

ECUACIONES DE ADITIVIDAD PARA ESTIMAR COMPONENTES DE VOLUMEN DE HULE (*Hevea brasiliensis*) Muell. Arg., EN VERACRUZ, MÉXICO

Carlos Monroy Rivera¹ y José de Jesús Návar Cháidez¹

RESUMEN

Un mejor conocimiento del potencial de los productos maderables derivados de los árboles es importante desde el punto de vista económico y ambiental. El presente estudio se realizó en el Municipio de Tezonapa, Veracruz, México, con el objetivo de estimar ecuaciones aditivas con coeficientes de menor varianza para componentes de volumen y total para el clon de hule (*Hevea brasiliensis*) IAN-710 de plantaciones comerciales para la producción de látex. Los datos de campo proceden de la medición directa de escalado en pie de diámetros y longitudes de trozas y ramas de 66 árboles de 8, 14 y 31 años de edad. Se probaron cuatro formas de estimación de parámetros de ecuaciones de regresión previamente seleccionadas: 1) regresión lineal convencional, 2) regresión lineal ponderada, 3) regresión lineal generalizada y 4) regresión lineal generalizada ponderada. Los resultados mostraron que los coeficientes con menor varianza se obtuvieron por conducto de la última. Esta forma de evaluación de parámetros reduce la variación total hasta un 30%, en contraste con el uso de otros métodos similares. Por esta razón se recomienda utilizar la regresión desarrollada en procedimientos de regresión lineal generalizada ponderada en la determinación de componentes de volumen para el clon del hule IAN-710.

Palabras clave: Coeficientes, componentes de volumen, *Hevea brasiliensis*, hule, plantaciones, Veracruz.

Fecha de recepción: 21 de mayo de 2004.

Fecha de aceptación: 22 de junio de 2005.

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Correo e: carlosmonroyri@hotmail.com; jnavar@ccr.dsi.uanl.mx

ABSTRACT

A better understanding of the potential of wood products from harvested trees is important from an economic and environmental point of view. This study was made in the municipio of Tezonapa in the State of Veracruz, Mexico, with the purpose of estimating additive equations with least variance coefficients for total volume and individual components for the IAN-710 *Hevea brasiliensis* clone for commercial plantations, primarily focused on latex production. Field data were collected by measuring stem and branch diameter on 66 standing trees of 8, 14 and 31 years old. Four procedures of fitting coefficients for previously selected equations were tested: 1) conventional linear regression, 2) weighted linear regression, 3) seemingly unrelated linear regression, and 4) weighted seemingly unrelated linear regression. Results showed that equations with the least variance equations came from the last one. The reduction of the coefficient variance was around 30% in contrast to similar procedures. Therefore, this equation is recommended for estimating coefficients and volume components for the latex IAN-710 clone.

Key words: Coefficients, volume components, *Hevea brasiliensis*, rubber tree, plantations, Veracruz.

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales de hule (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) en el mundo cubrieron 187 millones de ha en el año 2000, 67% de las cuales se distribuyen en Asia. Éstas presentaron un incremento significativo a partir de 1995 cuando se estimaron existencias de 124 millones de ha; a partir de entonces, se ha registrado una mayor superficie destinada a este propósito del orden de 9 885 000 ha, con 9 058 000 ha plantadas en Asia, 180 000 ha en Sudamérica y 52 000 ha en Norte y Centroamérica (FAO, 2001). En México existen alrededor de 17 000 ha de *Hevea* cultivada, principalmente en los estados de Oaxaca, Tabasco, Chiapas y Veracruz. En esta entidad los municipios productores más importantes son Acayucan, Las Choapas, Playa Vicente, Tezonapa y Uxpanapa, que reúnen un total de 9000 ha de plantaciones en desarrollo y producción de látex, lo que representa su propósito inicial.

En la actualidad, a las plantaciones de hule se les dan otros usos también; por un lado, en forma de fustes para obtener madera aserrada, triplay y postes, y por otro, en ramas para leña, material con fibra de celulosa u otros usos que requieren pequeñas dimensiones de madera. En 1990, el volumen total anual de madera de hule disponible en el área de la Asociación de Naciones del Sureste de Asia (ASEAN) fue alrededor de 17 millones de m³ (Ser, 1990). En Malasia, de 1982 a 1992 la producción de madera de esta especie se incrementó de 30 000 a 1 872 000 m³ (Malaysian Ministry of Primary Industries, 1993). El volumen

disponible de troncos de madera de hule cortado en el corto plazo, se equipara a la cantidad de madera tropical nativa extraída anualmente de un área de alrededor de 0.6 millones de ha. Por lo tanto, se considera que este producto puede reducir la presión sobre los bosques tropicales naturales y contribuir de manera positiva a su conservación (Killmann y Hong, 2000).

Por este motivo, la cuantificación del volumen maderable de los árboles de hule es importante; en la determinación del volumen de madera de un rodal a través del conocimiento del volumen de los árboles individuales, se ha realizado mediante ecuaciones como las de Schumacher y Hall (1933), Spurr (1952), Alder (1980), Clutter *et al.* (1983), que han sido ampliamente utilizadas en las especies maderables en distintas localidades; al respecto, también han trabajado Andenmatten y Letourneau (1995), Rey *et al.* (1995), Da Silva *et al.* (1993), Castellanos *et al.* (1995), Nájera (1999), Armendáriz *et al.* (2003), Contreras y Nívar (2002) y Zepeda *et al.* (1994).

