

# ECUACIONES PARA LA ESTIMACION DE VOLUMEN EN PLANTACIONES DE ALAMO EN JUNIN, BUENOS AIRES

Paula Ferrere\*<sup>1</sup>, Alejandro Signorelli

**Palabras clave:** modelos de crecimiento, altura dominante, producción.

En el centro norte de la Provincia de Buenos Aires, la producción de álamos se encuentra en estado de desarrollo inicial, con vistas a expandirse, por la cercanía a centros de procesamiento de la madera y la potencialidad de los suelos para este cultivo. El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar funciones de crecimiento y producción de *Populus deltoides* para la zona centro norte de la provincia de Buenos Aires para sumar información básica que permita hacer estimaciones de producción de madera de álamo.

## INTRODUCCION

El área de dispersión natural del género *Populus* se encuentra en el hemisferio norte, comprendiendo *Populus deltoides* y *nigra* el 90% de los álamos cultivados en el mundo. En nuestro país la superficie plantada con álamo se estima en 61.000 ha distribuidas en las regiones de Cuyo, Delta del Paraná, provincias de Buenos Aires y Santa Fé y bajo riego en Mendoza, Valle del Río Negro y San Juan (Di Marco, 2014).

Los álamos son especies pioneras, exigentes en luz y agua para su adecuado desarrollo. Las condiciones óptimas de suelo incluyen profundidad de dos metros, textura franco a franco arenosa con buena aireación, bien estructurados y no compactos. Su capacidad para la propagación vegetativa permite su multiplicación como clones, favoreciendo además la homogeneidad de la plantación y el manejo (Casaubon *et al.*, 2013).

Su madera es caracterizada como liviana, con una diversidad de usos tales como encofrados, tirantería, cajones y otros envases, muebles, fósforos, palillos, pastas mecánicas, vigas laminadas e instrumentos musicales entre otros. En forma complementaria las plantaciones de álamo pueden ofrecer una variedad de productos y servicios, tales como sistemas silvopastoriles para la producción de carne (Casaubon *et al.*, 2013), reparo y miel.

El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar funciones de crecimiento y producción de *Populus deltoides* para la zona centro norte de la provincia de Buenos Aires para sumar información básica que permita hacer estimaciones de producción de madera de álamo. Contar con modelos de

estimación de altura dominante y volumen en estas plantaciones es el primer paso para propiciar esta alternativa productiva en la zona. La estimación de la altura dominante en plantaciones forestales es importante como indicadora de la calidad de sitio, mientras que el volumen mide la producción de madera de un sitio determinado.

## DESARROLLO MATERIALES Y METODOS

El sitio experimental se ubicó en el Establecimiento San José 34° 44' 57,61" S; 60° 52' 29,44" O) en la localidad de Morse, partido de Junín provincia de Buenos Aires, Argentina. La región se caracteriza por un clima templado húmedo típico de la región pampeana, temperatura promedio anual de 15,9° C, con máximas promedio de 22,4 e inviernos con una temperatura promedio de 10,3° C, de noviembre a marzo es la época de donde se concentran mayor cantidad de lluvias con precipitaciones promedio de 1014 mm (Servicio Meteorológico Nacional, 2014), siendo sus suelos franco arenoso del tipo Hapludol.

Los relevamientos se efectuaron durante los meses de octubre y noviembre del 2013 y julio de 2015. Se realizaron sobre una serie de parcelas experimentales distribuidas en rodales de los cultivos "Stoneville 67" y "Australiano 129/60", de edades que van desde los 5 a los 17 años. Las plantaciones seleccionadas constituyen una cronosecuencia que abarcaría una rotación forestal (Tabla 1) y se asume que éstas representan el estado de desarrollo característico de la misma a esa edad. En total se midieron 70 parcelas.

