

MODELOS PREDICTIVOS DE LA PRODUCCION DE *Pinus taeda* L. EMPLEANDO LA ALTURA DE PODA

PREDICTIVE MODELS OF YIELD OF *Pinus taeda* L. USING PRUNE HEIGHT

Rubén Costas⁽¹⁾,
Patricio Mac Donagh⁽²⁾
Santiago Figueredo⁽²⁾
Elizabeth Weber⁽²⁾
Martín Vargas⁽³⁾

(1)Prof. Adj. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM. Bertoni 124, Eldorado, CP 3380, Misiones, Argentina. Email rcostas@facfor.unam.edu.ar

(2)Docente-Investigador, FCF-UNaM

(3)Alumno adscripto, FCF-UNaM

SUMMARY

Data of a experience in a *Pinus taeda* L plantation, with ages between 4 and 7 year old were used for adjust predicted functions of yield including regressors variables associated with prune heigth and prune age. The response variables analyzed were diameter mean at breast height (DBH), dominant height, basal area (BA) and volume per hectare (VHA). The regressors variables used were, in addition to age, dominant height and density, prune height, prune age and number of prune realized. When the last prune height and prune height at 4 year age were include it were found an improvement of the behavior of predicted functions of DBH, BA, and VHA with regard to models that only include age, dominant height and density. The age of the lasted prune, number of prune and prune height at 5 year old do not improve the r^2 adjusts when were incorporated in the models.

Key words: *Pinus taeda*. Models. Prune heigth. Diameter at breast height. Volume per hectare.

RESUMEN

Con datos de un ensayo que alcanzó 7 años de edad, se ajustaron funciones predictivas de la producción de *Pinus taeda* L. que tuvieron entre sus variables independientes medidas y edades de podas realizadas en el ensayo. Las variables respuestas analizadas fueron el diámetro a la altura de pecho medio (DAP), la altura dominante, el volumen individual medio, el área basal (AB) y el volumen por unidad de superficie (VHA). Como variables independientes, además de la edad, la altura dominante y la densidad, fueron utilizadas variables vinculadas con las alturas, las edades y el número de levantes de poda. La inclusión de la altura de poda final y la altura de poda en el 4° año de edad mejoró el comportamiento de funciones predictoras del DAP, del AB y VHA respecto de modelos que contenían sólo la edad, la altura dominante y la densidad. La edad de la última poda, el número de levantes de poda y la altura de poda en el 5° año de edad no aportaron mejora de los ajustes al ser incluidas en algunos modelos.

Palabras clave: *Pinus taeda*. Modelos. Altura de poda. Diámetro a la altura de pecho. Volumen por unidad de superficie.

INTRODUCCION

La producción de una masa forestal regular es predecible a través de modelos matemáticos. Las variables predictoras más usadas suelen ser la edad, la densidad y la calidad de sitio expresada a través del índice de sitio o la altura dominante a una edad determinada.

Hay abundante bibliografía que trata sobre modelos de producción. Entre otros autores que trataron estas cuestiones pueden citarse a ALDER (1980), AVERY & BURKHART (1994), MYERS (1990) y PRODAN et al (1997).

Hay programas de simulación disponibles como el generado por CRECHI et al (1998) que predicen la producción de masas forestales de *Pinus taeda* L. por medio de funciones que toman como variables independientes a la edad, el índice de sitio y la densidad.

Los objetivos de este trabajo fueron generar funciones de producción donde además de las variables mencionadas puedan ser empleadas variables relacionadas con tratamientos de poda.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material experimental es un ensayo generado a partir de una masa regular de *P. taeda* procedencia Marion, implantada en 1996 en la localidad de Garuhapé-mí, Dto. Gral. Libertador Gral. San Martín, Misiones. La superficie total del ensayo es de 19.080 m². La pendiente promedio del lote es de 3%. El suelo es homogéneo en todo el ensayo y corresponde a un Kandiuult típico, Soil Taxonomy, (1991). El material implantado es homogéneo respecto de la procedencia genética, sitio y tratamientos culturales.

En el ensayo se combinaron 3 densidades, 4 alturas finales de poda y 3 tratamientos de número de levantes de poda. La estructura de tratamientos se muestra en la Tabla 1. Cada una de las 36 combinaciones de densidad y tratamientos de poda tuvo dos parcelas como repeticiones.

