

AJUSTE DE ECUACIONES DE VOLUMEN EN PINUS DURANGENSIS EN LA COMUNIDAD LAS FLECHAS, DURANGO, MÉXICO.

Eduardo Montes de Oca Cano*
Sacramento Corral Rivas**
Juan Abel Nájera Luna***

Recepción: 7 de noviembre de 2008 • Aprobación: 3 de abril de 2009

RESUMEN:

El objetivo del presente estudio tuvo la finalidad de ajustar ecuaciones lineales y no lineales para estimar volumen, en la comunidad Las Flechas, Durango. Los resultados indican que las ecuaciones que se ajustaron mejor al volumen fueron Sloboda, Naslum modificada, variable combinada y Ogaya. A nivel individual, el componente total muestra los mejores estadísticos de ajuste. Los resultados encontrados en este estudio demuestran la importancia ecológica y económica que representa la especie *P. durangensis*.

Palabras claves: Modelos, volumen, CO₂, *Pinus durangensis*.

ABSTRACT:

The objective of this study was to formulate linear and nonlinear equations to estimate volume, in the community Las Flechas, Durango. The results indicate that the work best to the volume Sloboda, Naslum modificada, variable combinada and Ogaya. At the Individual level, the total component shows the best statistical adjustment. The results found in this study demonstrate the ecological and economic importance that the *P. durangensis* species represents.

Key words: Models, volume, CO₂, *Pinus durangensis*.

* Tesista Maestría en Ciencias en Desarrollo Forestal Sustentable. Instituto Tecnológico de El Salto, El Salto, Durango. México [montesdeoca_cano@hotmail.com].

** Profesor Investigador del Instituto Tecnológico de El Salto El Salto, Durango. México.

*** Profesor Investigador del Instituto Tecnológico de El Salto El Salto, Durango. México.

Introducción

Existen métodos directos e indirectos para la estimación del volumen y esto puede ser estimado a partir de las variables independientes tales como el diámetro, altura y ocasionalmente una tercera medida como ejemplo, el coeficiente mórfico. “El volumen puede ser relacionado directamente con el diámetro y la altura por medio de grafica, cartas de alineamiento o ecuaciones” (Spurr, 1952).

Existen innumerables ecuaciones de volumen que han surgido de la literatura universal. A pesar de esta amplia metodología matemática, menos de 10 se ha convertido en populares dentro de la literatura forestal. De esta se destacan la ecuación de la variable de Spurr en su forma lineal o Logarítmica, de Schumacher y Hall, de Naslund, Australiana y Sloboda. Jiménez (1988) hace mención del ajuste de 56 modelos de volúmenes de *Pinus pseudostrobus* (citado por Ovilla y Ruiz, 2001).

“Las ecuaciones de volumen son una herramienta básica en la planeación de las actividades forestales” (Clutter et al., 1983), actualmente la estimación de volumen mediante tales ecuaciones es utilizado para la transformación a biomasa y consecuentemente a carbono secuestrado por la vegetación.

La justificación de esta investigación radica en entender la dinámica de volumen en regeneración con modelos convencionales (Pastor y Bockheim, 1981) y en la estimación de volúmenes en árboles adultos a partir de regeneración natural (Agee, 1983).

El objetivo de este estudio tiene la finalidad de estimar volumen de la especie de *Pinus durangensis* ajustando ecuaciones lineales y no lineales.

Desarrollo

Materiales y Métodos

El predio se localiza en las inmediaciones de la Sierra Madre Occidental y el acceso se localiza en el km. 90 de la carretera Federal No. 40 partiendo de la Ciudad de Durango, Dgo, sobre el camino a Tayoltita-San Dimas, su ubicación geográfica se enmarca en los siguientes vértices. (Figura 1).

La Comunidad las Flechas se ubica en la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental, y esta compuesta por sierra y meseta. El predio se encuentra dentro en la región hidrológica número 10 (Sinaloa), cuenca A (Río Piaxtla-Río Elota y Río Quelite) y en la subcuenca a (Río Piaxtla). Esta comunidad es la que ocupa la mayor parte de la superficie forestal

Figura 1
Ubicación Geográfica del área de estudio



de las partes superiores de los sistemas montañosos del país. Está constituida por la mezcla de diferentes especies de pino (*Pinus* spp.) y encino (*Quercus* spp.), ocupando muchas condiciones comprendidas dentro del área general de distribución de los pinos (INEGI, 1992).

