

## PROYECTO DE INVESTIGACION APLICADA (PIA 12019)

### Efecto de la competencia en los modelos de crecimiento de árbol individual y estimación de índices para *Pinus taeda* en la Mesopotamia argentina

Teresa Boca<sup>1</sup>, Gastón Sañudo<sup>2</sup>, Hugo Fassola<sup>1</sup>, Paula Ferrere<sup>1</sup>, Raul Pezzutti<sup>3</sup>

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la especie bajo cultivo en la Mesopotamia con mayor superficie ocupada es *Pinus taeda*, y constituye la base productiva de las principales industrias forestales de la región vinculadas tanto al mercado interno como externo. Por ello, resulta imperioso contar con instrumentos que permitan planificar y formular políticas de manejo silvícola en la toma de decisiones (Vanclay, 1994). En la Argentina los primeros simuladores fueron desarrollados en Misiones para *Araucaria angustifolia*, *P. elliotii* y *P. taeda* a través de un proyecto cooperativo entre las empresas, el INTA y la Facultad de Ciencias Forestales (Crechi et al., 1999). Estos simuladores de crecimiento y producción permiten realizar simulaciones, estimaciones y proyecciones a nivel de rodal (Fassola et al., 2008 y Pezzutti, 2011). En los últimos años se ha instalado una red de ensayos que cubren distintas estrategias de manejo para *P. taeda*, los cuales generan la información necesaria para ajustar modelos de árbol individual. El avance en la capacidad de procesamiento digital de datos ha hecho posible los estudios geoespaciales que permiten analizar las complejas interacciones competitivas entre los árboles individuales y determinar el grado de competencia. La competencia puede definirse como el efecto negativo que un organismo ejerce sobre otro debido al consumo o al control que realiza sobre el acceso a un determinado recurso de disponibilidad limitada. Existen en la bibliografía distintos índices de competencia y se pueden agrupar en dos categorías: Índices independientes de la distancia que no tienen en cuenta la distribución espacial de los árboles, por lo que no requieren la obtención de las coordenadas de los mismos e índices dependientes de la distancia que tienen en cuenta la distribución espacial de los árboles. Estudios realizados en varios países y para diferentes especies han mostrado mejoras en la estimación del crecimiento en diámetro cuando se ha incluido un índice de competencia en el modelo de árbol individual. En base a estas consideraciones los objetivos de este estudio son: i) estimar el efecto que la competencia ejerce sobre el crecimiento (en DAP y sección normales y en altura) de *Pinus taeda* en la Mesopotamia Argentina y ii) identificar el mejor índice de competencia o la mejor combinación de un índice de competencia con un criterio de selección de competidores.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio, relevamiento de datos. La base de datos cuenta con mediciones anuales sobre 2296 árboles tomadas durante un período de 15 años, comprendiendo un total de 34.440 observaciones. Los registros se realizaron en un ensayo de poda y raleo para *Pinus taeda* instalado en el año 1993 por INTA EEA Montecarlo con el objetivo de evaluar los resultados de diferentes esquemas de manejo de la densidad (individuos por hectárea) y distintas intensidades y oportunidades de poda. El ensayo cuenta con una densidad inicial de plantación de 1.666 árboles por hectárea con un distanciamiento de 3 m entre líneas y 2 m entre plantas sobre la línea. A los 3 años de edad se aplicó un raleo sistemático y se generaron 4 densidades:

1. boca.teresa@inta.gob.ar.