Desde el 4° año hasta el 7° de edad se midieron los diámetros a la altura de pecho (DAP), las alturas de poda y las alturas totales de los árboles de todas las unidades experimentales y por medio de funciones que contenían a esas variables se calcularon número de árboles por hectárea, área basal, altura dominante, volumen individual y volumen por unidad de superficie.

Se generó una base de datos que agrupó a todas las variables obtenidas y algunas transformaciones de las mismas para cada edad y se ajustaron funciones lineales y no lineales predictoras del DAP medio, el volumen individual, el volumen por hectárea, la altura dominante y el área basal.

TABLA 1: Estructura de Tratamientos de densidad y de poda.

TABLE 1: treatments of density, number of prune and prune height.

DENS (N°/ha)	N° DE LEVANTES DE PODA	ALT. PODA AÑO 4 – HP4 (m)	ALT. PODA AÑO 5 – HP5 (m)	ALT. PODA AÑO 6 – HP6 (m)	TRAT PODA	COMB
	2	3.30	3.30	3.30	1	1.1
	3	2.60	3.30	3.30	2	1.2
	4	2.37	2.83	3.30	3	1.3
	2	4.40	4.40	4.40	4	1.4
	3	3.15	4.40	4.40	5	1.5
D1 ₄ =567	4	2.73	3.56	4.40	6	1.6
D1 ₅ =525	2	1.80	5.50	5.50	7	1.7
D1 ₆ =499	3	3.70	3.70	5.50	8	1.8

D1 ₇ =400	4	3.10	4.30	5.50	9	1.9
	2	1.80	6.60	6.60	10	1.10
	3	4.25	4.25	6.60	11	1.11
	4	3.47	5.03	6.60	12	1.12
D2 ₄ =810 D2 ₅ =760 D2 ₆ =760 D2 ₇ =700	2	3.30	3.30	3.30	1	2.1
	3	2.60	3.30	3.30	2	2.2
	4	2.37	2.83	3.30	3	2.3
	2	4.40	4.40	4.40	4	2.4
	3	3.15	4.40	4.40	5	2.5
	4	2.73	3.56	4.40	6	2.6
	2	1.80	5.50	5.50	7	2.7
	3	3.70	3.70	5.50	8	2.8
	4	3.10	4.30	5.50	9	2.9
	2	1.80	6.60	6.60	10	2.10
	3	4.25	4.25	6.60	11	2.11
	4	3.47	5.03	6.60	12	2.12
	2	3.30	3.30	3.30	1	3.1
	3	2.60	3.30	3.30	2	3.2
	4	2.37	2.83	3.30	3	3.3
	2	4.40	4.40	4.40	4	3.4
	3	3.15	4.40	4.40	5	3.5
	4	2.73	3.56	4.40	6	3.6
	2	1.80	5.50	5.50	7	3.7
	3	3.70	3.70	5.50	8	3.8
	4	3.10	4.30	5.50	9	3.9
	2	1.80	6.60	6.60	10	3.10
	3	4.25	4.25	6.60	11	3.11
	4	3.47	5.03	6.60	12	3.12

Se Ajustaron modelos lineales y modelos no lineales para las variables respuestas DAP (15 lineales y 3 no lineales), altura dominante (3 no lineales), volumen individual (2 lineales), área basal (2 lineales y 3 no lineales) y volumen por unidad de superficie (7 lineales y 3 no lineales).

RESULTADOS

Se observó en general para todas las variables respuestas que la incorporación de la variable altura final de poda mejoró las calidades de ajustes de funciones que contuvieron además a la altura dominante, la edad y la densidad de la masa.

Las variables regresoras altura de poda y la altura dominante al 4° año de edad fueron significativas en los modelos lineales ajustados para DAP, resultando útiles para la predicción del mismo hasta la edad de 7 años, la máxima dentro de la base de datos analizada.

Las variables altura de poda en el 5° año de edad, número de levantes de poda realizado hasta llegar a la altura de poda final y la edad de la masa en la cual se realizó la última poda no resultaron significativas al estar presentes en algunos modelos evaluados para el DAP.

Predicción del DAP medio.

De las 18 funciones ajustadas, la que mejores indicadores estadísticos presentó, con un coeficiente de determinación ajustado de 0,87, predijo el DAP de manera lógica y resulta de simple aplicación fue

$$\text{DAP} = 1,9760 + 0,8332 * \text{HD} - 0,4591 * \text{HPA} + 1,4673 * \text{E} - 0,0025 * \text{N}$$

Donde:

DAP: diámetro a la altura de pecho con corteza promedio (cm)

HD: Altura dominante actual (m).