En particular para los taxa tropicales, la elaboración de ecuaciones de volumen ha sido limitada, ya que se ha otorgado una mayor atención a especies forestales maderables de uso industrial tradicional (Ladrach, 1978; Da Silva *et al.*, 1993).

Una característica deseable de las ecuaciones de regresión de las partes del árbol (fustes, ramas, etc.), es que la suma de las predicciones para los componentes sea igual a la del total de los árboles (Chiyenda y Kozak, 1984; Cunnia y Briggs, 1984; Reed y Green, 1985; Parresol, 1999; Méndez, 2001; Contreras y Nívar, 2002; Nívar *et al.*, 2004a). Se ha discutido el problema de forzar la aditividad de las funciones de biomasa y volumen; de ésto se desprenden tres procedimientos de acuerdo a como se incluyen los elementos individuales: 1) suma de estimadores de las mejores funciones de regresión de cada componente; 2) uso de las mismas variables independientes para la estimación de cada componente y 3) forzando los coeficientes de regresión para estimar el componente total, con regresiones lineales generalizadas o regresiones aparentemente no relacionadas (SUR siglas en inglés, Seemingly Unrelated Regressions) (Cunnia y Briggs, 1984; Parresol, 1999; Nívar *et al.*, 2004b). Estos procedimientos de reciente aplicación en la evaluación cuantitativa de bosques templados (Cunnia y Briggs, 1984; Rose y Linch, 2001; Brooks *et al.*, 2002; Nívar *et al.*, 2004a) y semiáridos (Méndez, 2001), requieren ser probados en árboles y arbustos de otros ecosistemas terrestres. Un ejemplo reciente fue reportado para *Eucalyptus globulus* Labill. de Portugal y España por Yuancai *et al.* (2001).

La base de datos para ajustar las ecuaciones de volumen generalmente presenta varianza heterogénea o heterocedasticidad, es decir la varianza del error no es constante sobre todas las observaciones, con el incremento en la variable independiente (Contreras y Nívar, 2002). En consecuencia, se ha sugerido el uso de la regresión ponderada en la estimación del volumen (Bailey, 1994; Pece

et al., 1997; Schreuder y Williams, 1998; Parresol, 1999). Se ha propuesto el uso del logaritmo natural para transformar las variables y contribuir a disminuir el problema de la heterocedasticidad (Schumacher y Hall, 1933; Bailey, 1994). Estas ecuaciones requieren de un factor adicional de corrección. Los principales factores de ponderación son el inverso o recíproco de la varianza del volumen, en función del diámetro a 1.3 m y la altura (Barrena, 1988).

Se han realizado pocos intentos para generar ecuaciones que describan simultáneamente los componentes de los árboles, cuando existen ecuaciones aditivas para describir elementos de biomasa. Un ejemplo reciente en la literatura científica corresponde a Contreras y Návar (2002), quienes trabajaron con árboles de clima templado-frío; sin embargo, no se tienen experiencias para especies tropicales mexicanas y para el árbol del hule no existen muchas ecuaciones de volumen.

El objetivo del presente estudio fue desarrollar ecuaciones para describir simultáneamente los componentes de volumen, fuste, ramas y del total en árboles del clon de hule IAN-710, en Tezonapa, Veracruz, mediante diferentes técnicas de ajuste de parámetros.

El clon de hule IAN-710 es de origen brasileño y ha sido establecido en plantaciones monoclonales para la producción de látex sobre terrenos sensiblemente planos del trópico húmedo de México, en particular en rodales de los Valles de Tezonapa y Uxpanapa, ubicados en la misma entidad (Figura 1). La densidad de plantación inicial es 556 árboles por ha (3 x 6 m), con arreglo marco real, sin podas ni aclareos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó con plantaciones comerciales del clon de hule IAN-710, ubicadas en terrenos del Campo Experimental "El Palmar", del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), que se localiza en el km 16 de la Carretera Tezonapa-El Palmar Grande, Mpio. de Tezonapa, Ver., a una altitud de 180 msnm (Figura 2). El clima es cálido-húmedo, con una precipitación total anual de 2885 mm y una temperatura media de 24.4°C. La fisiografía es de terrenos planos y lomeríos con pendientes que van de 5 a 29%. Los suelos son acrisoles y vertisoles, profundos y de buen drenaje natural con textura migajón arcillo-arenosa y pH de 4.8 a 6.1.