Este tipo de bosque está formado por la dominancia de encinos (*Quercus* spp.) sobre pino (*Pinus* spp.), y generalmente se desarrolla en las áreas de mayor explotación forestal, en los límites inferiores de los bosques de pino-encino (INEGI, 1992).

En él se puede observar el área que ocupa cada tipo de vegetación, el área que no sustenta vegetación forestal (TA) como son los terrenos agrícolas, frutícolas, asentamientos humanos, etc., y el porcentaje que representa cada uno con respecto al total del área del predio en estudio.

Tamaño de la muestra

Se seleccionaron 124 árboles dentro del área de estudio, árboles libres de plagas y enfermedades, libres de defectos tanto físicos como mecánicos, árboles que representan las categorías diamétricas de altura y edad, considerados dentro de la etapa de regeneración. Se extrajeron un promedio de 7 arbolitos por categoría de edad, desde 5 años hasta 17 años. Se etiquetaron todas las muestras con una clave de identificación con el número de árbol, categoría de edad y fecha. Una vez obtenidos los individuos, se introdujeron en bolsas de plástico para evitar por un lado la pérdida de humedad excesiva y por otro lado conservar un orden para el análisis de datos. Después se trasladaron al laboratorio para realizar posteriores mediciones.

Obtención de variables dasométricas de la especie

Se estudiaron 124 arbolitos, a cada individuo se le midieron las siguientes variables: edad (E) fue estimada mediante el número de verticilos que presentó cada árbol muestra; diámetro a la base del suelo (DB) y diámetro a 10 cm. de la base del suelo (D) medidos mediante vernier; altura del fuste limpio (HF) y altura total (HT) obtenidas mediante cinta métrica; número de ramas (NR) se obtuvo mediante la cuenta del número de ramas realizada en forma visual; cobertura (CB) medida mediante cinta métrica. (Cuadro 1). Se separaron destructivamente con ayuda de una segueta cada componente (hojas, ramas y fuste) de los 124 los individuos de la especie *Pinus durangensis*, cubriendo el rango observado de las categorías de edad.

Cuadro 1
Número de árboles seleccionados

Tipo de Muestra	No. de árboles	Especie
Análisis y modelaje	124	<i>Pinus</i> <i>durangensis</i>
Total	124	

Estimación del volumen

Se obtuvo el volumen de los árboles mediante inmersión y desplazamientos en agua con xilómetros. Los recipientes utilizados fueron de diferentes capacidades, incluyendo vasos de precipitado (250 y 1000 ml) hasta recipientes de 20 l de capacidad volumétrica. La utilización de cada recipiente estuvo en función del tamaño de las muestras para evitar incrementar el error en la estimación de volumen.

Para tener una mejor estimación del volumen de las muestras, estas se pesaron antes y después de sumergirlas para evitar errores en la obtención del volumen por absorción. Una vez conocida la diferencia de peso, se restó el agua absorbida al volumen obtenido por inmersión, de esta manera se estimó con mayor precisión el volumen real de la muestra.

Ajuste de modelos de regresión volumen

Se probaron los modelos de regresión mediante programas computacionales como: SAS, STATISTICA y GRETL, para

estimar el volumen a nivel global. Los modelos probados (cuadro 2) solo incluyeron ecuaciones lineales y no lineales.

El ajuste de los modelos se realizó mediante la técnica de regresión, sesgo, suma de cuadrados, cuadrados medios.

Las variables utilizadas como independientes para la estimación del volumen total fueron: diámetro (cm.), altura (m), combinaciones y transformaciones de ellas.

