

AJUSTE DE ECUACIONES DE BIOMASA PARA *Pinus durangensis* (Martínez M.) EN LA REGIÓN DE EL SALTO, DURANGO.

E. Montes de Oca-Cano³; P. García-Ramírez³;
J. A. Nájera-Luna¹; J. Méndez-González²

¹Profesor Investigador. Instituto Tecnológico de El Salto,
El Salto, Durango, Durango. MÉXICO.

²Profesor Investigador. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro,
Coahuila, Saltillo. MÉXICO.

³Tesistas de la Maestría en Ciencias en Desarrollo Forestal Sustentable.
Instituto Tecnológico de El Salto, El Salto, Mesa del Tecnológico s/n, Durango, Durango. C. P. 34942. MÉXICO.
Correo-e: montesdeoca_cano@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue ajustar ecuaciones lineales y no lineales para estimar biomasa por componente de hojas, ramas, fuste y total, para árboles con edades entre tres y diez años, en la región de El Salto, Dgo. Los resultados indican que las ecuaciones se ajustan mejor a nivel individual, el componente total muestra los mejores estadísticos de ajuste, mientras que las mayores variaciones se detectan en las ramas y en el fuste. Adicionalmente se analizan porcentajes de biomasa por componente donde se observa que el fuste aporta 46.9 % de la biomasa, las hojas 35.6 % y las ramas solamente 17.3 % de la biomasa total. Así mismo, dentro del rango de edad analizado, la biomasa en el fuste aumenta anualmente 2.96 %; la biomasa en las hojas disminuye 3.13 % y la biomasa en las ramas aumenta 0.17 %.

PALABRAS CLAVE: componentes, modelos, CO₂, *Pinus durangensis*.

FITTING BIOMASS EQUATIONS FOR *Pinus durangensis* IN THE REGION OF EL SALTO, DURANGO

SUMMARY

The objective of this study was to formulate linear and nonlinear equations to estimate biomass by component, for leaves, branches, stem and total, for trees from three to ten years old, in the region of El Salto, Dgo. The results indicate that the work best at the Individual level. The total component shows the best statistical adjustment, whereas the greatest variations are found in the branch and stem components. In addition percentage of biomass is analyzed by component where it is observed that the stem contributes 46.9 % of the biomass, the leaves 35.6 % and the branches only 17.3 % of the total biomass. Within the age range analyzed, the biomass in the stem increases by 2.96 % annually, the biomass in the leaves decreases by 3.13 % and the biomass in the branches increases by 0.17 %.

KEY WORDS: component, models, CO₂, *Pinus durangensis*.

INTRODUCCIÓN

Según la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático CMNUCC, el término "sumidero", se define como el proceso, actividad o mecanismo que absorbe o remueve los gases de efecto invernadero (GEI) como un aerosol o un precursor de un GEI de la atmósfera. En el caso específico del CO₂ atmosférico, este GEI es absorbido por las plantas y fijado en la biomasa (UN, 1992). Aunque una parte del carbono es respirado, otro queda

retenido en la biomasa y se conoce como carbono fijado, depósito o reservorio de carbono. Por tanto, de acuerdo a la CMNUCC se define como depósito de carbono a todo componente del sistema climático que almacena un gas de efecto invernadero o un precursor de un GEI. En este contexto, la permanencia o periodo en el que el carbono está absorbido en la biomasa fuera de la atmósfera es un aspecto crítico y controversial. La permanencia depende de varios factores tales como la respiración, los aclareos, los

incendios y plagas, el aprovechamiento maderable, la deforestación y el cambio de uso de la tierra, que regulan la pérdida de carbono acumulado (UN, 1992).

Existen diferentes procedimientos para la estimación de biomasa en los diferentes componentes vegetales. Las técnicas de estimación de biomasa han sido ampliamente explicadas por varios autores (Satoo, 1970; Brown *et al.*, 1996; Schelregel *et al.*, 2001).

La estimación adecuada de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia que permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de los componentes del bosque y representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera, o conservado y fijado en una determinada superficie cuando los bosques son manejados para alcanzar los compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero (Brown *et al.*, 1996).

La determinación de la biomasa, permite estimar el contenido del carbono secuestrado, asumiendo que la biomasa vegetal forestal reduce CO₂ por unidad de biomasa (Gustavsson *et al.*, 1995, Marland y Schlamadinger, 1995).