1- Paula Ferrere es investigadora de la AER INTA 9 de Julio, [ferrere.paula@inta.gob.ar](mailto:ferrere.paula@inta.gob.ar); Alejandro Signorelli es extensionista de la AER Vedia-Junín. El trabajo ha sido parcialmente financiado por el PIA 10117 (BIRF Componente 2 Plantaciones Forestales Sustentables)

**Tabla 1.** Tamaño y ubicación de las parcelas instaladas

Lote (rodal)	tamaño de parcela	Edad (años)	cantidad de parcelas	Coordenadas geográficas	Fecha medición
4A	625	5	3	34° 44' 21" S 60° 51' 37" O	2013 y 2015
4B	625	17	3	34° 43' 33" S 60° 50' 41" O	2013
5A	625	10	3	34° 44' 41,3" S 60° 52' 26,9" O	2015
5D	625	11	3	34° 44' 28,6" S 60° 52' 42,1" O	2015
6A	625	7	3	34° 44' 52" S 60° 52' 24" O	2013 y 2015
6B	324	15	3	34° 44' 15" S 60° 51' 60" O	2013 y 2015
6C	324	17	3	34° 44' 00" S 60° 51' 19" O	2013
6D	625	16	3	34° 44' 02" S 60° 51' 15" O	2013
7C	625	6	3	34° 44' 27" S 60° 51' 43" O	2013 y 2015
7D	625	8	3	34° 44' 30" S 60° 51' 48" O	2013
8*	625	6	3	34° 44' 06" S 60° 50' 57" O	2013
10	625	7	3	34° 44' 41" S 60° 51' 57" O	2013
10A*	625	15	3	34° 44' 10,75" S 60° 50' 50" O	2013 y 2015
10B	625	16	4	34° 44' 29,7" S 60° 51' 45,8" O	2015
12B	625	9	3	34° 44' 58" S 60° 52' 29" O	2013 y 2015
13A	625	9	3	34° 45' 02" S 60° 52' 14" O	2013 y 2015

En cada rodal se establecieron, al azar, entre 3 y 4, cuadradas, de entre 324 y 625 m<sup>2</sup>. Para el inventario del año 2013, se midieron todas las circunferencias a la altura del pecho (cap) y la altura total (h) de 5 individuos, uno por cada clase diamétrica<sup>2</sup>. El dap (diámetro a la altura del pecho) se obtuvo dividiendo el cap por el número  $\pi$ . Las mediciones del cap se realizaron con una cinta diamétrica estándar y las de altura con un clinómetro digital Vertex IV. En el caso de los relevamientos de 2015, solo se midió el CAP y las parcelas fueron de 625 m<sup>2</sup> en todos los casos.

Para la estimación de la altura media se usó el siguiente modelo no lineal (Pearl y Reed, 1920 *op. cit.* en Arias Aguilar, 2004):

$$h = \frac{37,35281}{(1 + 8,40816 * e^{(-0,12126 * dap)})} [1]$$

Con éste modelo se estimaron las alturas de cada individuo. En total se utilizaron 164 pares dap-altura. El error relativo fue de 1,66% y el absoluto 2,82 m.

Para la estimación del volumen de árbol individual con corteza (vtcc) se utilizó la ecuación de Fernández *et al.* (2011), cuya expresión es la siguiente:

$$vtcc = 0,06263 * dap^{1,633496} h^{1,31769} [2]$$

#### Modelos ajustados

Para desarrollar los modelos de altura dominante (H) se definió como edad de referencia el año

11, considerando que en una rotación de 16 años, representa el 70 % del turno de corte. Los modelos no lineales Altura dominante-Edad que se ponen a prueba en este trabajo son los que mejor explican el proceso biológico de crecimiento y resultan de mayor aplicación en la bibliografía (Lundgren y Dolid, 1970). Para evaluar el ajuste de los modelos los criterios empleados fueron el error relativo (ER) y el absoluto (EA) de cada modelo, donde:

$\bar{E} = \sum (y_i - \hat{y}_i) / n$ , ER es el error porcentual,

$y_i$ : es el valor observado,  $\hat{y}_i$ : valor estimado; n: tamaño de la muestra. El error absoluto (EA) considera el valor absoluto de la diferencia:

$$|\bar{E}| = \frac{\sum |E_i|}{n}$$

El error estándar residual del modelo indica en cuanto se desvían los datos observados del modelo propuesto; se selecciona aquel ajuste que presenta el menor error estándar.

Para el procesamiento de datos y la estimación de los parámetros de los modelos no lineales se utilizó el paquete estadístico de Infostat.

Para las ecuaciones de volumen se utilizaron modelos citados en Sanchez *et al.*, (2003), que emplean variables usuales en este tipo de modelos como la altura dominante (HD) y el área basal (G). También se incorporaron otras variables, tales como la edad y el número de individuos para verificar si mejoraban las estimaciones.

