

# ECUACIONES DE VOLUMEN PARA ÁRBOLES DE SAMÁN (*Samanea saman* (Jacq.) Merr.), PROVENIENTES DE POTREROS EN EL MUNICIPIO MACHIQUES DE PERIJÁ, ESTADO ZULIA, VENEZUELA

*Volume equations for Saman trees (Samanea saman (Jacq.) Merr.), from pastures in Machiques de Perijá Municipality, Zulia State, Venezuela*

A. Y. Moret<sup>1,3</sup>; A. Ortiz<sup>4</sup>; Y. Pérez<sup>5</sup>; M. Quijada<sup>2</sup> y M. Jerez<sup>2,3</sup>

Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, <sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Forestal, <sup>2</sup>Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, <sup>3</sup>Grupo de Investigación Genética y Silvicultura (GENSIL), Instituto de Investigaciones para el Desarrollo Forestal. E-mail: aymoret@ula.ve, mquijada@ula.ve, jerez@ula.ve. Mérida.

<sup>4</sup>Ministerio del Ambiente, Región Apure. <sup>5</sup>Instituto Nacional de Tierras. Venezuela.

## RESUMEN

El Samán es una de las especies maderables más importantes en Venezuela. En el Estado Zulia muchas tierras han sido deforestadas para dedicarlas a la ganadería, sin embargo, muchos samanes han permanecido en los potreros debido a sus grandes copas y semillas comestibles ya que proveen sombra y alimento al ganado. Las condiciones de sitio óptimas y la dispersión de semillas por el ganado que las consume han favorecido la regeneración de esta especie dando origen a "samanales". Estas áreas son manejadas por los ganaderos para la producción de madera y pasto. Los samanes desarrollan amplias copas soportadas por fustes y ramas muy gruesas (> 1,0 m de diámetro) que son aprovechadas comercialmente. El objetivo de este trabajo fue desarrollar ecuaciones para estimar el volumen en pie rollizo total, incluyendo ramas aprovechables, comercial y de fuste usando como variables predictoras el diámetro a la altura de pecho, la altura total, el número de ramas aprovechables y dimensiones de copa. Para ello se tomó una muestra estratificada de 70 árboles en categorías diamétricas de 10 cm de amplitud; de éstos, 56 fueron utilizados para ajustar 68 modelos de regresión lineales y no lineales. Los 14 árboles restantes fueron utilizados para la validación. Los criterios utilizados para la selección inicial de los mejores modelos fueron el análisis de residuales, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ); y el criterio de información de Akaike (AIC). Los modelos seleccionados fueron validados utilizando un índice de ajuste (IA), y el método de validación aplicado por Fonweban *et al.* (1995). Los mejores modelos fueron los no lineales que tomaron en cuenta el dap, la altura de fuste y el número de ramas comerciales.

**Palabras clave:** regresión, aprovechamiento forestal, dasometría, agroforestería, volumen MinAmb

## INTRODUCCIÓN

El Estado Zulia es una de las regiones venezolanas que tiene la mayor variedad de sistemas de producción en diversos sectores y que ha aportado gran

## ABSTRACT

Samán (*Samanea saman*), a native tree from the neotropical dry forests, is one of the most important commercial tree species used for timber in Venezuela. In Zulia state, most of these forests have been cleared and the land devoted to cattle production. However, many saman trees were spared because of their wide crowns and eatable seeds that provide shade and food for cattle. Optimal ecological conditions and seed dispersal by cattle have led to the formation of natural stands that are being managed by farmers for both wood production and pastures. Samán trees growing in those stands develop large crowns supported by very thick stems and branches (diameter > 1 m) appropriate for sawn timber. The objective of this paper was to develop equations for estimating the raw and merchantable timber volume (stem + branches) from individual standing trees using as predictor variables diameter at breast height (dbh), total height, total number of merchantable branches, and various crown dimensions. A total of 70 sample trees were stratified from stands to be harvested. Dbh categories, 10 cm width, were considered as strata for tree sampling. Fifty six trees were used to fit 68 linear and non-linear regression models with volume over and under bark as dependent variables. The remaining 14 trees were used for validating the best models. The criteria for selecting the best models were the adjusted  $R^2$ , and the Akaike criterion (AIC). The final models were validated using a fit index (IA) and the Fonweban *et al.* (1995) method. Results showed that nonlinear models including dbh, total height, and number of merchantable branches are the best for predicting merchantable volume of standing trees.