La justificación de esta investigación radica en entender la productividad con modelos convencionales de rendimiento e incremento (Pastor y Bockheim, 1981) y en la estimación de biocombustibles (Agee, 1983). Por lo anterior el presente estudio tiene como objetivo la estimación de la biomasa de hojas, ramas, fuste y total, en la regeneración natural de *Pinus durangensis* de la región de El Salto, Durango.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Área de Estudio

El área donde se llevó a cabo el estudio fue la región de El Salto, Durango, y se localiza en el ejido San Esteban y Anexos, ubicado en el macizo montañoso denominado Sierra Madre Occidental dentro del municipio de Pueblo Nuevo, al suroeste del estado. El acceso al predio se ubica en el km 101 de la carretera Durango-Mazatlán (Figura 1).

Toma de muestras para el análisis destructivo.

Para la toma de muestras se seleccionaron 72 árboles dentro del área de estudio, árboles libres de plagas y enfermedades, que representarán las categorías de edad, considerados dentro de la etapa de regeneración. Se extrajeron un promedio de nueve árboles completos por categoría de edad, desde tres años hasta 10 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 la pérdida de humedad excesiva

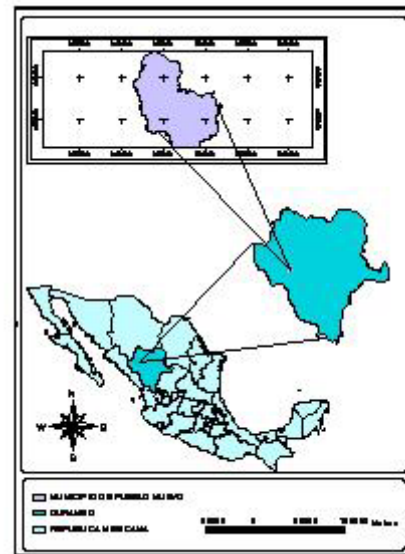


FIGURA 1. Ubicación de la región bajo estudio.

y conservar un orden para el análisis de datos. Después se trasladaron al laboratorio para realizar posteriores mediciones.

Estimación de biomasa.

Se estudiaron destructivamente 72 individuos de la especie *Pinus durangensis* cubriendo el rango observado de las categorías de edad. A cada individuo se le midieron las siguientes variables: diámetro a la base del suelo (DB), altura total (HT) y edad (E), para determinar la edad se contaron el número de verticilos para cada árbol (Cuadro 1).

Cada árbol fue separado en los componentes: hojas, ramas y fuste, posteriormente cada componente fue pesado para obtener el peso fresco. Las muestras se introdujeron

CUADRO 1. Descripción de los árboles seleccionados en las áreas de estudio.

Categoría de edad	Número de árboles	DB promedio (cm)	HT promedio (cm)	Análisis destructivo
3	9	1.74	33.5	9
4	9	2.1	49.38	9
5	9	2.34	66.6	9
6	9	2.97	80.22	9
7	9	4.5	98	9
8	9	5	129.33	9
9	9	5.5	129.44	9
10	9	6.2	166.33	9
Total	72			72
Promedio		3.56	93.74	

Donde: DB = Diámetro a la base, HT = Altura total.

en una estufa de secado de tipo convencional, manteniendo la muestra a temperaturas superiores a 75 °C durante 8 días (Van Laar y Akca, 1997) hasta obtener el peso constante de cada componente (según muestras monitoreadas). El peso seco de cada uno de los componentes de cada árbol, se obtuvo utilizando básculas con capacidad de 0.32, 10 y 25 kg, con precisión de 0.001, 10 y 50 g, respectivamente

Para este estudio se utilizó el método directo de estimación de la biomasa, que consistió en cortar el árbol y pesar la biomasa directamente, determinando su peso seco. Posteriormente se estimó la biomasa con el método indirecto aplicando ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre las variables colectadas en campo y las mediciones efectuadas en laboratorio.

Ajuste de modelos de regresión de biomasa de hojas, ramas y fuste

Se ajustaron los modelos propuestos por Gayoso *et al.* (2002), utilizando el programa estadístico SIGMA PLOT para la determinación de la biomasa para las variables independientes (diámetro a la base del suelo, altura, hojas, ramas, fuste y total) de la regeneración natural de *P. durangensis* y mediante ponderación de los modelos (Cuadro 2).