2 - La clase diamétrica es el intervalo en que se divide la amplitud total de diámetros de árboles en una parcela, de modo de asegurar la representatividad del muestreo.

**Tabla 2.** Errores absolutos (EA) y relativos (ER) y parámetros de los modelos no lineales testeados, indicadores de ajuste y significancia para la estimación de la altura dominante.

Modelo	ER	EA	Parámetro	Estimador	Error Estándar	Pr(> t )
Chapman-Richards $H=b_0*(1+b_1*e^{(-b_2*Edad)})^{b_3}$	-0,006	0,0002	$b_0$	35,44622	0,91	p<0,0001***
			$b_1$	-0,18816	6,05	0,98
			$b_2$	0,32383	0,12	p<0,0001***
			$b_3$	21,5186	717,01	0,98
Exponencial negativa $H= b_0 * e^{(b_1 * e^{(b_2 * Edad)})}$	-0,006	0,0014	$b_0$	35,426607	0,58	p<0,0001***
			$b_1$	4,19129	0,81	p<0,0001***
			$b_2$	0,327386	0,03	p<0,0001***
Gompertz $H= b_0 / 1 + b_1 * e^{(b_2 * Edad)}$	0,317	-6,9357	$b_0$	35,08869	0,5	p<0,0001***
			$b_1$	8,99736	2,09	p<0,0001***
			$b_2$	0,40595	0,04	p<0,0001***
Michaelis-Menten $H=(b_0 * Edad)/(b_1 + Edad)$	0,013	-0,0402	$b_0$	57,37202	2,92	p<0,0001***
			$b_1$	10,08921	1,08	p<0,0001***

**Tabla 3.** Errores absolutos (EA) y relativos (ER) y parámetros de los modelos no lineales testeados, indicadores de ajuste y significancia para la estimación del volumen presente.

Modelo	ER	EA	AIK	BIK	Parámetro	estimador	Error estándar	Pr(> t )
1) $V = b_0 * G^{b_1} * E^{b_2}$	-0,902	13,839	647,66	656,98	$b_0$	3,63722	0,32	p<0,0001***
					$b_1$	1,13339	0,04	p<0,0001***
					$b_2$	0,25067	0,04	p<0,0001***
2) $V = b_0 * G^{b_1} * H^{b_2}$	-0,017	4,662	498,53	507,85	$b_0$	0,35739	0,03	p<0,0001***
					$b_1$	0,95934	0,02	p<0,0001***
					$b_2$	1,0205	0,04	p<0,0001***
3) $V = b_0 * G^{b_1} * H^{b_2} * N^{b_3}$	0,476	4,738	503,68	515,18	$b_0$	0,29579	0,11	p<0,0001***
					$b_1$	0,94093	0,03	p<0,0001***
					$b_2$	1,08177	0,09	p<0,0001***
4) $V = b_0 * G^{b_1} * H^{b_2} * E^{b_3}$	-0,014	4,662	500,53	507,16	$b_3$	0,00602	0,03	0,83ns
					$b_0$	0,35763	0,04	p<0,0001***
					$b_1$	0,95928	0,02	p<0,0001***
5) $V = b_0 * G^{b_1} * E^{b_2}$	0,002	5,011	500,17	636,35	$b_2$	1,02022	0,05	p<0,0001***
					$b_3$	0,00019	0,02	0,99ns
					$b_0$	4,06944	1,49	p<0,0001***
6) $V = b_0 + b_1 H + b_2 dg$	0,000	34,104	800,87	810,19	$b_1$	0,33002	0	p<0,0001***
					$b_2$	-206,5065	36,4	p<0,0001***
					$b_0$	4,47031	3,75	0,24ns
7) $V = b_0 + b_1 H + b_2 dg^2$	0,000	32,693	793,44	802,76	$b_2$	12,23269	3,07	p<0,0001***
					$b_0$	-110,5205	46,78	0,02ns
					$b_1$	6,81452	2,58	p<0,0001***
					$b_2$	0,21102	0,04	p<0,0001***

## RESULTADOS

**Modelos para la estimación de altura dominante:** Los criterios empleados para la selección fueron adecuados para todos los modelos y presentaron un comportamiento similar (Tabla 2). Chapman Richard y Exponencial Negativo presentaron los estadísticos más apropiados, con bajos valores de error relativo y absoluto. En el caso de la ecuación de Gompertz resultó el ajuste más pobre y con una distribución sesgada de los errores relativos. La ecuación de Michaelis-mentel también presentó valores más altos de EA y ER que las inicialmente mencionadas. Debido a que en el caso del modelo Chapman, no resultaron significativos dos parámetros, se recomienda el modelo Exponencial para la estimación de la altura dominante, puesto que su uso es más simple en relación a Chapman Richard.