**Key words:** regression, logging, dasometry, agroforestry, volume MinAmb.

porcentaje de ingresos al país; uno de estos ingresos proviene de la producción maderera, siendo el Samán (*Samanea saman* (Jacq.) Merr.) una de las especies maderables más importantes. En el Zulia muchas tierras han sido deforestadas para dedicar-

las a la ganadería, sin embargo, gran cantidad de samanes han permanecido en los potreros debido a sus grandes copas y semillas comestibles ya que proveen sombra y alimento al ganado (Daal y Moreno, 1988). Las condiciones de sitio óptimas y la dispersión de semillas por el ganado que las consume han favorecido la regeneración de esta especie dando origen a “samanales”. Bajo estas condiciones los samanes desarrollan amplias copas soportadas por fustes y ramas muy gruesas (>1,0 m de diámetro) que son aprovechadas comercialmente en la mayoría de las fincas del Estado y principalmente en el Municipio Machiques de Perijá. La madera del Samán tiene una alta demanda para diversos fines: construcción en general, tabiquería, machihembrado, rodapié, estructuras livianas, carpintería y ebanistería, chapas decorativas, contraenchapado, laminadas estructurales, embalajes, construcción ligera y trabajos de marquetería (IFLA, 1990)

Si se quiere estimar el rendimiento en madera de esta especie en los potreros; el uso de las ecuaciones de volumen es una alternativa que permite estimaciones precisas del mismo a partir de medidas detalladas, tomadas sobre una pequeña muestra representativa de la población (Moret *et al.*, 1998).

Para la estimación de volumen total aprovechable rollizo a partir de árboles en pie, en el país se ha venido utilizando oficialmente la fórmula del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, hoy Ministerio del Ambiente (MinAmb),  $V = 0,605 \times d^2 \times L$ , donde  $V$  = es el volumen ( $m^3$ ),  $d$  = diámetro a la altura de pecho (cm) y  $L$  = altura de fuste (m); sin tomar en consideración que esta fórmula fue desarrollada para la cubicación de rolas y estimación del volumen de madera aserrada, lo cual trae como consecuencia una subestimación del volumen estimado. Debido a las características fisonómicas de los fustes de las diferentes especies es necesario desarrollar para cada especie o grupos de especies, ecuaciones que permitan estimar volumen rollizo en pie.

El Samán se ramifica a partir de los cuatro a seis metros de altura y el volumen aprovechable se ha calculado sólo en función del fuste principal, cuando en realidad son aprovechables fustes secundarios y ramas que se inician después de la bifurcación que algunos casos representa más del 50% del volumen comercial (Figura 1), por tanto no se tiene una fórmula adecuada que estime volumen rollizo total para el samán ni el volumen aprovechable incluyendo ramas.

En Venezuela se han ajustado ecuaciones de volumen para diferentes especies en plantaciones tales como: teca (*Tectona grandis* L.) desarrolladas por Salinas (1985), Canelón (1989), Moret *et al.* (1998), Barrios (1999); Pino caribe (*Pinus caribaea*), en el Oriente del país, desarrolladas por Smith (1977), González (1980) y Albarrán y Zerpa (1992); Eucalipto (*E. urophylla* y *E. urograndis*) por Rivas (2004); Melina (*Gmelina arborea*) Rosales y Maratón (2000). Para el bosque natural se encuentran las desarrolladas para las principales especies comerciales de los bosques tropófitos de los Llanos Occidentales, caoba (*Swietenia macrophylla*), cedro (*Cedrela odorata*) y saqui-saqui (*Pachira quinata*) por Silva (1968) y mureillo (*Erismia uncinatum*) (Moret y Ruiz, 1998). No se encontraron referencias de ecuaciones de volumen para *S. saman* en Venezuela ni en alguna otra parte del mundo en la bibliografía consultada.