Muestreo y selección de árboles

Para seleccionar los árboles a cubicar, se llevó a cabo un muestreo al azar en

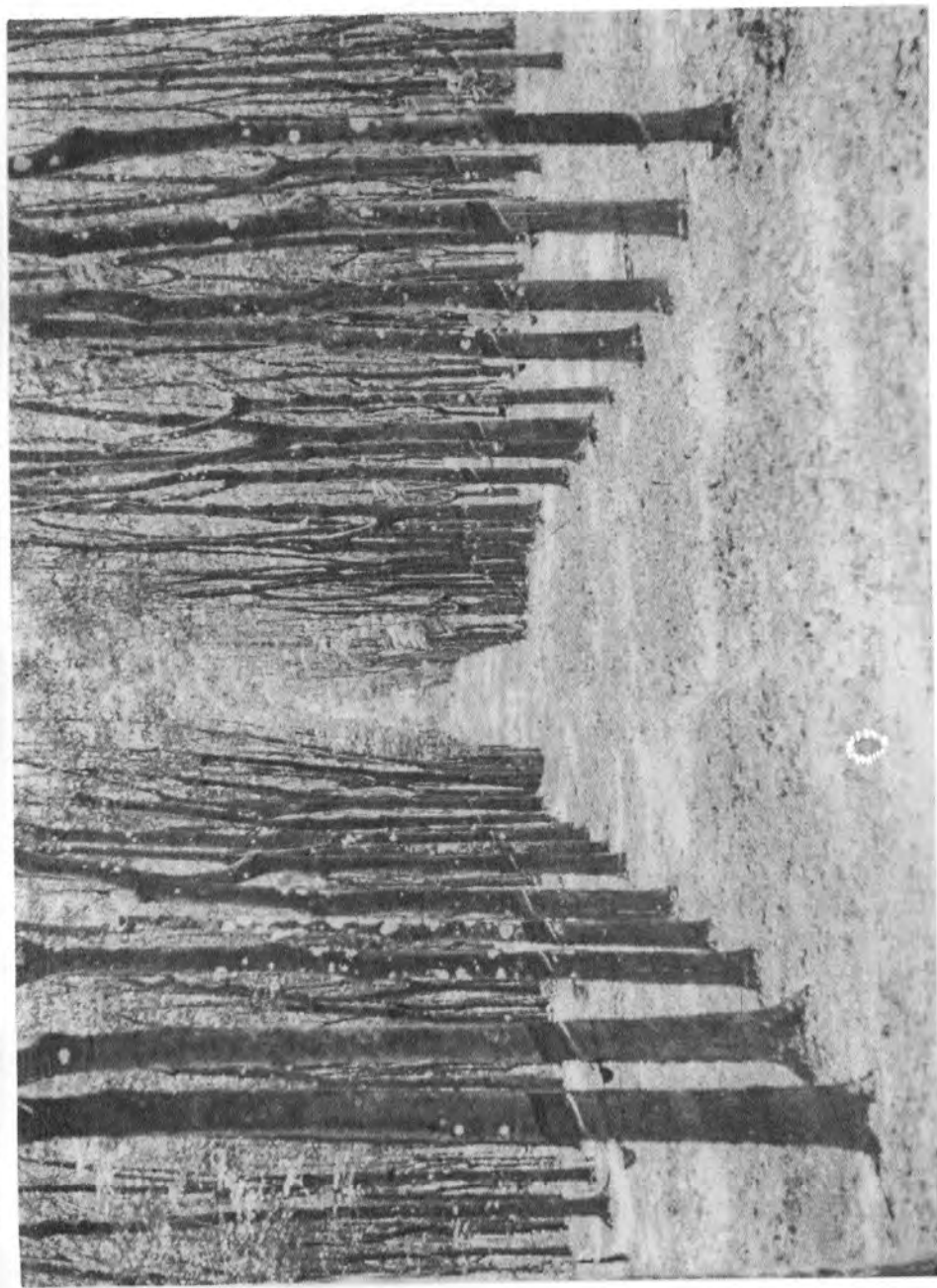


Figura 1. Plantación comercial del clon de hule (*Hevea brasiliensis*) IAN-710 para producción de látex en el Municipio de Tezonapa, Ver.



Figura 2. Regiones del Estado de Veracruz, México y localización del Municipio de Tezonapa.

tres edades de plantación 8, 14 y 31 años. La medición directa se hizo mediante escalado en pie, de diámetros y longitudes de trozas y ramas de 22 árboles por cada edad de plantación, en un total de 66 árboles. De cada árbol evaluado se le registraron las siguientes variables: diámetro al nivel del suelo (DB); diámetro normal ($D_{1.3m}$), diámetro al inicio de la copa (Dic), altura del fuste limpio (AF) y altura total (A). El volumen de cada troza y de cada rama se determinó por medio de la fórmula de Smalian (Clutter *et al.*, 1983) a partir del diámetro en ambas secciones, desde la base, a 1.30 m, y a cada 2.50 m, hasta la parte distal del fuste limpio; el volumen de la punta se estimó con la fórmula del cono (Clutter *et al.*, 1983).

Análisis estadístico

Las variables independientes usadas fueron Diámetro normal ($D_{1.3m}$), Diámetro al cuadrado ($D_{1.3m}^2$), Diámetro al cuadrado por altura (D^2A), Diámetro y altura al cuadrado (DA^2) y Diámetro al cuadrado por altura del fuste (D^2AF) (Clutter *et al.*, 1983; Bailey, 1994). Como variables dependientes se usaron: el volumen de fuste con corteza, volumen de ramas con corteza y volumen total (variables dependientes); además de los datos de diámetro normal ($D_{1.3m}$) y altura total (A) de los 66 árboles, fueron usados para el ajuste de las ecuaciones de volumen mediante procedimientos Stepwise (SAS, 1999). Éste se ha definido como un método de regresión paso a paso, en el cual las variables se agregan una a una; si no incorporan una parte importante de la variación, se eliminan; por el contrario, si incorporan parte de la variación, se agregan, siempre y cuando expliquen significativamente tal variación en el modelo completo. El mejor modelo de regresión se seleccionó al considerar los estadísticos de bondad de ajuste siguientes: 1) el coeficiente de determinación (r^2), 2) el error estándar (Sx) y 3) el error en porcentaje [S (%)]. No se consideraron otros estadísticos de ajuste porque se complica su estimación en modelos de regresión ponderada generalizada.