Criterios de selección de modelos

Los criterios utilizados para determinar el mejor modelo fueron la R^2 , el error estándar, coeficiente de variación, sesgo, F calculada, 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.

CUADRO 2. Modelos utilizados para estimar biomasa en los diferentes componentes en *Pinus durangensis*.

Modelos	Ecuaciones
1	$Y=a*D^b$
2	$Y=a+b*D+c*D^2$
3	$Y=a+b+D^2+c*H+d*D^2*HT$
4	$Y=a+b*D^2$
5	$Y=a+b*D^2*HT$
6	$Y=a+b*D+c*D^2*HT$
7	$Y=(a+b*D)^2$
8	$Y=EXP(a+b*(LnD))$
9	$Y=EXP(a+b*Ln(D^2*HT))$
10	$Y=EXP(a+b*D)$
11	$Y=a+EXP(b+c*D)$
12	$Y=a+b*HT^2*D^2$
13	$Y=a+b*HT^c*D^d$

Donde: Y = Biomasa en hojas, ramas, fuste y total (gr); a, b, c y d = Parámetros estadísticos; EXP = Exponencial; Ln = Logaritmos natural; D = Diámetro a la base del árbol (cm) y HT = Altura total (cm).

RESULTADOS

Biomasa por componentes de *Pinus durangensis*

De los 13 modelos probados para estimar biomasa en los componentes hojas, ramas, fuste y total de la regeneración natural de *P. durangensis*, se observa que los modelos se ajustaron mejor al componente de biomasa total, seguido por la biomasa en el fuste, en las hojas y finalmente el componente de las ramas (Cuadro 3).

Para la estimación de biomasa en las hojas en la regeneración natural de *P. durangensis* el modelo que mejor ajuste presentó de acuerdo a los criterios estadísticos de selección, fue el modelo 1 el cual presenta una R^2 de 0.7445, menor error (6.1817), F-calculada de 199.1802.

De acuerdo a los criterios estadísticos de selección, el modelo que mostró mejor ajuste en la estimación de biomasa en las ramas en la regeneración natural de *P. durangensis* fue el modelo 1 por presentar mayor R^2 (0.7429), menor error, mayor F-calculada (Cuadro 4).

Para la estimación de la biomasa en el fuste en la regeneración natural de *P. durangensis*, el modelo que mejor ajuste mostró fue el 13, de acuerdo a los criterios estadísticos de selección, por presentar mayor R^2 (0.8607), un error de 6.4254. (Cuadro 5).

Para la estimación de biomasa total en la regeneración natural de *P. durangensis*, el modelo 3 mostró mejor ajuste de acuerdo a los criterios estadísticos de selección, por presentar una R^2 de 0.8645, un error de 8.8509 y un menor sesgo de (1.5164) (Cuadro 6).

Porcentaje de biomasa por edad-componente en *Pinus durangensis*

Los puntos que se muestran en la Figura 2, corresponden a la biomasa promedio (por componente) de nueve árboles por categoría de edad, mientras que las líneas indican las tendencias a lo largo de la edad del árbol.

El porcentaje de biomasa promedio (35.64) que presentan las hojas en el intervalo de edad de tres a 10 años va de un máximo de 54.26 % a un mínimo de 19.52 %; presentando un coeficiente de variación de 28.89 %. La gráfica muestra que a medida que el árbol crece presenta una disminución de biomasa en este componente de 3.1362 % por año, además dicha tendencia puede ser explicada mediante regresión lineal simple.

En las ramas se presenta un porcentaje promedio de 17.38 % de biomasa, variando desde 9.26 % a un máximo de 25.25 %, presentando un coeficiente de variación de 24.96 en el intervalo de tres a 10 años. Contrariamente al

CUADRO 3. Parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de biomasa de hojas de la regeneración natural de *Pinus durangensis* en la región de El Salto, Durango.