Criterios de selección de modelos

Los criterios utilizados para determinar el mejor modelo fueron la R^2 , el

Cuadro 2
Modelos utilizados para estimar volumen en *Pinus durangensis*

Ecuaciones	Modelos
1 Variable combinada de Spurr	$Y_i = b_0 + b_1 * d_i^2 h_i$
2 Australiana de Stroat	$Y_i = b_0 + b_1 * d_i^2 + b_2 * h_i + b_3 * d_i^2 h_i$
3 Meyer modificada	$Y_i = b_0 + b_1 * d_i + b_2 * d_i^2 + b_3 * d_i h_i + b_4 * d_i^2 h_i$
4 Naslund	$Y_i = b_0 + b_1 * d_i^2 + b_2 * d_i^2 h_i + b_3 * d_i h_i^2 + b_4 * h^2$
5 Australiana	$Y_i = b_0 + b_1 * d_i + b_2 * h_i + b_3 * d_i^2 h_i$
6 Sloboda	$Y_i = b_0 + b_1 * h_i + b_2 * d_i^2 h + b_3 * d_i h_i^2$
7 Sloboda	$Y_i = b_0 + b_1 * h_i + b_2 * d_i h + b_3 * d_i^2 h$
8 Comprensible	$Y_i = b_0 + b_1 * d_i + b_2 * d_i h_i + b_3 * d_i^2 + b_4 * h_i + b_5 * d_i^2 h_i$
9 Naslund modificada	$Y_i = -b_0 + b_1 * d_i^2 h_i + b_2 * h_i + b_3 * d_i h_i^2$
10 Spuur exponencial	$Y_i = b_0 + d_i^2 * h_i^{b_1}$
11 Ogaya	$Y_i = b_1 * d_i^2 + b_2 * d_i^2 * h_i$
12 Takata	$Y_i = d_i^2 * h_i / b_0 + b_1 * d_i$
13 Coeficiente mórfico cons	$Y = b_0 * d_i^2$
14 Schumacher	$Y = b_0 * d_i^2 * h_i$
15 Korsun	$Y = b_0 * (d_i + 1)^{b_2} * h_i^2$
16 Dwight	$Y = b_0 * (d_i^{b_1} * h_i^{(3-b_1)})^{b_1}$
17 variable combinada3	$Y = b_0 * (h_i / d_i)^{b_1} * d_i^2 * h_i$
18 Thornber	$Y = B_1 * (H/D)^{B_1} * D^2 * H$
19 Honer	$Y = D^2 / B_0 + B_1 / H$

Donde: Y_i = Volumen (cm^3); $B_0, b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ = Parámetros de la regresión, d_i = Diámetro a la base del árbol (cm); H_i = Altura del árbol (cm).

error estándar, sesgo, así como la probabilidad del modelo y de los parámetros de regresión. Otro criterio tomado en cuenta fue la sencillez del modelo y número de variables consideradas.

Resultados

Los resultados de los modelos probados para estimar el volumen de los árboles de *Pinus durangensis* fueron como se muestra en los Cuadro 3 y 4.

En la estimación de volumen, se observa que el modelo que mejor se ajustó fue el Sloboda (6) mostrando buenos estadísticos de ajuste ($R^2=0.9628$

y $S_x=.1636$). El segundo mejor modelo fue el Naslund modificada (9) presentando una $R^2=.9499$ y $S_x=.1534$. El tercer mejor modelo fue el Variable Combinada 3 (17) presento una mayor R^2 de .9472 y un menor S_x de .1913 siendo el cuarto mejor modelo el de Ogaya (11) con una R^2 de .9223 y S_x de .2337. El modelo que menos se ajustó en la determinación de volumen para esta especie fue el Sloboda (7) teniendo la menor R^2 de 0.4010 y un error estándar de .6575. El segundo pero modelo fue el de Dwight (16) con una R^2 de .2488 y un error típico de .7239, el tercer peor modelo fue el de Meyer modi-

Cuadro 3
Parámetros para estimar volumen de de *Pinus durangensis*, en la región de El Salto, Durango

Modelos	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
1	0.0696	0.0000				
2	-0.1843	0.0009	0.0123	0.0000		
3	-0.5477	0.0563	-0.0007	-0.0003	0.0000	
4	-0.1141	0.0016	-0.0001	0.0001	-0.0009	
5	-0.3667	0.0329	-0.0005	0.0000		
6	-0.1353	0.0216	0.0001	-0.0001		
7	0.3716	-0.1131	0.0076	-0.0001		
8	0.9652	-0.0712	0.0114	0.0018	-0.1437	-0.000203
9	0.1353	0.0001	0.0216	-0.0001		
10	0.3452	-4.7245				
11	0.0006	0.0000				
12	829.1795	-0.0618				
13	0.0007					
14	0.0000					
15	0.0001	0.7685				
16	0.0007	0.7375				
17	0.0000	-0.4718				
18	0.0011					
19	1420.9					
	398	-0.3976				

Donde: b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 = Parámetros de los modelos.

ficada (3) con una R^2 de .6931 y un Sx de .4738 y por ultimo el cuarto peor modelo fue el Naslund (4) con una R^2 de .7864 y un error típico de .3952

En términos generales todos los modelos estiman bien los volúmenes, sin embargo solo los modelos Comprensible, Dwight, Thornber y Spuur exponencial

Cuadro 4
Estadísticos de ajuste para modelos
de volumen de *Pinus durangensis* en la región
de El Salto, Durango