HPA: Altura de poda actual (m).

E: La edad de la masa (años).

N: La densidad actual de la masa (número de árboles/ha)

En el Gráfico 1 se muestran los DAP medios predichos con la función seleccionada entre los 4 y 7 años de edad con alturas finales de poda entre 3,3 y 6,6 m. Las alturas dominantes fueron fijadas en 9, 11, 13 y 15 m para los 4, 5, 6 y 7 años de edad respectivamente. La densidad se mantuvo constante en 700 árboles por ha.

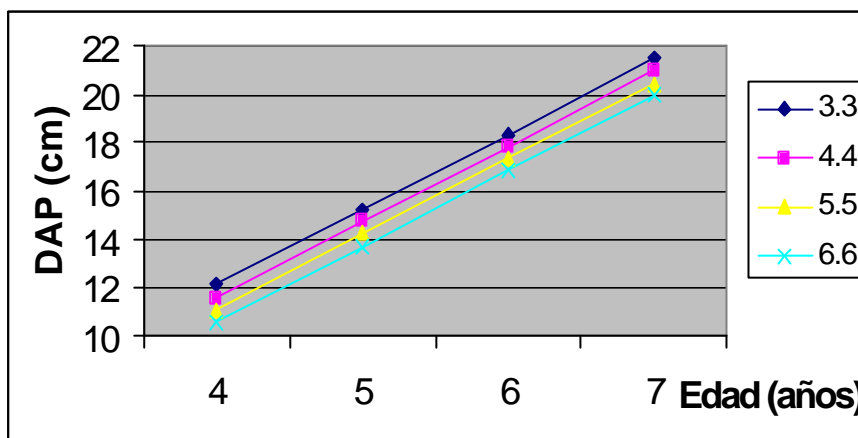


Gráfico 1: DAP medios predichos en cada edad y altura final de poda.

Graph 1: predicted mean DBH at each age and prune height.

En el Gráfico 2 se muestran los DAP medios predichos con distintas alturas finales de poda y distintas alturas dominantes a los 7 años de edad. La densidad se mantuvo constante en 700 árboles por ha.

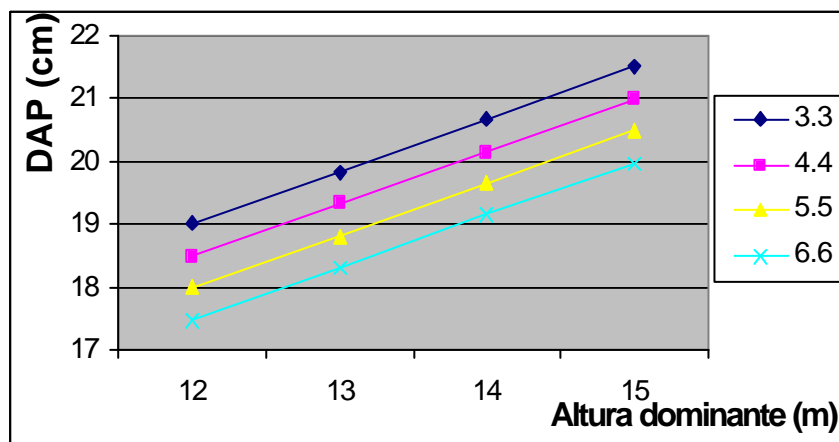


Gráfico 2: DAP medios predichos con cada altura dominante y altura final de poda.

Graph 2: predicted mean DBH at each dominant height and prune height.

En el Gráfico 3 se muestran los DAP medios predichos con distintas alturas finales de poda y 4 densidades diferentes a los 7 años de edad. La altura dominante se mantuvo constante en 13 m.