M	N	Hojas				R ² Ajustada	Sx	F cal.	Sesgo	P-valor
		Parámetros								
		a	b	c	d					
1	72	5.4961	2.4123			0.7445	6.1817	199.1802	1.4607	<0.0001
2	72	45.0418	-43.4354	17.6153		0.7421	6.2105	98.8552	1.3292	<0.0001
3	72	2.5661	10.5894	-0.3316	0.0124	0.7300	6.3556	62.2699	1.3332	<0.0001
4	72	-10.6025	11.0764			0.7315	6.3369	186.3019	1.2558	<0.0001
5	72	22.8741	0.0534			0.6655	7.0733	136.3025	1.9555	<0.0001
6	72	-36.5501	33.5798	0.0312		0.7071	6.6195	83.0673	1.4161	<0.0001
7	72	-1.8646	3.6565			0.7383	6.2569	192.8170	1.4166	<0.0001
8	72	1.7109	2.4081			0.7445	6.1817	199.1810	1.4507	<0.0001
9	72	-0.0128	0.6735			0.6983	6.7183	158.3556	1.5204	<0.0001
10	72	2.7428	0.5245			0.6894	6.8165	151.9115	1.3125	<0.0001
11	72	-76.6052	3.9942	0.3607		0.7382	6.2575	96.8856	1.3334	<0.0001
12	72	36.2177	0.0002			0.4998	8.6502	68.9348	3.1683	<0.0001
13	72	7.3314	5.4144	-0.1043	2.7188	0.7397	6.2394	65.4256	1.3373	<0.0001

Donde: M = Número de modelo; N = Número de observaciones; a, b, c y d = Parámetros de la regresión; R² = Coeficiente de determinación ajustado; Sx = Error estándar (gr) y F cal. = F calculada.

CUADRO 4. Parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de biomasa de ramas de la regeneración natural de *Pinus durangensis* en la región de El Salto, Durango.

M	N	Ramas				R ² Ajustada	Sx	F cal.	Sesgo	P-valor
		Parámetros								
		a	b	c	d					
1	72	0.4891	3.6406			0.7429	6.0741	197.4878	1.8429	<0.0001
2	72	60.4790	-67.2585	18.5819		0.7156	6.3883	86.5561	1.9186	<0.0001
3	72	1.4779	2.1535	-0.2599	0.0418	0.7089	6.4635	56.1932	1.8763	<0.0001
4	72	-16.0561	7.2147			0.6287	7.2997	116.1293	1.7476	<0.0001
5	72	-1.6162	0.0454			0.7111	6.4386	168.3872	1.8935	<0.0001
6	72	-3.3777	1.1676	0.0444		0.7069	6.4854	83.0023	1.8514	<0.0001
7	72	-7.6716	4.2801			0.7198	6.3416	175.6478	1.8605	<0.0001
8	72	-0.7157	3.6410			0.7429	6.0741	197.4878	1.8427	<0.0001
9	72	-3.5292	1.0491			0.7098	6.4533	167.3172	1.8766	<0.0001
10	72	0.8880	0.7632			0.6190	7.3947	111.4557	2.5930	<0.0001
11	72	-24.2773	2.3843	0.5658		0.7295	6.2303	92.6946	1.8278	<0.0001
12	72	2.5465	0.0002			0.6115	7.4664	108.0444	3.4509	<0.0001
13	72	-0.8803	0.4557	0.0679	3.4835	0.7358	6.1570	64.1378	1.8866	<0.0001

Donde M = Número de modelo; N = Número de observaciones; a, b, c y d = Parámetros de la regresión; R² = Coeficiente de determinación ajustado; Sx = Error estándar (gr) y F cal. = F calculada.

componente hojas, se observa que a medida que el árbol crece, el porcentaje de biomasa en ramas va aumentando (0.17 % por año).

En el fuste el porcentaje de biomasa promedio (46.95 %) que se presenta en el intervalo de 3 a 10 años cambia de un mínimo de 36.14 % a un máximo de 63.53 %, mostrando menor variación en este componente. La tendencia general indica que a medida que el árbol crece, el porcentaje de biomasa se incrementa, la regresión lineal ajustada a estas

observaciones indican que tal incremento es del orden de 2.96 % por año (Cuadro 8).

Los resultados muestran una clara tendencia de incremento de biomasa en fuste, decremento de biomasa en hojas, mientras que el componente ramas, no se muestra una tendencia a través del tiempo; ya que en el intervalo de edad analizado, permanece relativamente constante. Es importante mencionar que las tasas de cambio (incremento o decremento de biomasa) estimada mediante regresión

CUADRO 5. Parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de biomasa de Fuste de la regeneración natural de *Pinus durangensis* en la región de El Salto, Durango.