El objetivo de este trabajo fue ajustar ecuaciones de volumen para samán que estimen para



**Figura 1.** Árbol de samán en potrero con fuste bifurcado y sus características ramas gruesas.

árboles en pie: i) volumen rollizo total incluyendo ramas, ii) volumen rollizo comercial (incluyendo ramas aprovechables), iii) volumen rollizo de fuste y, iv) volumen aserrado comercial según la fórmula del MARN (MinAmb) para la Subregión Perijá en el Estado Zulia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El Municipio Perijá, Capital Machiques, se encuentra ubicado al oeste del Estado Zulia, geográficamente comprendido entre 72°00' y 73°13' longitud oeste y 9°26' latitud norte (Figura 2). Considerando el sistema de clasificación de Holdridge, el área estudiada corresponde a Bosque Seco Tropical, el cual se ubica en terrenos llanos con temperaturas que oscilan entre 22 y 29°C. La precipitación promedio varía entre 1000 y 1800 mm anuales. El tipo de bosque que predomina en esta formación es el bosque secundario integrado en mayoría por especies decíduas, siendo ésta la zona más importante del país tanto en extensión como en adaptabilidad para la producción agrícola y pecuaria, así como también

por el valor de sus bosques (Ewel y Madriz, 1969). El Distrito Perijá cuenta con una gran red hidrológica que surca todo el Municipio, llevando un curso paralelo en dirección oeste-este hacia la desembocadura del Lago de Maracaibo. Esta red hidrológica esta comprendida por los ríos El Palmar, El Apón, Río Negro y Santa Ana (SCNS, 1953).

Del total de fincas con permisos de aprovechamiento en la Subregión Perijá en el Estado Zulia, se seleccionaron al azar cuatro tomando en cuenta los siguientes criterios: 1) que contaran con permiso de aprovechamiento vigente, 2) que se estuviera realizando la explotación, 3) que permitieran el acceso y brindaran el apoyo necesario para la toma de la información de campo durante el aprovechamiento. En tal sentido se contó con la participación del MARN Machiques, Sub-Región Perijá, Área 3 del Estado Zulia, para solicitar la colaboración de algunos explotadores de la zona. Las fincas seleccionadas fueron Las Delicias localizada en el Sector San José de Machiques, Bramadero ubicada en Alturitas, San Andrés situada en el Sector Alto Viento y El Balcón ubicada en el Sector Alturitas carretera nacional Machiques - Colón.

Previo a la selección de la muestra se realizaron mediciones de diámetros a la altura de pecho y se determinó que la variación para el samán en la población de estudio era desde 65 cm (establecido como límite inferior por ser el diámetro mínimo de cortabilidad de la especie) hasta aproximadamente 150 cm. Se establecieron 14 categorías diamétricas con una amplitud de cinco cm. Se seleccionaron al azar 70 árboles (cinco por categoría diamétrica). Esta cifra se encuentra dentro de la señalada por Loetsch y Haller (1973), quienes aconsejan entre 50 y 100 árboles tipos para ajustes de ecuaciones de volumen. Además, Prodan *et al.* (1997) plantean que en el caso de las regresiones no existe una expresión explícita para determinar el tamaño de la muestra con vista a obtener una precisión dada.

