverso	Multiplicativo
3 m <sup>2</sup>	316,88	969,3	1020,23	527,7
	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6 m <sup>2</sup>	541,7	1953,5	1257,4	715,1
	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9 m <sup>2</sup>	787,1	2054,9	898,0	631,4
	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,25 m <sup>2</sup>	598,6	1554,6	867,7	876,5
	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

La probabilidad de ocurrencia de valores de F (**Cuadro 2**), fue inferior a 0,01 para todos los modelos y tratamientos. La buena relación esperada entre **dap** y edad fue confirmada estadísticamente.

**Cuadro 3. Valores de R-cuadrado (%) calculados según modelos y áreas disponibles para los ejemplares**

Área disponible	Modelo			
	Logarítmico - X	Curva - S	Doble inverso	Multiplicativo
3 m <sup>2</sup>	57,2	85,9	81,2	69,1
6 m <sup>2</sup>	77,1	93,4	89,6	82,5
9 m <sup>2</sup>	85,7	94,3	90,5	88,3
12,25 m <sup>2</sup>	90,5	96,8	91,2	90,4

Según se observa en el **Cuadro 3**, para las cuatro configuraciones de plantación, el modelo Curva-S explicó en más del 85 % la variación de **dap** a partir de la edad, con valores cercanos al 95 % en las tres situaciones de menor densidad. En todos los casos fue el modelo que mayor porcentaje de variación interpretó.

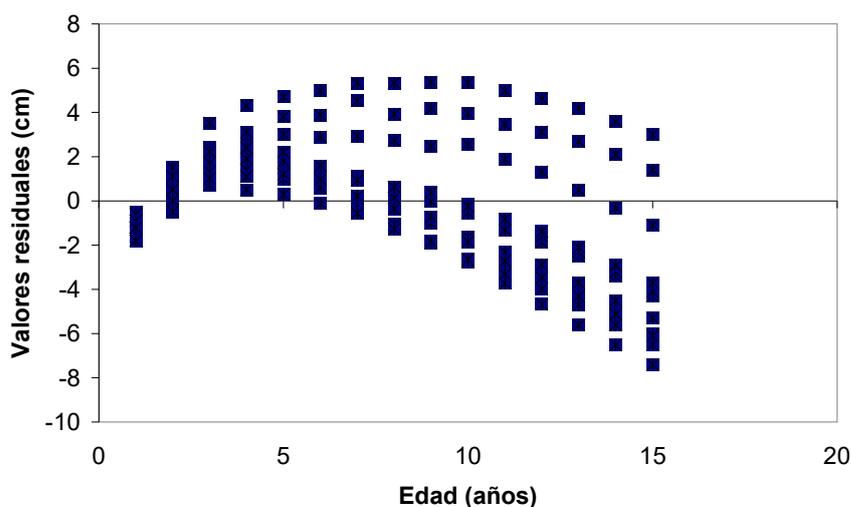
Los valores fueron aumentando para los cuatro modelos al ir aumentando el área a disposición de los ejemplares.

Los cuatro modelos, para las cuatro situaciones de densidad de plantas, presentaron valores de R-cuadrado sensiblemente superiores a los calculados por Marlats *et al.* (1998) para el mismo clon, con un modelo lineal ( $y = a + bx$ ); para ese caso particular, los valores nunca superaron el umbral de 45.

**Cuadro 4. Parámetros estimados según modelos y áreas disponibles para los ejemplares**

Área disponible	Modelo							
	Logarítmico - X		Curva - S		Doble inverso		Multiplicativo	
	a	b	a	b	a	b	a	b
3 m <sup>2</sup>	2,7332	3,1576	2,4614	-1,8073	-0,0279	0,6603	0,8256	0,9245
6 m <sup>2</sup>	2,3888	5,3849	2,9022	-2,2448	-0,0137	0,7252	1,0716	0,8287
9 m <sup>2</sup>	1,0803	7,9450	3,1225	-2,7550	0,0130	0,4492	1,1638	0,6690
12,25 m <sup>2</sup>	-0,3580	8,4354	3,2113	-3,0104	0,0504	0,4424	1,0823	0,5264