Modelos	SC	R^2	Sx
1	7.42271	0.78963	0.3104
2	5.79041	0.83589	0.27785
3	16.6150	0.69310	0.47384
4	11.5625	0.7864	0.39528
5	7.64013	0.85888	0.31916
6	2.00927	0.96288	0.16367
7	32.4256	0.40107	0.65752
8	99.5064	-0.83794	1.16751
9	1.76502	0.94997	0.153406
10	54.2460	-0.53738	0.85045
11	4.20647	0.92230	0.23372
12	58279.7	-1075.4	27.511
13	4.62484	0.86892	0.24350
14	5.95279	0.83129	0.27625
15	96.9498	-0.79072	1.11487
16	40.8820	0.24488	0.72396
17	2.85684	0.94723	0.19137
18	57430.8	-1626.6	27.1347
19	4.62989	0.91448	0.24521

Donde SCR = Suma de cuadrado de los residuos, DTR = Desviación típica de los residuos; R^2 = Coeficiente de determinación corregido y Sx = Error estándar (cm³).

quedaron desechados y no son recomendados para la estimación del volumen en esta investigación (Cuadro 3).

Discusión

A diferencia de Corral y Radilla (1996) donde encontraron que el modelo de la Variable combi nada en su forma logarítmica, lineal y el de Schumacher resultaron ser los mejores modelos para la predicción de volumen para la especie de *Pinus cooperi* y *Pinus durangensis* obteniendo una R^2 de 0.96 y 0.97 respectivamente. Por su lado Corral (1999), estimó volumen fustal para cinco especies (*Pinus cooperi*, *Pinus durangensis*, *Pinus engelmannii*, *Pinus leiophylla* y *Pinus herrerae*) encontrando que el modelo de Schumacher y Hall mostraron los mejores ajustes, seguidos muy cercanamente por el modelo de Spurr transformado en forma logarítmica.

Ovilla y Ruiz (2001) mencionan que para la estimación del volumen en el fuste con corteza de los quince modelos matemáticos utilizados para la especie de *Pinus oocarpa mycophylla*, muestran valores muy similares en los coeficientes de determinación y en los errores estándar estimados. Sin embargo, el modelo de Naslund presenta el más alto R^2 (0.98) y el más bajo error estándar (0.053), seguido del modelo de Meyer modificado con un coeficiente de determinación de 0.98 y un error estándar de 0.054, y el modelo Comprensible con una R^2 de 0.977 y un error de 0.055.

Conclusiones

A través de este estudio se comprueba la posibilidad de aplicar una metodología que permite el empleo de estimación volumétrica para árboles adultos, mediante un sistema destructivo en individuos de regeneración los cuales han sido utilizados principalmente en especies de fuste escurrete (coníferas). La aplicación de los modelos presentados muestra una consistencia en la determinación volumétrica en las ecuaciones propuestas en esta investigación, por otro lado, no son del tipo de función compleja en cuanto a su estructura y la estimación de parámetros, pero presentan mayor flexibilidad.

A través de los resultados en los estadísticos, se comprueba que las ecuaciones Sloboda (6), Naslund modificada (9), Variable Combinada 3 (17) y Ogaya (11) entregan resultados muy similares en R^2 y S_x y son ampliamente recomendados en la estimación del volumen en individuos que presentan clases de edad de 5 a 17 años de edad.

Se hace necesario ahondar más en el estudio de las funciones propuestas, las cuales podrían permitir una mejor estimación de productos en bosques nativos de coníferas.