A cada árbol de la muestra se le midió el diámetro a 1,30 metros sobre el suelo (dap) con cinta métrica, proyección de copa tomando cuatro medidas perpendiculares entre si (con cinta de 30 m), número de ramas totales y aprovechables. Posteriormente se tumbaron los árboles dejando el tocón de altura variable de acuerdo al desarrollo de los aletones, y antes de ser roleados, se midió la longitud total (incluyendo el tocón). Posteriormente los árboles fueron seccionados y a cada una de las secciones in-



Figura 2. Ubicación del Área de Estudio, Municipio Perijá, Machiques, Zulia, Venezuela

cluyendo las ramas se le midió el diámetro con corteza y sin corteza en el extremo mayor, menor y a la mitad de la longitud de la misma y el espesor de corteza. El volumen de cada rola se determinó mediante la fórmula de Newton (Cailliez, 1980; Aranda *et al.*, 2003)

El volumen rollizo total con y sin corteza del árbol, se obtuvo por la suma de los volúmenes rollizos de las rolas provenientes del fuste, ramas aprovechables (rolas con diámetros en el extremo menor mayor a 50 cm y longitud mayor a 2 m) y ramas posiblemente aprovechables (rolas con diámetros en el extremo menor mayor a 25 cm y longitud mayor a 1,5 m). Así mismo se obtuvo el volumen rollizo comercial con y sin corteza, que incluía sólo fuste principal y las ramas aprovechables; y el volumen rollizo de fuste con y sin corteza incluyéndose sólo las rolas obtenidas del fuste. El volumen de madera aserrada fue calculado según la fórmula del MinAmb,  $V = 0,605 \times d^2 \times L$ ; donde:  $d$  = diámetro medido bajo corteza del extremo menor de la rola en m, y  $l$  = longitud del segmento de la rola en m. Se estimó el volumen total aserrado; volumen comercial aserrado y volumen aserrado del fuste.

Se probaron 68 modelos lineales y no lineales recomendados por diferentes autores (Loetsch y Haller, 1973; Barrera y Sáenz, 1986; Fonweban *et al.*, 1995; Salas, 2002), además se crearon otros modelos con las posibles combinaciones de las variables independientes más importantes tales como: diámetro, altura total, altura de fuste, ramas aprovechables, ramas totales y proyecciones de copa (Cuadro 1). El ajuste de los modelos se realizó utilizando el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS®, 1999). Se ajustaron los modelos para un total de 56 árboles muestreados seleccionados al azar y para la validación de las ecuaciones se tomaron los 14 árboles restantes.

La primera etapa de selección consistió en escoger los ocho mejores modelos para cada tipo de volumen; se realizó el análisis de influencia de cada punto sobre el modelo ajustado, utilizándose los criterios de los residuales eliminados de Student ( $t_i^*$ ) (Montgomery y Peck, 1981). Se realizó el análisis de residuos a los modelos con mayor validez predictiva. Se utilizaron como criterios de selección el cuadrado medio del error (CME), coeficiente de determinación ( $R^2$ ); y el criterio de información de Akaike (AIC) (Mcbratney y Pringle 1999), que puede obtenerse mediante la siguiente fórmula:

$$AIC = n \times \ln \left( \sum_{i=1}^n (\text{Vol. real} - \text{Vol. predicho})^2 \right) \times 2p$$

Donde:

$n$ : valor del volumen observado para cada árbol

$p$ : número de parámetros del modelo

A menor valor de este índice más preciso es el modelo. Para la validación de las ecuaciones de volumen se seleccionaron 14 árboles, cumpliéndose las mismas condiciones establecidas para el muestreo inicial. Se seleccionó árboles en todas las categorías diamétricas. Se utilizó el índice de ajuste (IA), el cual hace uso de los estadísticos basados en residuales (Kvålseth 1985, citado por Quevedo *et al.* (2002); Fonweban *et al.*, 1995). El IA es análogo al coeficiente de determinación ( $R^2$ ), y éste puede variar entre  $-\infty$  y 1. El valor de IA se calcula por la siguiente fórmula:

$$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}$$

Donde:

$v_i$ : volumen observado árbol  $i$

$\hat{v}$ : volumen predicho para árbol  $i$

$\bar{v}$ : media de los volúmenes observados

**Cuadro 1.** Modelos matemáticos seleccionados para la determinación de las ecuaciones de volumen para el samán en la Subregión Perijá, Estado Zulia.