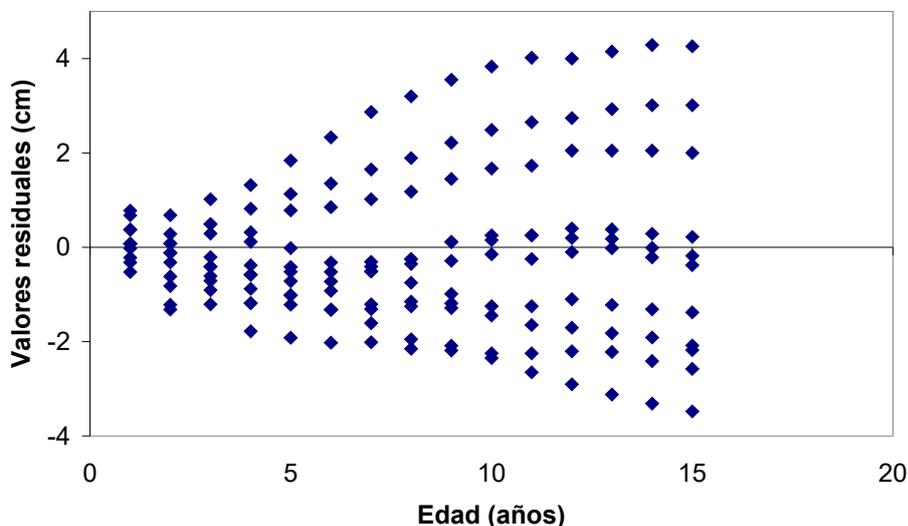
El **Cuadro 4** registra los valores de los parámetros estimados por el método de mínimos cuadrados, para los cuatro modelos estudiados en combinación con las cuatro situaciones de área disponible por planta.



**Gráfico 1. Valores residuales para el Modelo Multiplicativo, en situación de área disponible por planta de 6 m<sup>2</sup>**

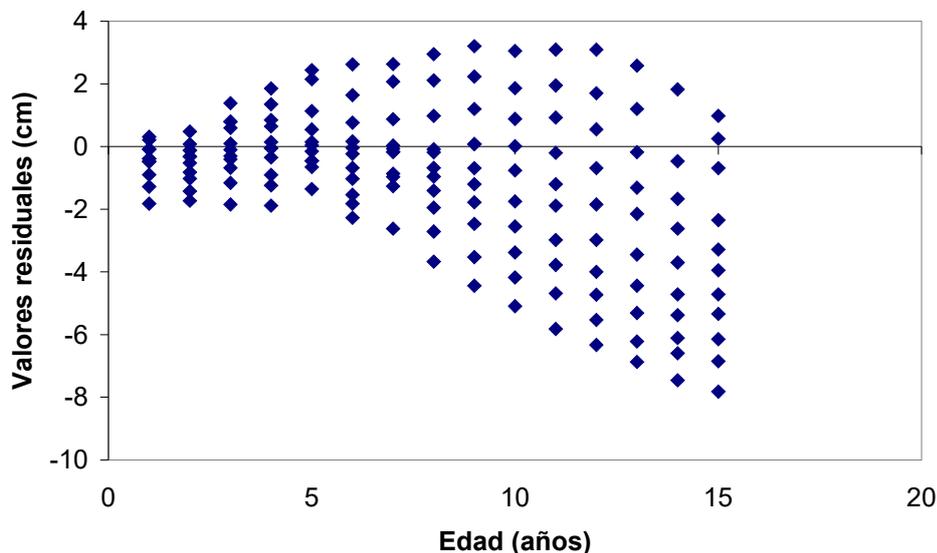
El **Gráfico 1** es representativo de los cuatro obtenidos para el modelo multiplicativo, según las distintas situaciones de área disponible por planta. Los valores residuales tendieron a tener

valores positivos hasta los 10 años, y a partir de esa edad la tendencia pasa gradualmente de neutra a ligeramente negativa. La aplicación del modelo implicaría una subestimación de los **dap** hasta los 10 años, y un cambio de tendencia a partir de ahí, sin sesgos primero, y sobrestimando en las mayores edades.