2. UNLP,

3. Forestal Bosques del Plata.

**TABLA 1**

ÍNDICE	FORMULA	REFERENCIA	
IC.1	$IC = \sum g_i \times \frac{10.000}{S}$	Área Basal	
IC.2	$IC = 10^{\log N + 1,605 \times \log Dq - 1,605}$	Reineke (1933)	
IC.3	$IC = DAP/Dq$	Razón DAP/Dq	
independientes de la distancia	IC.4	$IC = \sum_i g_i / G$	Razón sección normal / área basal
	IC.5	$IC = (g_i / G)^{\frac{DAP_i}{Dq}}$	Razón área basal / diámetro
	IC.6	$IC = \sum DAP_{mayor}^2 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{10.000}{S}$	BAL Wykoff et al. (1982)
	IC.7	$IC = BAL/G$	Vanclay (1991)
	IC.8	$IC = \sum_{i \neq j} \left\{ \frac{h_i}{h_j \times Dist_{ij}} \right\}$	Pukkala y Kolstrom (1987)
	IC.9	$IC = \sum_{i \neq j} \left\{ \frac{h_i}{h_j \times Dist_{ij}} \right\}$	Pukkala y Kolstrom (1987)
	IC.10	$IC = \sum_{i \neq j} \left\{ \frac{h_i}{h_j \times Dist_{ij}} \right\}$	Braathe (1980)
	IC.11	$IC = \sum_{i \neq j} \left\{ \tan^{-1} \left( \frac{h_j - h_i}{Dist_{ij}} \right) \right\}$	Mitsuda y Yoshida (2002)
Dependientes de la distancia	IC.12	$IC = \sum_{i \neq j} \left\{ \frac{DAP_j}{DAP_i \times Dist_{ij}} \right\}$	Hegyí (1974)
	IC.13	$IC = \sum_{i \neq j} \left\{ \pi \times \left[ \frac{Dist_{ij} \times DAP_i}{DAP_i + DAP_j} \right]^2 \times \frac{DAP_j}{\sum (DAP_j)} \right\}$	Alemdag (1978)
	IC.14	$IC = \sum_{i \neq j} \left\{ \frac{DAP_j}{DAP_i} \times \exp \left( \frac{16 \times Dist_{ij}}{DAP_i + DAP_j} \right) \right\}$	Martin-ek (1984)
	IC.15	$IC = \frac{DAP_i^2 \times nc}{\sum_{i \neq j} DAP_j^2}$	Daniels et al. (1986)
	IC.16	$IC = \sum_{i \neq j} \left\{ \frac{DAP_j}{DAP_i \times Dist_{ij}} \right\}$	Mitsuda y Yoshida (2002)

**Cuadro 1.** Índices de competencia dependientes e independientes de la distancia analizados.

Donde G: área basal por hectárea, i: cantidad de árboles presentes en la superficie considerada, g: sección normal de cada árbol, DAP: diámetro a la altura del pecho, N: cantidad de árboles por hectárea, S: superficie del área considerada, Dq: diámetro cuadrático medio, j: los árboles competidores, Distes: distancia entre el centro del árbol objetivo y el árbol competidor considerado en cada caso, nc: cantidad de árboles competidores que afectan al árbol objetivo y h: altura total del árbol.

1.666 árboles ha<sup>-1</sup>, 833 árboles ha<sup>-1</sup> 416 árboles ha<sup>-1</sup> y 208 árboles ha<sup>-1</sup>. Para cada situación de raleo se consideran tres intensidades de poda: sin poda; poda al 30% de altura del árbol y poda al 50% de altura del árbol. Para las condiciones extremas de raleo (0% y 87,5%) se considera un tratamiento de poda al 70% de la altura del árbol. Para las intensidades de poda de 30 y 50% de altura del árbol se realizaron ensayos en los cuales se podaron los árboles en dos, tres y cuatro ocasiones, mientras que para la condición de poda del 70% de altura del árbol se realizaron tratamientos con dos y tres intervenciones. El ensayo abarca un total de 32 tratamientos resultantes de la combinación de densidades y modalidades de poda aplicadas. En el ensayo se mantuvo individualizado cada árbol por medio de su ubicación dentro del rodal lo que permite abordar el desarrollo de índices de competencia dependientes de la distancia. Se relevó el diámetro a 1,30 m (DAP) de todos los individuos del ensayo y en una submuestra de 15 individuos por tratamiento seleccionados al azar se relevó, además, la altura total (H), la altura de comienzo de la copa (HCC) y el diámetro del fuste a la HCC (DF).

**Modelos hipsométricos DAP-Altura (DAP-H).** Dado que los índices de competencia empleados utilizan la altura total como variable de entrada, fue necesario el ajuste de relaciones hipsométricas que permitan estimar la altura de cada árbol a partir de sus respectivos valores de DAP. La relación DAP-H varía sensiblemente tanto entre los tratamientos como con la edad de los árboles, por lo cual las relaciones hipsométricas se ajustaron en función del tratamiento y edad. Para reducir la cantidad de combinaciones tratamientos-edades se consideraron rangos de clases de edad de 5 años de amplitud. Se ajustaron un conjunto de modelos hipsométricos lineales y no lineales basados en la bibliografía (Arias, 2004).