M	N	Fuste				R ² Ajustada	Sx	F-cal.	Sesgo	P-valor
		Parámetros								
		a	b	c	d					
1	72	3.8048	2.9340			0.7388	8.7987	193.3239	1.9238	<0.0001
2	72	106.2440	-116.7387	37.0438		0.7358	8.8486	95.6977	1.8725	<0.0001
3	72	-3.3727	-6.1229	0.7623	0.1327	0.8579	6.4887	137.8893	1.0559	<0.0001
4	72	-37.4523	18.6254			0.6954	9.5008	156.2674	1.7899	<0.0001
5	72	6.1160	0.1208			0.8513	6.6380	390.3727	1.1635	<0.0001
6	72	15.6478	-5.7025	0.1254		0.8496	6.6762	193.0775	1.2268	<0.0001
7	72	-6.7447	5.5926			0.7297	8.9511	184.5343	2.3067	<0.0001
8	72	1.3328	2.9362			0.7388	8.7987	193.3248	1.9265	<0.0001
9	72	-1.8536	0.9717			0.8494	6.6811	384.4908	1.4113	<0.0001
10	72	2.5516	0.6441			0.6790	9.7535	144.8496	2.1096	<0.0001
11	72	-81.9212	3.8207	0.4711		0.7316	8.9184	93.6916	1.9994	<0.0001
12	72	24.4249	0.0006			0.7985	7.7287	270.3965	2.6496	<0.0001
13	72	7.7902	0.0277	1.4667	1.4506	0.8607	6.4254	141.0460	1.1241	<0.0001

Donde: M = Número de modelo; N = Número de observaciones; a, b, c y d = Parámetros de la regresión; R² = Coeficiente de determinación ajustado; Sx = Error estándar (gr) y F cal. = F calculada.

CUADRO 6. Parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de biomasa total de la regeneración natural de *Pinus durangensis* en la región de El Salto, Durango.

M	N	Total				R ² Ajustada	Sx	F-cal.	Sesgo	P-valor
		Parámetros								
		a	b	c	d					
1	72	8.9546	2.9123			0.8424	9.5428	364.5595	1.9591	<0.0001
2	72	256.0493	-271.7067	84.6101		0.8395	9.6325	178.7799	1.7907	<0.0001
3	72	-1.9134	9.5986	0.0428	0.1924	0.8645	8.8509	145.5564	1.5164	<0.0001
4	72	-80.0616	41.9361			0.7913	10.9830	258.7990	1.6733	<0.0001
5	72	26.0513	0.2430			0.8624	8.9179	427.1614	1.8594	<0.0001
6	72	-31.1525	33.8267	0.2176		0.8645	8.8489	217.9474	1.5692	<0.0001
7	72	-9.5760	8.2891			0.8274	9.9870	327.0224	2.4592	<0.0001
8	72	2.1937	2.9114			0.8424	9.5428	364.5593	1.9552	<0.0001
9	72	-0.3834	0.8835			0.8654	8.8183	438.3879	1.7126	<0.0001
10	72	3.5156	0.6170			0.7640	11.6794	221.1055	1.9740	<0.0001
11	72	-200.8328	4.7526	0.4519		0.8313	9.8738	168.5561	1.9074	<0.0001
12	72	68.5233	0.0010			0.7289	12.5167	183.8517	4.5579	<0.0001
13	72	11.5117	1.0744	0.6544	2.1898	0.8671	8.7651	148.8483	1.5112	<0.0001

Donde: M = Número de modelo; N = número de observaciones; a, b, c y d = Parámetros de la regresión; R² = Coeficiente de determinación ajustado; Sx = Error estándar (gr) y F cal. = F calculada.

lineal son válidas en este rango de edad; conforme se incrementa el rango de edad, esta tasa será diferente.

DISCUSIÓN

Pascoa *et al.* (s/f), utilizando la ecuación 5 para la estimación de la biomasa en ramas de *Pinheiro bravo*; obtuvo un coeficiente de determinación ajustado de 0.6788, mencionando que no fue el modelo que mejor se ajustó, además utilizó el diámetro cuadrado y la altura de la copa

como variables independientes. En contraste, Gayoso *et al.* (2002), aplicando el mismo modelo (5) obtuvieron en la estimación de la biomasa aérea la segunda R² ajustada de 0.9750 y el segundo menor error de 22.70 en la especie de *Amomyrtus luma* (luma) en la precordillera andina y la cordillera de la costa en Valdivia Chile.