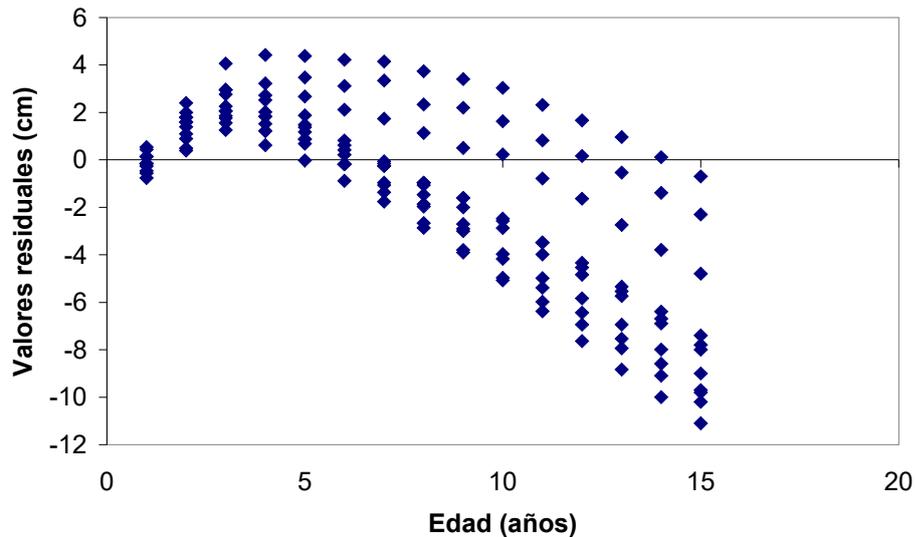
**Gráfico 2. Valores residuales para el Modelo Curva - S, en situación de área disponible por planta de 6 m<sup>2</sup>**

El **Gráfico 2** es representativo de los cuatro obtenidos para el modelo Curva - S, según las distintas situaciones de área disponible por planta. Los valores residuales presentaron situaciones equilibradas entre positivos y negativos, a lo largo del turno. La aplicación del modelo no implicaría sesgos de predicción para las edades en estudio.



**Gráfico 3. Valores residuales para el Modelo Logarítmico, en situación de área disponible por planta de 6 m<sup>2</sup>**

El **Gráfico 3** es representativo de los cuatro obtenidos para el Modelo Logarítmico, según las distintas situaciones de área disponible por planta. Los valores residuales presentaron tendencias negativas en las menores y mayores edades en estudio. La aplicación del modelo implicaría riesgo de sobrestimación para las edades indicadas.