Una vez que se escogió el mejor modelo de regresión, se procedió a calcular los coeficientes provenientes de procedimientos de aditividad.

Los coeficientes de cada uno de los tres tipos de modelos se calcularon de cuatro formas diferentes: 1) regresión lineal convencional sin ponderar, 2) regresión lineal ponderada, 3) regresión lineal generalizada y 4) regresión lineal generalizada ponderada. Los dos últimos también denominados modelos aditivos. El uso de la ponderación se realizó con el fin de modelar la estructura del error.

La selección de la mejor técnica para estimar los coeficientes estadísticos resultó de comparar: 1) estadísticos de ajuste y 2) valores de "t" de los parámetros y su respectivo nivel de probabilidad. Los valores de "t" de los parámetros resultan de la división del estimador entre su error estándar. Este es un procedimiento

recomendado por Parresol (1999) y Nívar *et al.* (2004a) para el desarrollo de ecuaciones de biomasa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características dasométricas del arbolado

En el Cuadro 1 se reúnen los elementos utilizados para el cálculo de las ecuaciones de volumen.

Cuadro 1. Características promedio de las variables dasométricas del clon IAN-710 en Tezonapa, Ver.

Edad (años)	DB (cm)	D _{1.3m} (cm)	A (m)	AF (m)	CB (m ²)
8	24.8	22.5	16.0	6.20	30.7
14	29.2	25.6	21.3	11.4	21.5
31	43.8	41.0	27.6	18.0	59.7

DB = Diámetro basal, D_{1.3 m} = Diámetro a 1.30 m, A = Altura total, AF = Altura del fuste limpio, CB = Cobertura.

De manera análoga, los intervalos de confianza de las variables dasométricas y el volumen de los 66 árboles evaluados se ordenan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Estadísticos promedio e intervalos de confianza (P = 0.05) de las variables dasométricas y volumen de la muestra de trabajo de 66 árboles del clon de hule IAN-710 en Tezonapa, Ver.

Edad (Años)	Variables Dasométricas		Volumen Promedio (m ³)		
	D _{1.3m}	A	Fuste	Ramas	Total
8	22.48 (0.87)	16.02 (0.46)	0.24	0.22	0.47
14	25.61 (0.96)	21.36 (1.38)	0.51	0.09	0.60
31	41.00 (2.18)	27.66 (1.65)	1.38	0.20	1.59

D_{1.3m} = Diámetro a 1.30 m, A = Altura total.

Los parámetros de altura y diámetro de la población y de la muestra para la estimación del volumen de las plantaciones son similares estadísticamente, de acuerdo con los intervalos de confianza de la muestra de los 66 árboles. Los volúmenes fustales y totales promedio de los árboles se incrementan con la edad; en contraste con el correspondiente a las ramas, este incremento es menos predecible. La densidad de la plantación permanece más o menos constante, con baja mortalidad y el volumen de las ramas se modifica de forma substancial con el crecimiento. Este cambio se debe a una mayor competencia por espacio entre los nutrimentos, árboles, etc.

El promedio en porcentaje de los componentes del volumen medido para el fuste y ramas fue de 80.51 y 19.42% (Cuadro 2), que son similares para *Pinus cooperi* Blanco, *P. durangensis* Mart. y *P. teocote* Schl. et Cham (Contreras y Návar, 2002). Los componentes de volumen variaron con la edad de la plantación: a los 8 años, el volumen medido del fuste fue de 70.11% y de las ramas de 29.88%; a los 14, el primer valor fue de 85.42% y el segundo de 14.57%, finalmente a los 31, el del fuste fue de 80.48% y el de ramas de 19.51%.

En la estimación del volumen de ramas se probaron diferentes índices, debido a la dificultad de encontrar parámetros apropiados que explicaran la mayor proporción de la variación total. Se seleccionó un índice en el que la edad de plantación funciona como ponderador de las variables independientes: $D_{1.3\text{ m}}$, D_{ic} , AF , A y $D_{1.3\text{ m}}^2 h$. La edad no se incluyó como variable explicatoria en la ecuación del volumen del fuste y no se consideró como independiente ni como factor de ponderación. Ambas ecuaciones de componentes de volumen de ramas y fustes son aditivas algebraicamente por su expresión. Del programa Syslin (SAS, 1999) se obtuvieron los valores "t" de los parámetros. Estas ecuaciones se asemejan a las desarrolladas por Naslund o Australiana (Clutter *et al.*, 1983).

Los parámetros de ajuste de las mejores ecuaciones para el volumen total que resultan de la aplicación del programa Stepwise en cuadrados mínimos simples y ponderados, así como la regresión lineal generalizada simple y ponderada para estimar componentes de volumen de los árboles estudiados, se muestran en el Cuadro 3. Los procedimientos de estimación de parámetros dieron origen a diferentes coeficientes. Las variaciones más notorias se manifiestan cuando se ponderan o no se ponderan las ecuaciones. Por esta razón, los parámetros estadísticos de ajuste r^2 , S_x y S de las ecuaciones, cambian, aunque lo hacen de una forma no muy notoria. De acuerdo con los estadísticos de ajuste de las cuatro ecuaciones, se recomendaría el uso de cuadrados mínimos simples para esta evaluación.