Forma Funcional
$V = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon_i$
$V = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon_i$
$V = \beta_0 (X_1)^{\beta_1} + \varepsilon_i$
$V = \beta_0 (X_1)^{\beta_1} (X_2)^{\beta_2} + \varepsilon_i$
$V = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon_i$
$V = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon_i$
$V = \beta_0 (X_1)^{\beta_1} (X_2)^{\beta_2} (X_3)^{\beta_3} + \varepsilon_i$
$V = \beta_0 (X_1)^{\beta_1} (X_2)^{\beta_2} (X_3)^{\beta_3} (X_4)^{\beta_4} + \varepsilon_i$

$X_1 = d$ ,  $d^2$ ,  $RT$ ,  $RA$ ,  $gc$ ,  $ht$ ,  $hf$  ( $d^2.ht$ ), ( $d^2.ht$ ), ( $d.ht$ ), ( $d.hf$ ), ( $d.RT$ ), ( $d.RA$ ), ( $d.gc$ ).  $V$ = Volumen ( $m^3$ ),  $d$  = diámetro a la altura de pecho (cm),  $RT$  = número de ramas totales,  $RA$  = número de ramas aprovechables,  $gc$  = área de copa ( $m^2$ ),  $ht$  = altura total (m),  $hf$  = altura de fuste (m),  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  = coeficientes de regresión,  $\varepsilon$  término de error.

Además se utilizó el método de validación aplicado por Fonweban, *et al.* (1995) el cual se basa en estadísticas compuestas para lo cual se debe calcular: la media de las diferencias absolutas, desviación estándar, cuadrado medio del error, e intervalos de confianza (límite superior e inferior) para el sesgo de predicción. Para calcular la validez predictiva de las ecuaciones de volumen con los criterios antes mencionados se procedió de la siguiente forma:

Se calculó las diferencias absolutas entre el valor observado y el estimado según el modelo con la siguiente fórmula:

$$D_i = |V_i - \hat{V}_i|$$

$D_i$  : sesgo de predicción

$V_i$  : valor del volumen observado para cada árbol

$\hat{V}_i$  : valor del volumen predicho para cada árbol

La media (sesgo de predicción)

$$\bar{B} = \frac{\sum D_i}{n}$$

La varianza

$$\text{VAR}(\bar{B}) = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{B})^2}{(n-1)}$$

El cuadrado medio del error

$$\text{CME} = \bar{B}^2 + \text{VAR}(\bar{B})$$

La raíz del cuadrado medio del error

$$\text{RCME} = \sqrt{\text{CME}}$$

Límites de confianza a través de la fórmula propuesta por Reynolds, (1984) y Rauscher (1986):

$$\bar{B} \pm \sqrt{1 + \frac{1}{n} * S * t_{1 - \frac{\alpha}{2}}(n-1)}$$

$\bar{B}$  = promedio del sesgo de predicción

$S$  = desviación estandar del sesgo de predicción

$t$  = de Student,  $\alpha/2$ ,  $n-1$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre los modelos que presentaron los valores más altos de  $R^2$  y valores más bajos de AIC (Cuadro 2 y 3), para los diferentes tipos de volumen se encuentran los modelos 1 y 2 (lineales), el 3, 4 y 5 (exponenciales). De acuerdo a los resultados del AIC (Cuadro 3) el modelo Exponencial 3 presenta los menores valores por lo tanto mejor ajuste para el volumen total y comercial con y sin corteza, y el volumen comercial MARN. El modelo 5 como era de esperarse presentó mejor ajuste, para la estimación de volumen de fuste con y sin corteza y MARN, además, cuando el árbol a ser cubicado no posee ramas aprovechables se requiere una ecuación de volumen que no incluya ésta variable independiente.