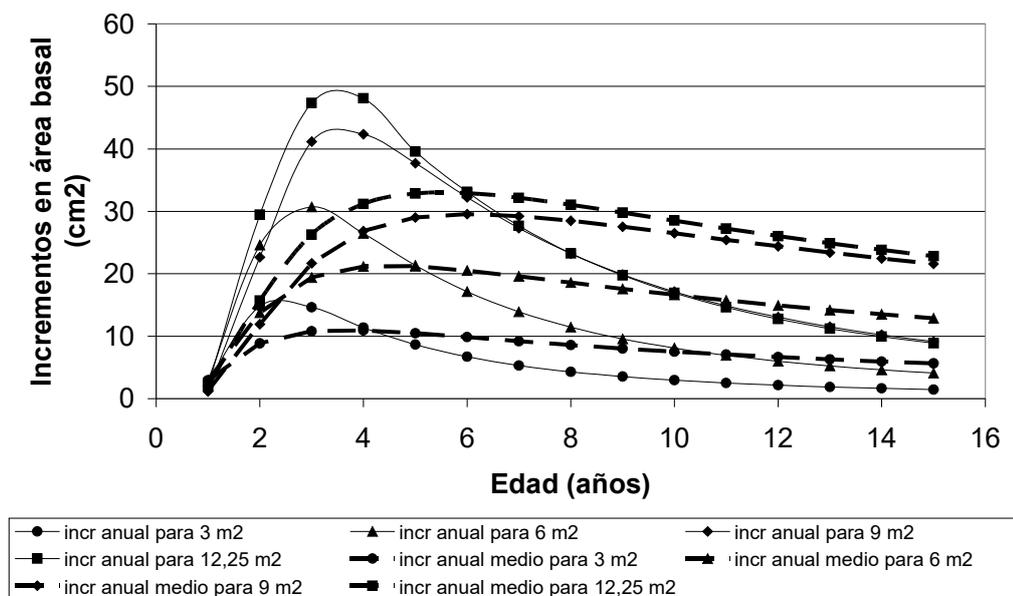


**Gráfico 4. Valores residuales para el Doble inverso, en situación de área disponible por planta de 6 m<sup>2</sup>**

El Gráfico 4 es representativo de los cuatro obtenidos para el modelo Doble inverso, según las distintas situaciones de área disponible por planta. Los valores residuales tendieron a tener valores definitivamente positivos hasta los 7 años, y marcadamente negativos a partir de los 11 años. La aplicación del modelo implica una subestimación de los **dap** hasta los 7 años, y una sobrestimación a partir de los 11 años.

Atendiendo a los resultados presentados en el **Cuadro 3 y Gráficos 1, 2, 3, y 4**, el modelo Curva – S se destacó por sobre los demás tanto en valores de R cuadrado, como en distribución de los residuos, para todas las situaciones de áreas disponibles por planta.

Aplicando el modelo Curva – S, con los parámetros calculados, para las cuatro situaciones de área disponible, se calcularon los valores de **dap** año a año, y con ellos las áreas basales. Las mismas se utilizaron para confeccionar las correspondientes curvas de de incrementos medios y anuales



**Gráfico 5 – Incrementos anuales y medios anuales en área basal para las cuatro densidades**

Los valores de incremento anual máximo de área basal, considerados según tratamiento de densidad, se presentaron a la edad de cuatro años para los dos tratamientos de menor número

de plantas por superficie, a los tres para el de 1667 plantas/ha, y a los dos para el de mayor densidad. Los valores fueron desde 15 a 48 cm<sup>2</sup> (situación de mayor densidad y situación de menor densidad respectivamente)

Los valores de incremento anual medio máximo de área basal, considerados según tratamiento de densidad de plantación, se presentaron entre los cuatro años (mayor densidad) y los 6 años (para las dos menores densidades), con valores que fueron desde 11 a 33 cm<sup>2</sup> (situación de mayor densidad y situación de menor densidad respectivamente)

La intercepción de curvas de ambos incrementos se produce a los 7 años (para los dos tratamientos de menor densidad), 5 años (1667 plantas/ha), y cuatro años (situación de mayor.

El tratamiento de menor densidad de plantas presentó los mayores valores para incrementos medios de área basal e incrementos anuales de área basal. Los menores se relacionaron con el tratamiento de mayor densidad de plantas. Los otros dos tratamientos respetaron la tendencia, encontrando entonces una relación inversamente proporcional entre densidad de plantas y valor de los correspondientes incrementos máximos en área basal; en concordancia, Szendrodi et al. (1994) en estudios sobre *Populus x euroamericana*, encontraron que dentro de los numerosos factores que hacen que un fenotipo se destaque entre los demás dentro de un mismo rodal, uno de los principales es la disposición de un mayor espacio de crecimiento. Davis & Johnson (1987), desde otra perspectiva, remarcan que la densidad no sólo describe el grado de ocupación de un sitio, si no que también indica la intensidad de competencia entre los árboles.