En particular, la regresión simple sin ponderar sería la más adecuada para determinar el volumen de fuste, ramas y total de *H. brasiliensis*. La reducción en los estadísticos de ajuste es la consecuencia de la estimación de los parámetros

Cuadro 3. Parámetros de ajuste de ecuaciones de volumen del procedimiento Stepwise y estadísticos de bondad de ajuste para estimar componentes de volumen de 66 árboles de hule.

Ecuación	Estadísticos de bondad de ajuste		
	r^2	Sx	S (%)
Ecuación Sin Ponderar	0.953	0.1315	14.67
Ecuación Ponderada	0.902	0.1959	21.86
Ecuación Lineal Generalizada	0.900	0.1977	22.06
Ecuación Lineal Generalizada Ponderada	0.901	0.1966	21.93

r^2 = Coeficiente de determinación, Sx = Error estándar, S (%) = Error en porcentaje.

por procedimientos de regresión lineal generalizada. La regresión ponderada también disminuye los parámetros r^2 , Sx y S, pero incrementa la precisión de los parámetros de la ecuación (Návar *et al.*, 2004a); para los géneros *Quercus* y *Picea*, Palm (1981) reportó que el método de cuadrados mínimos ponderados con factor de ponderación mostró la mayor precisión al compararse con regresiones sin ponderar y regresiones segmentadas.

Los valores de "t" de coeficientes de regresión de las ecuaciones para componentes de volumen y total muestran que la regresión lineal generalizada ponderada son los más altos (Cuadro 4). Todos ellos son estadísticamente significativos (*P = 0.10, **P = .05, ***P = 0.0001). En general, se incrementaron en 20, 30 y 5% en los coeficientes estimados, con regresión lineal generalizada ponderada; en contraste con la regresión lineal simple sin ponderar, regresión lineal simple ponderada y regresión lineal generalizada, respectivamente. Esto es indicativo del incremento en la precisión de la estimación de los parámetros, es decir, los parámetros estimados en la regresión lineal generalizada ponderada contienen una menor varianza y los hace más deseables como estimadores de los coeficientes de regresión.

Mediante el procedimiento de la ecuación lineal generalizada ponderada se obtuvieron los coeficientes estadísticos más confiables, en particular para el modelo de estimación del volumen total. Los modelos aditivos para el cálculo del volumen total se caracterizan por registrar la mayoría de los coeficientes con alta significancia estadística. La opción lineal generalizada sin ponderar,

Cuadro 4. Valores de "t" y nivel de probabilidad de los coeficientes estadísticos de cuatro formas de estimación de parámetros de ecuaciones de volumen del clon de hule IAN-710 en Tezonapa, Ver.

Componente	Parámetros estadísticos						
	Ecuación sin Ponderar	α	Dic	D ² A	Dn	Afl	At
$V_{\text{fuste}} = -0.08885 + 0.01161\text{Dic} + 0.00002570\text{D}^2\text{A}$	1.91 **	3.84 **	35.5 ***				
$V_{\text{rama}} = -0.17166 + 0.01310\text{Dn} - 0.01348\text{Afl} - 0.00559\text{At} - 0.00713\text{Dic}$	2.95 **	2.28 **		4.81 **	3.45 **	1.27	
$V_{\text{total}} = 0.43653 + 0.00950\text{Dic} + 0.000032\text{D}^2\text{A} - 0.00597\text{Dn} + 0.00388\text{Afl} - 0.01628\text{At}$	1.87 *	1.97 *	6.56 **	0.55 n. s.	0.69 n. s.	2.27 **	
Ecuación Ponderada							
$V_{\text{fuste}} = -0.10063 + 0.001258\text{Dic} + 0.00002548\text{D}^2\text{H}$	2.07 **	4.26 **	36.84 ***				
$V_{\text{rama}} = 0.15918 + 0.01286\text{Dn} - 0.01286\text{Afl} - 0.00575\text{At} - 0.00627\text{Dic}$	2.56 **	2.08 **		4.71 **	3.4 **	1.26	
$V_{\text{total}} = 0.67751 + 0.01188\text{Dic} + 0.00003702\text{D}^2\text{A} - 0.01625\text{Dn} + 0.00674\text{Afl} - 0.0219\text{At}$	2.75 **	2.26 **	7.41 **	1.43 n. s.	0.99 n. s.	2.73 **	

continúa...