Sánchez (1997) utilizó cuatro modelos matemáticos (lineal, logarítmico, exponencial y de potencia) para la estimación de la biomasa en ramas secas de la especie de *Atriplex canescens*, concluyendo que el mejor modelo fue el de

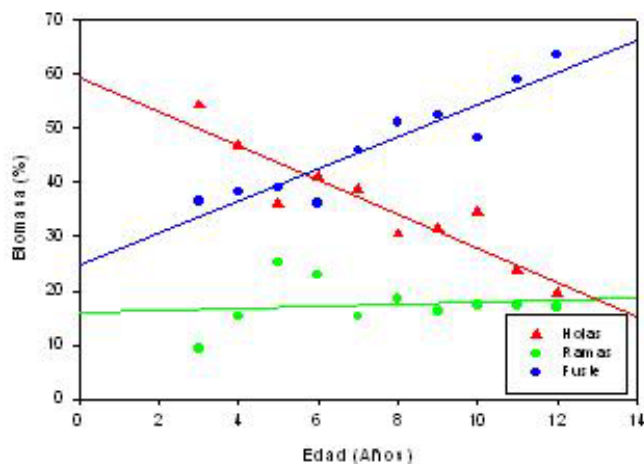


FIGURA 2. Porcentaje de biomasa por componente en la regeneración natural de *Pinus durangensis* en la región de El Salto, Durango.

potencia con un coeficiente de variación que osciló entre 91.5 a 93.5 % y coeficiente de variación de 8.2 a 7.2 %.

Como se muestra en la tabla anterior los modelos obtenidos poseen altos coeficientes de determinación de acuerdo con lo expresado por Gujarati (1999) que plantea que un modelo es satisfactorio si el valor de este coeficiente es razonablemente alto alrededor de 0,8. Según Alder (1980) las mejores funciones pueden tener coeficientes de solamente 0.7 y 0.8.

CONCLUSIONES

En general, en términos de biomasa, los modelos seleccionados mostraron los mejores ajustes al componente biomasa total, seguida por biomasa de fuste, hojas y finalmente biomasa de ramas de regeneración natural de *Pinus durangensis*.

CUADRO 7. Modelos recomendados por componente (hojas, ramas, fuste y total) para estimar biomasa en la regeneración natural de *Pinus durangensis* en la región de El Salto, Durango.

Fuste							
M	N	Modelos	R ² Ajustada	Sx	F-cal.	Sesgo	P-valor
3	72	$Y=a+bD^2+cH+dD^2HT$	0.8579	6.4887	137.8893	1.0559	<0.0001
13	72	$Y=a+bHT^cD^d$	0.8607	6.4254	141.0460	1.1241	<0.0001
Ramas							
M	N	Modelos	R ² Ajustada	Sx	F cal.	Sesgo	P-valor
1	72	$Y=aD^b$	0.7429	6.0741	197.4878	1.8429	<0.0001
8	72	$Y=Exp(a+b*(LnD))$	0.7429	6.0741	197.4878	1.8427	<0.0001
Hojas							
M	N	Modelos	R ² Ajustada	Sx	F cal.	Sesgo	P-valor
1	72	$Y=aD^b$	0.7445	6.1817	199.1802	1.4607	<0.0001
2	72	$Y=a+bD+cD^2$	0.7421	6.2105	98.8552	1.3292	<0.0001
Total							
M	N	Ecuaciones	R ² Ajustada	Sx	F-cal.	Sesgo	P-valor
3	72	$Y=a+bD^2+cH+dD^2HT$	0.8645	8.8509	145.5564	1.5164	<0.0001
5	72	$Y=a+bD^2HT$	0.8624	8.9179	427.1614	1.8594	<0.0001
6	72	$Y=a+bD+cD^2HT$	0.8645	8.8489	217.9474	1.5692	<0.0001
9	72	$Y=Exp(a+b*Ln(D^2*HT))$	0.8654	8.8183	438.3879	1.7126	<0.0001
13	72	$Y=a+bHT^cD^d$	0.8671	8.7651	148.8483	1.5112	<0.0001

Donde: M = Número de modelo; N = número de observaciones; R² = Coeficiente de determinación ajustado; Sx = Error estándar (gr) y F cal. = F calculada.

CUADRO 8. Porcentaje de biomasa promedio por componente en la regeneración natural de *Pinus durangensis*, en la región de El Salto, Durango.

Variabes	Media	Max.	Min.	D.S.	C.V.	N
Biomasa de hojas	35.6479	54.2690	19.5281	10.3000	28.8937	8
Biomasa de ramas	17.3819	25.2547	9.2657	4.3394	24.9650	8
Biomasa de fuste	46.9647	63.5377	36.1454	9.6449	20.5364	8

Donde D.S.= Desviación estándar; C.V.= Coeficiente de variación; N = Número de categoría de edad.