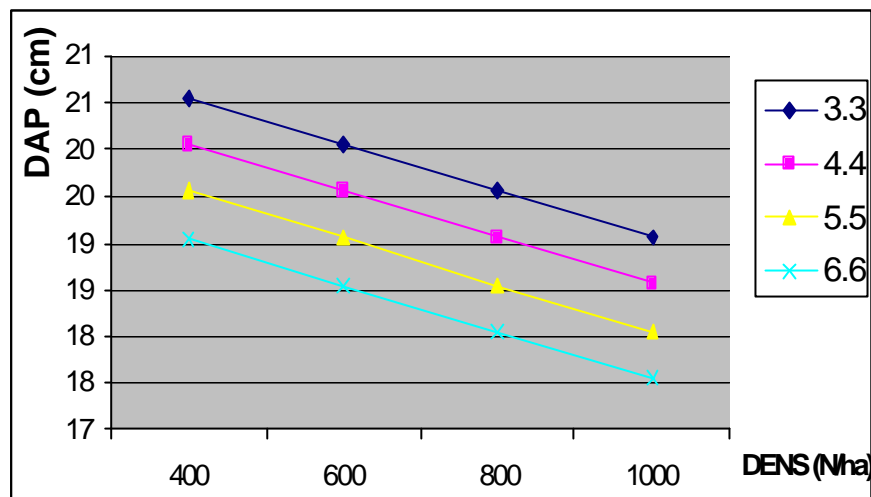


Gráfico 3: DAP medios predichos con cada densidad y altura final de poda.

Graph 3: predicted mean DBH at each density and prune height

Predicción de la altura dominante.

De las 3 funciones ajustadas, la que mejores indicadores estadísticos presentó, con un coeficiente de determinación de 0,88, fue el modelo

$$HD = 25.7744 * \exp(-4.7267/E + 0.0228/HPA)$$

Predicción del volumen individual medio.

De las 2 funciones ajustadas, la que mejores indicadores estadísticos presentó, con un coeficiente de determinación ajustado de 0,86, fue el modelo

$$VI = -129.5339 + 13.1205 * HD - 7.4360 * HPA + 22.1372 * E - 0.0268 * N$$

Donde VI es el volumen total sin corteza medio (dm³)

Predicción del área basal.

De las 5 funciones ajustadas, la que mejores indicadores estadísticos presentó, con un coeficiente de determinación de 0,72, fue el modelo

$$AB = \exp(-0.3469 - 21.7767/E^2 + 0.0874 * HD + 0.4345 * \ln(N) - 0.0378 * HPA)$$

Donde AB es el área basal (m²/ha).

Predicción del volumen por unidad de superficie.

De las 10 funciones ajustadas, la que mejores indicadores estadísticos presentó, con un coeficiente de determinación de 0,99, fue el modelo

$$VHA = \exp(1.6112 + 0.0291 * HD - 3.2689 / E + 1.0217 * \ln(AB) - 0.0008 * HPA)$$

Donde VHA es el volumen total sin corteza por hectárea (m³/ha).

CONCLUSION

La incorporación de la altura de poda final y/o la altura de poda lograda al 4º año de edad en modelos de producción que contuvieron además a la edad, la altura dominante y la densidad mejoró la calidad de los ajustes de funciones predictivas de las variables respuestas analizadas hasta los 7 años de edad.

AGRADECIMIENTOS

A los alumnos y ex alumnos de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales Mariano Cáceres, Ramón Silva, Rosa Winck, Liliana Rivero, Eusebio Winck, Javier Giménez, Graciela Martínez, Omar Martínez, Rafaela Morales, Raquel Winck, Iván Kahlstorf, Claudio Gómez, Marisa Becker y Juan Heck por su participación ad honorem en alguno/s de los cuatro años de medición del ensayo.

Al Ing. Pedro Irschick, por facilitar su plantación para instalar el ensayo y por financiar parte de los gastos operativos del proyecto y al personal de campo de su empresa por su colaboración en la aplicación de los tratamientos propios del proyecto.

BIBLIOGRAFIA

- ALDER D. 1980. Estimación del Volumen Forestal y Predicción del Rendimiento. Vol. 2 – Predicción del Rendimiento. Estudio FAO: Montes 22/2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 200 p.
- AVERY, T. E. & H. BURKHART. 1994 Forest measurements. Fourth Edition. New York McGraw-Hill. 408p.
- CRECHI, E. H., FASSOLA, H. E. y FRIEDL, R. A. 1998. Simulador Forestal. *Pinus elliottii* V 1.0. Programa Cooperativo Simulador de Crecimiento INTA – FCF.
- MYERS R. H. 1990. Classical and Modern Regression with Applications. PWS-KENT Publishing Company. Boston. 488 p.
- PRODAN M., PETERS, R., COX, F y REAL, P. 1997. Mensura Forestal. IICA-BMZ/GTZ. San José de Costa Rica. 561 p.