continuación Cuadro 4

Componente	Parámetros estadísticos						
	α^∞	Dic	D ² A	Dn	Afl	At	
Ecuación Lineal Generalizada							
$V_{\text{fuste}} = -0.08892 + 0.011619\text{Dic} + 0.000026\text{D}^2\text{H}$	2.15 **	4.31 **	39.86 ***				
$V_{\text{rama}} = 0.169244 + 0.013309\text{Dn} - 0.01408\text{Afl} - 0.00537\text{At} - 0.00723\text{Dic}$	2.91 **	2.31 **		4.89 **	3.61 **	1.22 n. s.	
$V_{\text{total}} = 0.080328 + 0.004391\text{Dic} + 0.000026\text{D}^2\text{A} - 0.013309\text{Dn} - 0.01408\text{Afl} - 0.00537\text{At}$	1.11 n. s.	1.05 n. s.	39.8 ***	4.89 **	3.61 **	1.22 n. s.	
Ecuación Lineal Generalizada Ponderada							
$V_{\text{fuste}} = -0.06399 + 0.009682\text{Dic} + 0.000026\text{D}^2\text{H}$	1.72 *	3.52 **	35.2 ***				
$V_{\text{rama}} = 0.143297 + 0.012488\text{Dn} - 0.01228\text{Afl} - 0.00447\text{At} - 0.00635\text{Dic}$	3.31 **	2.18 **		5.63 **	2.96 **	1.08 n. s.	
$V_{\text{total}} = 0.079311 + 0.003329\text{Dic} + 0.000026\text{D}^2\text{A} - 0.012488\text{Dn} - 0.01228\text{Afl} - 0.00447\text{At}$	1.50 n. s.	0.92 n. s.	35.2 ***	5.63 **	2.96 **	1.08 n. s.	

α^∞ = alfa, Dic = diámetro a base de copa, D²A = diámetro a 1.3 m al cuadrado por altura, Dn = diámetro a 1.3 m, Afl = altura fuste limpio, At = altura total. * = Pr > 0.10, ** = Pr > 0.05, *** = Pr > 0.0001, n. s. = no significativo.

indicó elevados coeficientes estadísticos, en comparación con los derivados de métodos convencionales.

Se confirma que los sistemas lineales generalizados ponderados aumentan la precisión de los parámetros, al utilizar de manera simultánea el número de árboles por el número de compartimentos en la estimación de la varianza total. Para el caso de este estudio, el cálculo de las ecuaciones fue sobre 132 valores (datos de fuste + datos de ramas), mismo que es de carácter novedoso y no aplicado hasta ahora en la mayoría de las especies tropicales.

Asimismo, la ponderación aumenta la confiabilidad en la estimación de parámetros, cuando se compara con el proceso convencional (ecuaciones sin ponderar), en consecuencia, incrementa la precisión en la estimación de parámetros, al analizar la estructura del error, al contribuir a minimizar el comportamiento de la varianza heterogénea o heterocedasticidad, una característica implícita de las variables dasométricas (Bailey, 1994) que calculan la biomasa o volumetría de recursos maderables ($D_{1.3}$, A, etc.,).

La ecuación para ramas parece mostrar un sesgo por su comportamiento cuadrático (Figura 3). Es decir, el volumen de ramas crece hasta alcanzar un máximo para después reducir su valor en árboles de mayores dimensiones. A este respecto, es claro que la ecuación es válida para árboles con diámetro de hasta 50 cm, dimensión superior a la distribución del diámetro de los árboles sujetos a muestreo (Cuadro 5). Para árboles de mayor diámetro, se sugiere observar si el volumen de las ramas disminuye por efectos de aclareos y, si es así, utilizar la ecuación con cierta reserva para árboles más grandes. Si el volumen de las ramas continúa creciendo de forma proporcional con las dimensiones del árbol, entonces se recomienda utilizar la ecuación hasta el valor máximo y dejar este valor estimado como constante. Finalmente es conveniente incorporar otra fuente adicional de árboles de mayores dimensiones en el cálculo de los coeficientes estadísticos para la medición y estimación del volumen de ramas. Las implicaciones biológicas, ecológicas y silvícolas de este comportamiento del volumen de ramas, merece atención especial en futuras investigaciones. Es posible que la producción de látex y otros compuestos esté en función del volumen de ramas, del fuste o de una combinación de ambos componentes.

CONCLUSIONES

Los resultados de pruebas de bondad de ajuste de cuatro formas de estimación de parámetros de ecuaciones de componentes de volumen (fuste, ramas y total) del clon de hule IAN-710 permiten la recomendación del procedimiento lineal generalizado ponderado para los efectos señalados.

Los parámetros estimados con el procedimiento de regresión lineal generalizada con ponderación, registraron la mayor precisión, comprobado por sus valores de "t".