CUADRO 9. Modelos para la determinación del porcentaje de biomasa por componente en la regeneración natural de *Pinus durangensis* en la región de El Salto, Durango.

VARIABLES	Ecuación	R ²	Sx	N
Biomasa de hojas	$y = -3.1362x + 59.17$	0.8301	4.2351	72
Biomasa de ramas	$y = 0.1708x + 16.106$	0.1090	4.5698	72
Biomasa de fuste	$y = 2.9655x + 24.724$	0.8499	3.7371	72

Donde: y = Porcentaje de biomasa; x = Edad del árbol; R²= coeficiente de determinación; Sx = Error típico y N = Número de observaciones.

Los modelos 1 y 2 fueron los que mejor ajuste presentaron para estimar la biomasa en las hojas, los modelos 1 y 8 mostraron mejores ajustes en el componente ramas; en el componente fuste, los modelos que mejor ajuste presentaron fue el 13 y 3 mientras para el componente total, los mejores modelos fueron el 3, 5, 6, 9 y 13 en la regeneración de *P. durangensis*, de la región de El Salto, Durango.

Se observa que los modelos 1 y 8, registran estadísticos de ajuste muy similares, en los componentes de hojas y ramas, por lo que dichos componentes pueden ser estimados con cualquiera de estas ecuaciones. El modelo 1 muestra ajustes satisfactorios.

Los porcentajes de biomasa promedio en regeneración natural de *P. durangensis*, muestran que a edades entre 3 y 10 años, el fuste aporta 46.9 % de la biomasa, las hojas 35.6 % y las ramas solamente 17.3 % de la biomasa total.

Los resultados indican que dentro de este rango de edades analizado (3-12 años) la biomasa en el fuste aumenta 2.96 %, la biomasa en las hojas disminuye 3.13 % y la biomasa en las ramas aumenta 0.17 % todos a escalas anuales.

LITERATURA CITADA.

AGEE, J. K. 1983. Field Weights of understory-grown conifers in southern Oregon. Canadian Journal of Forest. Research 13: 648-656.

ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Estudios FAO Montes 22/2. Roma, Italia. 118 p.

BROWN, S. J.; SATHAYE, M. CANNELL; KAUPPI, P. 1996. Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. Commonwealth Forestry Review 75(1): 80-91.

GAYOSO, J.; GUERRA J.; ALARCON D. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 157 p.

GUJARATI, D. N. 1999. Econometría Segunda parte. Estados Unidos. p 120-131.

GUSTAVSSON L.; BÖRJESSON, P.; JOHANSSON, B.; SVENNINGSSON, P. 1995. *Reducing CO₂-Emissions by Substituting Biomass for Fossil Fuels. Energy - the International Journal* 20(11): 1097-1113.

MARLAND G.; SCHLAMADINGER, B. 1995. *Biomass Fuels and Forest-Management Strategies: How Do We Calculate the Greenhouse Gas Emission Benefits? Energy - the International Journal* 20(11): 1131-1140.

PASCOA, F.; MARTINS, F.; GONZÁLEZ, R. S.; JOAO, C. s/f. Establecimiento simultáneo de equacoes de biomassa para o pinheiro bravo.

PASTOR, J.; BOCKHEIM J., G. 1981. Biomass and production of an aspen mixed hardwood-spodosol ecosystem in northern Wisconsin. Can. J. for. Res. 11: 132.138.

SÁNCHEZ, M. R. 1997. Ecuaciones para estimar la Fitomasa de *Atriplex canescens* (costilla de vaca). Revista de ciencia forestal en México. Vol. 22. Num. 81. Saltillo, Coahuila. 26-39 pp.

SATOO, T. A. 1970.; Synthesis of studies by the harvest method: primary production relation in the temperate deciduos forest of japan. In Analysis of temperate forests ecosystems. Springer Verlag, Berlin. 55-72 p.

SCHELRGEL, B.; JORGE GAYOSO J.; GUERRA J. 2001. Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile. Valdivia Chile 15 p.

UN (NACIONES UNIDAS). 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. 50 p.

VAN LAAR, A.; AKCA. A. 1997. Forest. Mensuración. Cuvillier Verlag, Göttingen, germany, 418 p.