## CONCLUSIONES

El área disponible por cada planta para crecer, determina la magnitud de los incrementos anuales y medios anuales en **dap**, para *Populus deltooides* 'Catfish 2'

A mayor espacio disponible, mayores son los valores máximos de los incrementos anuales y medios anuales en **dap**, para situaciones que van desde los 3 a los 12,25 m<sup>2</sup> por planta

El modelo Curva – S resulta eficiente para relacionar la evolución del **dap** con la edad, expresando un alto porcentaje de la variación, con estimaciones insesgadas.

## LITERATURA CITADA

- Alonzo A. & R. Sancho. (1964). Topófisis en la elección de Salicáceas para plantación. IDIA, Suplemento Forestal 1. Argentina. pp. 15-22.
- Clutter J; J Fortson; L Pienaar; G Brister and R Bailey (1983) Timber Management. Ed. John Willey & Son. N. York U.S.A.345 pp.
- Daniel PW; UE Helms y FS Baker (1982) Principios de Silvicultura. Ed. Libros McGraw-Hill, Mexico. 425 pp.
- Davis L. & N. Johnson. (1987). Forest Management. Mc Graw-Hill, New York. 790 pp.
- Glade JE y RT Hosokawa (1987) Modelo para estimar el volumen por clases diamétricas de Eucalyptus grandis . Simposio sobre silvicultura y mejoramiento genético de especies forestales. Centro de Investigaciones y Experiencias Forestales. Capital Federal. República Argentina. IV: 153.
- Larguía A. (1967) Rentabilidad financiera esperada de dos alternativas de inversión en plantaciones de pinos en Misiones. IDIA Suplemento Forestal 4. Argentina. pp. 59-65.
- Levy P.E.y McKay H.M. (2003). Assesing tree seedling vitality tests using sensivity analysys of a process-based growth model. Forest Ecology and Management. 183(1), pp. 77-93
- Marlats R.M. y J Pujato (1983) Datos de crecimiento y produccion de *Pinus taeda* a los 10 años de edad, para 10 espaciamentos diferentes. Revista arbitrada de ATIPCA ISSN 0325-6901. 19avo Congreso sobre Celulosa y Papel. Capital Federal, Argentina. 1: pp. 84-92

- Marlats R, R Bratovich, J Marquina., J Arce (1998). "Interacción clon-espaciamento en *Populus deltoides*". Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. ISSN:0041-8676. Tomo 103(1), Año 1998: 17-26. Argentina.
- Núñez Cresto M. (1997). Estudio de susceptibilidad clonal del álamo (*Populus* sp.) al ataque de *Platypus sulcatus* Chapuis ("taladrillo de los forestales"). Informe de Beca. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. 128 pp.
- Petray E. (1998a). Evolución de las Forestaciones realizadas con Salicáceas en la Provincia de Buenos Aires en el Contexto del Régimen de Promoción de Plantaciones Forestales. En Informe interno de la Dirección de Producción Forestal. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Argentina, pp 123- 124.
- Petray E. (1998b). Evolución de las Forestaciones realizadas con Salicáceas (*Populus* y *Salix*) en la Provincia de Entre Ríos (1992-1995) en el Contexto del Régimen de Promoción de Plantaciones Forestales. En informe interno de la Dirección de Producción Forestal, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Argentina, pp 14-15.
- Schmitling RC (1988). Racial variation in self thinning trajectories in Loblolly Pine. Forest Growth Modelling and Prediction. Proceedings IUFRO Conference. Minneapolis. Minnesota. USA. Vol 2. pp 111-118.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. (2002) Guía Forestal , segunda edición). Argentina. pp 107-108.
- Szendrodi L., L. Abrahamson, & E. White. (1994) Quantitative modelling of spatial relationships in hybrid poplar bioenergy plantation. Proceedings of 20th International Poplar Commission. Turkey. pp. 111-119.