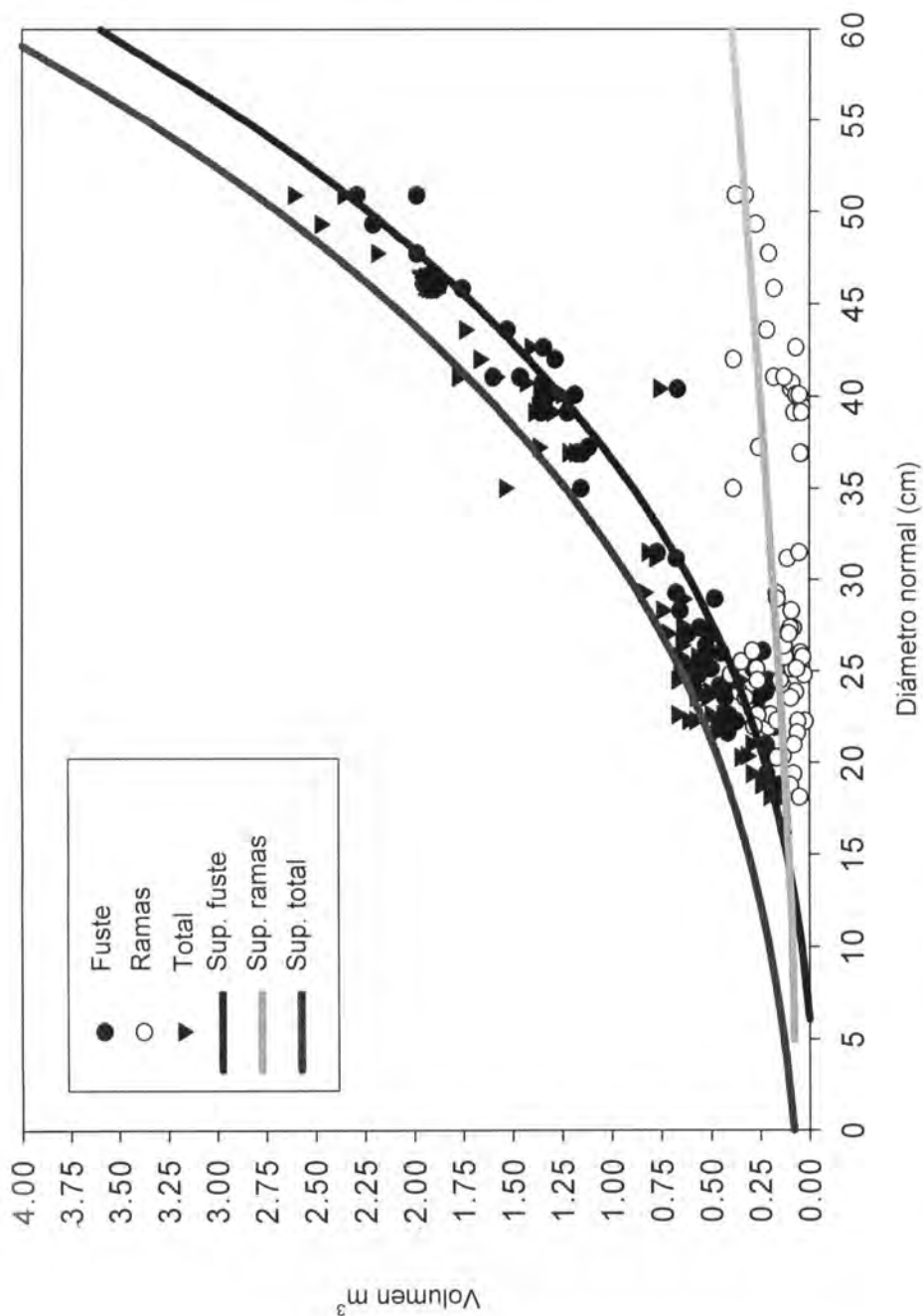


Figura 3. Las ecuaciones aditivas de los componentes de volumen de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. de Tezonapa, Veracruz, México.

Cuadro 5. Número de árboles seleccionados por categoría diamétrica para ajustar las ecuaciones aditivas de volumen de plantaciones de hule en estudio en Veracruz., México.

$D_{1.3m}/A$	5	10	15	20	25	30	Total
5							
10							
15							
20			11	3			14
25			11	12	2		25
30			1	3	2		6
35					1	3	4
40					3	7	10
45					2	1	3
50						4	4
55							
Total			23	18	10	15	66

$D_{1.3m}$ = Diámetro (cm), A = Altura (m)

La mayor parte de los coeficientes de los modelos aditivos para estimar volumen total presentaron evidencia estadística altamente significativa al compararse con los procedimientos de estimación convencionales.

Las ecuaciones estadísticas generadas permiten garantizar una estimación confiable del volumen, a nivel individual y rodal de plantaciones comerciales del clon de hule IAN-710 en el Municipio de Tezonapa, Ver.

REFERENCIAS

- Alder, D. E. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento: con referencia especial a los trópicos. Vol. 2. Estudio FAO, Montes 22/2. Roma. 118 p.
- Andenmatten, E. y F. Letourneau. 1998. Estimación de alturas para su empleo en tablas de volumen de árbol individual. *Quebracho* 6: 27-34.
- Armendáriz, O., R., A. Quiñónez Ch., T. Juárez P., M. Cano R., H. A. Rubio A. y J. Rentería A. 2003. Elaboración de tablas de volúmenes mediante análisis troncales, en cinco regiones forestales del estado de Chihuahua. Resumen. *In: VI Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Memoria. Noviembre 5-7 de 2003. San Luis Potosí, SLP.* pp. 45-46.
- Bailey, L. R. 1994. A compatible volume taper model based on the Schumacher and Hall generalized constant form factor volume equation. *Forest Science* 40 (2): 303-313.
- Barrena A., V. M. 1988. La regresión ponderada en la elaboración de ecuaciones de volumen. *Revista Forestal del Perú* 15(2): 21-28.
- Brooks, J. R., S. Martin, J. Jordan and Ch. Sewell. 2002. Interim taper and cubic-foot volume equations for young longleaf pine plantations in Southwest Georgia. Gen. Tech. Rep. SRS-48. Asheville, NC. U.S. Forest Service, Southern Research Station. pp. 467-470.
- Castellanos B., J. F., M. Ruiz M., M. Gómez C. y L. Santiago P. 1995. Tablas de volúmenes para siete especies de pinos en la Sierra Norte de Oaxaca. *In: II Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Memoria. Texcoco, México.* 150 p.
- Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Piennar, G. H. Brister and R. L. Bailey. 1983. *Timber management: A quantitative approach.* John Wiley and Sons Inc., New York. 333 p.
- Chiyenda, S. S. and A. Kozak. 1984. Additivity of component biomass regression equations when the underlying model is linear. *Can. J. For. Res.* 14: 441-446.
- Contreras A., J. C. y J. J. Nívar Ch. 2002. Ecuaciones aditivas para estimar componentes de volumen para *Pinus teocote* Schl. et Cham. de Durango, México. *Rev. Cien. For. en Méx.* Vol. 27 (91):67-81.
- Cunnia, T. and R. D. Briggs. 1984. Forcing additivity of biomass tables: use of the generalized least squares method. *Canadian Journal of Forest Research.* 14:376-384.
- Da Silva J., A. A., M. R. De Melo C. S. and B. E. Borders. 1993. A volume equation for mangrove trees in northeast Brazil. *Forest Ecology and Management.* 58:1-2, 129-136.
- FAO. 2001. Global forest resources assessment 2000 (FRA 2000) Main report. FAO Forestry Paper 139. FAO. Rome. In press.