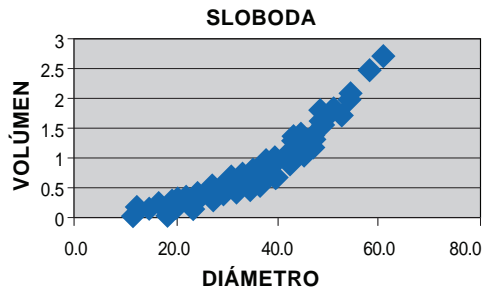
Literatura citada

- Agee, J.k. (1983). Field Weights of understory-grown conifers in southern Oregon. *Canadian Journal of Forest Research* 13:648-656.
- Corral, R.S. (1999). *Tecnologías Matemáticas para el desarrollo de modelo de crecimiento de bosques mixtos irregulares de Durango*, México. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Forestales. U:A:N:L: Linares Nuevo León.
- Corral, R.S. y Radilla, C.J.L. (1996). *Construcción de un sistema de cubicación para dos especies de pino* (*Pinus cooperi* var. Ornelasis Mart. y *Pinus durangensis* Mart.) en el ejido de San Pablo, Municipio de Pueblo Nuevo. Durango. Tesis profesional de Instituto Tecnológico Forestal No 1, El Salto P.N. Durango.
- Clutter, J., J. Fortson, G. Pienaar, G. Brister, and R. Bailey. (1983). *Timber Management: a Quantitative Approach*. John Wiley and Sons. New York, USA. .
- INEGI. (1988). *Edafológica*. 1:250,000. El Salto, Durango. F13- A18 SPP. México. D.F.
- INEGI. (1992). *Carta de geología*. Escala 1:50,000. El Salto, Durango. F13- A18 SPP. México. D.F.
- Ovilla M.E. y Ruiz Q.C. M. (2001). *Tabla de volumen y ecuaciones de ahusamiento para Pinus ocarpa Mycrophylla en el Ejido Ranchos de Arriba, Ixtlán del Río, Nayarit, México*. Tesis profesional, El Salto P. N. Durango.
- Pastor, J. and J.G. Bockheim. (1981). Biomass and production of an aspen mixed hardwood-spodosol ecosystem in northern Wisconsin. *Can. J. for. Res.* 11:132.138.
- Spurr, S. H. (1952). *Forest Inventory*. New York: Ronald Press Co. New York.

ANEXO

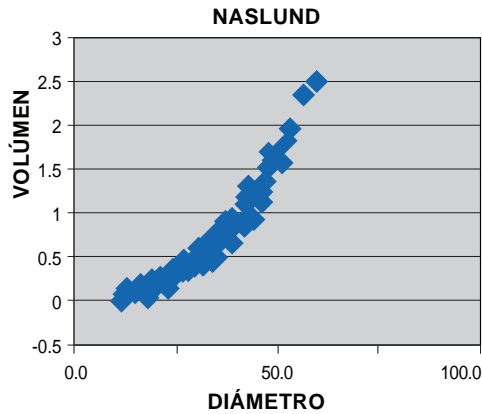
Gráficas

Gráfica 1
Estimación del volúmen con relación al diámetro estimado con el mejor modelo SLOBODA.



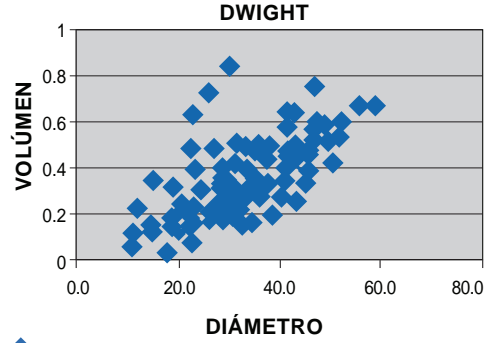
◆ VOLEST

Gráfica 2
Estimación del volúmen con relación al diámetro estimado con el segundo mejor modelo NASLUND.



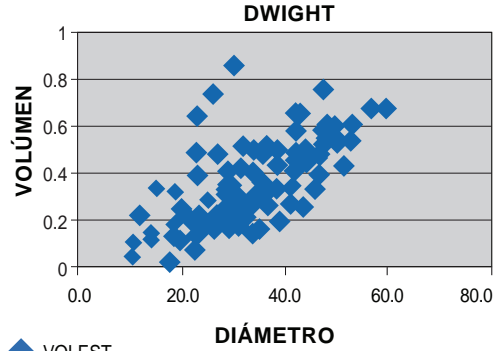
◆ VOLEST

Gráfica 3
Predicción del volúmen con relación al diámetro estimado con el peor modelo DWIGHT.



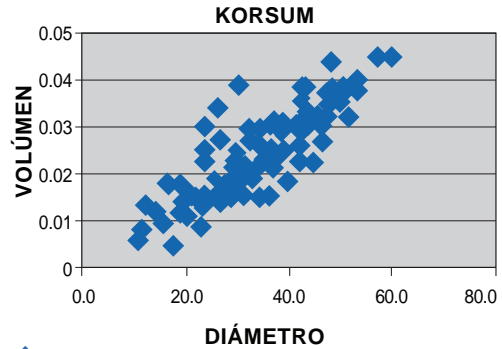
◆ VOLEST

Gráfica 4
Predicción del volúmen con relación al diámetro estimado con el segundo peor modelo comprensible.



◆ VOLEST

Gráfica 5
Predicción del volúmen con relación al diámetro estimado con uno de los modelos no recomendados en esta investigación



◆ VOLEST