**Modelos para la estimación de volumen:** En la tabla 3 se presentan los valores de los estimadores de los modelos de volumen puestos a prueba. En general todos los coeficientes resultaron significativos, excepto la densidad en el modelo 3, la edad en el modelo 4 y la altura dominante en el 5. El único que presentó un término independiente no significativo fue el modelo 7.

En cuanto a los criterios considerados para la selección del modelo todos presentaron un bajo error relativo (<0,5), mientras que en el caso del error absoluto, los que menores errores presentaron fueron el 2, el 3, el 4 y el 5, coincidentes con bajos valores de AIC y BIK. De todos los modelos puestos a prueba se considera que el modelo 2 es el de mejor ajuste que incluyó las variables área basal y altura dominante

## CONCLUSIONES

La estimación de la altura dominante es una herramienta fundamental para la generación de modelos de simulación de crecimiento puesto que indica la potencialidad de crecimiento del rodal en un sitio determinado. Todos los modelos testeados lograron un buen ajuste, sobresaliendo el modelo Chapman Richard en los estadísticos considerados.

En cuanto a los modelos de rodal ajustados, permiten una estimación adecuada del volumen de una plantación, de modo sencillo a partir de variables tales como la altura dominante, la densidad de plantación, la edad y el área basal.

Los crecimientos encontrados resultan muy promisorios. La conformación de cortinas y montes de reparo en la zona centro norte de la provincia de Buenos Aires con destino aserrable o laminable,

en combinación con sistemas productivos actuales, tales como el ganadero o el apícola permitiría la incorporación de la actividad al uso tradicional de la tierra. Un adecuado análisis económico financiero será necesario para complementar la información técnica aquí presentada. La ausencia de plantaciones de alta densidad o en la zona de mortalidad-competencia sugiere que hay una sub-ocupación inicial del sitio, que depende de los objetivos de la empresa que las maneja y que atiende a un esquema simplificado de manejo. La homogeneidad de los materiales de plantación, debido a su origen clonal y a la uniformidad de las estacas permite lograr plantaciones de buena calidad desde los años iniciales. También se destacan una buena rectitud del fuste, la presencia de plagas en forma muy acotada y el vigor de los árboles desde el inicio de la plantación.

## AGRADECIMIENTOS

A Sr Daniel Sama y a la Familia Urionaguena por la información brindada y la colaboración en las tareas de campo.

## REFERENCIAS

Arias Aguilar, D. 2004. Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 1(2), 2004

Casaubon E.; Frusso E.; Madoz G. 2013. Establecimiento de sistemas silvopastoriles en el delta del Río Paraná: comportamiento de diferentes materiales de propagación de álamo. *En*: 4° Congreso Forestal Nacional y Latinoamericano. 23 al 27 de setiembre de 2013. Iguazú. Misiones. 8 p.

Di Marco, E. 2014. *Populus*, Familia Salicáceas. Informe técnico. Dirección de Producción Forestal, 37 a 39 p. Disponible en: [http://www.minagri.gob.ar/new/0-0/forestacion/\\_archivos/\\_silvicultura/13.pdf](http://www.minagri.gob.ar/new/0-0/forestacion/_archivos/_silvicultura/13.pdf). [Consultado diciembre 2015].

Fernández, E.; Borodowski, E.D.; Cortés, G.; Signorelli, A. 2011. Efecto de la intensidad de raleo sobre el crecimiento de *Populus deltoides*. *En*: Actas de Jornadas de Salicáceas 2011, 16 al 19 de marzo de 2011, Neuquen, p 407-413.

Lundgren, A.L.; Dolid, W.A. 1970. Biological growth functions describe published site index curves for Lake States timber species. Research Paper NC-36. St. Paul, MN: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 9 p.

Sanchez, F.; Rodriguez, R.; Rojo, A.; Alvarez, J.G.; Lopez C.; Gorgoso, J.; Castedo, F. 2003. Crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 12 (2) 63-83. <<