- Killmann, W. and L. T. Hong. 2000. El caucho: el éxito de un subproducto agrícola. *Unasyuva* 51 (201):66-72.
- Ladrach, W. E. 1978. Volume, green weight and dry weight tables for *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus grandis*. Investigación Forestal Colombia 30. 16 p.
- Malaysian Ministry of Primary Industries. 1993. Statistics on commodities. Kuala Lumpur, Malaysia. 12 p.
- Méndez G., J. 2001. Ecuaciones de biomasa para especies de matorral espinoso tamaulipeco del nordeste de México. Datos con aplicaciones para inventarios de biomasa. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 60 p.
- Nájera J., A. 1999. Ecuaciones para estimar biomasa, volumen, crecimiento en biomasa y captura de carbono en diez especies típicas del matorral espinoso tamaulipeco del nordeste de México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 93 p.
- Návar Ch., J. de J., P. A. Domínguez C., J. C. Contreras A. y C. Estrada M., 1997. Ajuste de siete modelos de ahusamiento a los perfiles fustales de *Pinus hartwegii* Lindl., del Nordeste de México. *Agrociencia* 31 (1):73-81.
- Návar Ch., J. J., N. González B., J. J. Graciano L., V. Dale and B. Parresol. 2004a. Additive biomass equations for pine species of forest plantations of Durango, Mexico. *Madera y Bosques* 10(2):17-28.
- Návar Ch., J. J., E. Méndez G., E. Graciano L., J. V. Dale and B. Parresol. 2004b. Biomass equations for shrub species of Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. en *Journal of Arid Environments*. En prensa.
- Palm, R. 1981. Computation and choice of tree volume equations. *Bulletin-des-Recherches-Agronomiques-de-Gembloux* 16(4): 351-370.
- Parresol, B. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45 (4): 573-593.
- Pece, M. G., C. Gaillard de Benítez y N. Ríos. 1997. Tabla de volumen para quebracho colorado santiaguense (*Schinopsis quebracho*) utilizando el método de mínimos cuadrados ponderados, *Quebracho* 5: 41-50. Argentina.
- Reed, D. and E. Green J. 1985. A method of forcing additivity of biomass tables when using nonlinear models. *Can. J. For. Res.* 15: 1184-1187.
- Rose, Ch. E. and T. Linch B. 2001. Estimating parameters for tree basal area growth with a system of equations and seemingly unrelated regressions. *Forest Ecology and Management* 148:51-61.
- Rey, M., E. Andenmatten y F. Letourneau. 1995. Tarifa de volumen para pino de Oregon (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) en la región andina de las provincias de Río Negro y Chubut. *Actas IV Jornadas Forestales Patagónicas*. San Martín de los Andes, Neuquén, Argentina: 306-311.

- Statistical Analysis System (SAS). 1999. User's Guide. Cary, NC. 584. p.
- Schreuder, H. T. and M. Williams S. 1998. Weighted linear regression using D^2h and D^2 as the independent variables. Research Paper. Rocky Mountain Research Station. USDA Forest Service. Fort Collins, CO. RMRS-RP:6. 10 p.
- Schumacher, F. X. and E. Hall S. 1933. Logarithmic expression of tree volume. *Journal of Agricultural Research* 47(9): 719-734.
- Ser, C. S. 1990. Rubberwood resource in ASEAN and the potential for its wider utilization. *In*: L. T. Hong, K. S. Ho, W. C. Wong, M. D. Jantan, M. A. maximizing value-added rubberwood products. Proceedings of the International Rubberwood Seminar, Forest Research Institute Malaysia. Kuala Lumpur, 21-22 may 1990. Kuala Lumpur, Malaysia. pp. 27-39.
- Spurr, S. H. 1952. *Forest Inventory*. The Ronald Press Co. New York, NY. 476 p.
- Yuancai, L., C. Marques P. and J. Bento M. 2001. Simultaneous modeling of stand volume yield, dominant height and basal area growth models. *Journal of Forest Science* 47 (7):285-293.
- Zepeda B., M., S. Veruete B. y S. Esparza P. 1994. Ecuaciones para estimar volumen fuste total, rollo total árbol, ramaje y coeficientes mórficos de tres especies de pino del noreste de Chihuahua. Serie de apoyo académico No. 49. División de Ciencias Forestales. U.A.Ch. Texcoco, Méx. 14 p.