**Índices de competencia.** En el Cuadro 1 se reportan los índices de competencia dependientes e independientes estimados en este trabajo (Crecente, 2008). En la estimación de los índices de sitio dependientes de la distancia para determinar que individuos deben considerarse como competidores del árbol objetivo se empleó como criterio la definición de un radio fijo para cada árbol objetivo, considerando competidores a todos aquellos arboles incluidos dentro del círculo que definía el radio. Los índices dependientes de la distancia seleccionados de la bibliografía fueron aquellos que se podían estimar en función de las variables requeridas para su cálculo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Modelos hipsométricos DAP-H e Índices de sitio.** El ajuste de modelos para la estimación de altura total en función del DAP varió entre los tratamientos y la edad del rodal. De los doce modelos probados (Cuadro 1), los que tuvieron un buen comportamiento en la mayoría de las situaciones fueron: 06, 10 y 12 (Cuadro 3). Los criterios de selección de índices establecidos para las relaciones tasa de crecimiento-índice de competencia: lineal simple, exponencial y potencial determinaron que el ajuste de los modelos potenciales explica mejor la relación dado que se

**TABLA 2**

densidad		lineal			exponencial			potencial			Índice seleccionado	
		AIK	BIC	R <sup>2</sup>				AIK	BIC	R <sup>2</sup>		
Independientes de la distancia	833	0	-1878	-1870	0,32	1701	1692,79	0,333	-194,89	-186,06	0,333	Razón Secc. G
		30	-7501	-7488	0,11	7236	7223,81	0,065	-622,32	-609,3	0,065	Razón Secc. G
		50	-7311	-7298	0,08	7125	7113,06	0,041	-645,46	-632,54	0,041	Razón Secc. G
	416	0	-1998	-1989	0,55	1896	1887,65	0,572	-210	-200,79	0,572	Razón Secc. G
		30	-7120	-7106	0,1	6959	6946,26	0,047	-394,52	-381,39	0,047	Razón Secc. G
		50	-7391	-7378	0,05	7233	7219,75	0,014	-464,91	-451,66	0,014	Razón Secc. G
	208	0	-1714	-1705	0,32	1543	1534,66	0,349	-131,16	-121,98	0,349	Razón Secc. G
		30	-7854	-7841	0,06	7707	7693,44	0,016	-460,69	-446,96	0,016	Razón Secc. G
		50	-8057	-8043	0,02	7912	7899,17	0,001	-374,85	-361,03	0,001	Razón Secc. G
	1666	0	-2049	-2040	0,35	1908	1899,24	0,363	-299,42	-290,57	0,363	Razón Secc. G
		30	-8027	-8013	0,08	7523	7510,1	0,053	-773,55	-760,53	0,053	Razón Secc. G
		50	-6760	-6747	0,04	6392	6380,11	0,025	-574,35	-561,75	0,025	Razón Secc. G
Dependientes de la distancia	1666	0	1174	1183	0,057	1179	1188,28	0,459	-25,96	-17,11	0,459	Alemdag (1978)
		30	4456	4469	0,0616	4504	4518,02	0,428	-174,98	-161,95	0,428	Alemdag (1978)
		50	3954	3967	0,059	3985	3998,13	0,455	-93,69	-81,09	0,455	Alemdag (1978)
	208	0	1352	1361	0,0148	1364	1373,41	0,459	65,75	74,94	0,459	Alemdag (1978)
		30	5304	5318	0,0267	5341	5355,6	0,455	-615,53	-601,81	0,455	Alemdag (1978)
		50	5713	5727	0,0205	5740	5754,33	0,465	-340,01	-326,19	0,465	Alemdag (1978)
	416	0	1062	1071	0,0028	1069	1078,38	0,482	-157,05	-147,84	0,482	Alemdag (1978)
		30	4952	4965	0,0091	4969	4982,24	0,466	-19,86	-6,73	0,466	Alemdag (1978)
		50	5082	5095	0,0011	5098	5111,92	0,444	-34,37	-21,12	0,444	Alemdag (1978)
	833	0	1057	1066	0,0716	1069	1078,71	0,436	-75,51	-66,68	0,436	Alemdag (1978)
		30	4042	4055	0,017	4054	4067,36	0,465	-533,42	-520,4	0,465	Alemdag (1978)
		50	3920	3933	0,0239	3928	3941,29	0,454	-516,42	-503,51	0,454	Alemdag (1978)

**Cuadro 2.** Valores de los criterios de selección de los índices de competencia

obtuvieron valores de los coeficientes de determinación mayores. Para todos los tratamiento silvícolas aplicados el índice obtenido como la razón del DAP sobre el diámetro cuadrático medio (Dq) es el que mejor ajusta entre los índices independientes de la distancia y el índice propuesto por Alemdag (1978) es el mejor entre los índices dependientes de la distancia.

## CONCLUSIONES

Se concluye que el índice obtenido como la razón del DAP sobre el diámetro cuadrático medio (Dq) es el que mejor ajusta entre los índices independientes de la distancia y que el índice propuesto por Alemdag (1978) es el mejor entre los índices dependientes de la distancia.