Los valores del índice de ajuste y de las estadísticas compuestas para los tres modelos exponenciales y para los ocho tipos de volumen se presentan en el Cuadro 4. Para los modelos tres  $V=b_0*(d^2)^{b1}*(hf)^{b2}*(RA)^{b3}$  y cuatro  $V=b_0*(d^2)^{b1}*(hf)^{b2}*(gc)^{b3}*(RA)^{b4}$  se obtuvo igual índice de ajuste para la estimación de volumen total con y sin corteza, comercial con y sin corteza y comercial MARN; siendo superiores al modelo 5. Al comparar dichos modelos en cuanto a sesgo de predicción ( $\bar{B}$ ) y precisión (menor varianza de los residuales), el modelo cuatro se comportó mejor, sin embargo, este modelo requiere de incluir como variable regresora el área de copa.

El modelo 5 ( $V = b_0(d^2)^{b1}hf^{b2}$ ), tuvo mayor índice de ajuste para el volumen de fuste con, sin corteza y MARN además de presentar menor sesgo de predicción ( $\bar{B}$ ) y mayor precisión (menor varianza de los residuales), para el volumen de fuste con y sin corteza y MARN.

La muestra fue estratificada en 14 clases diamétricas de 5 cm de amplitud a partir de 65 cm de dap; sin embargo, la última clase diamétrica (14) se dejó abierta, para árboles con diámetros superiores a 140 cm e incluyó árboles hasta de 160 cm. Las pruebas de validación mostraron cierta tendencia a subestimar el volumen para estas categorías. Desafortunadamente solo correspondieron dos árboles en el conjunto de validación. Sin embargo, los árboles con estos diámetros representan una proporción muy pequeña de los árboles potencialmente aprovechables en los potreros.

**Cuadro 2.** Modelos seleccionados para determinar volumen ( $m^3$ ) de samán con su respectivo Coeficiente de Determinación  $R^2$  en la Subregión Perijá, Estado Zulia.

Ec.	Modelo	Vtcc	Vtsc	Vccc	Vcsc	Vfcc	Vfsc	Vcm	Vfm
1	$V=b_0+b_1d^2+b_2hf$	0,866	0,867	0,861	0,863	0,699	0,696	0,831	0,461
2	$V=b_0+b_1d^2+b_2hf+b_3RA$	0,886	0,886	0,883	0,884	0,696	0,693	0,847	0,452
3	$V=b_0x(d^2)^{b_1}x(hf)^{b_2}x(RA)^{b_3}$	0,964	0,967	0,962	0,962	0,985	0,986	0,950	0,962
4	$V=b_0x(d^2)^{b_1}x(hf)^{b_2}(gc)^{b_3}x(RA)^{b_4}$	0,968	0,967	0,962	0,962	0,985	0,986	0,950	0,962
5	$V=b_0x(d^2)^{b_1}x(hf)^{b_2}$	0,959	0,959	0,953	0,953	0,985	0,985	0,944	0,962

Vtcc = Volumen total con corteza, Vtsc = Volumen total sin corteza, Vccc = Volumen comercial con corteza, Vcsc = Volumen comercial sin corteza, Vfcc = Volumen de fuste con corteza, Vfsc = Volumen de fuste sin corteza, Vtm = Volumen total MARN, Vcm = Volumen comercial MARN, Vfm = Volumen fuste MARN

**Cuadro 3.** Índice AIC para las mejores ecuaciones de volumen para árboles de samán en potreros en la Subregión Perijá, Estado Zulia.

Ec	Fórmula	Vtcc	Vtsc	Vccc	Vcsc	Vfcc	Vfsc	Vcm	Vfm
1	$V=b_0+b_1d^2+b_2hf$	268,9	262,7	267,1	260,6	106,5	101,0	249,2	142,0
2	$V=b_0+b_1d^2+b_2hf+b_3RA$	260,0	253,9	258,1	252,0	104,8	99,4	244,5	141,2
3	$V=b_0x(d^2)^{b_1}x(hf)^{b_2}x(RA)^{b_3}$	255,4	249,4	256,0	249,2	94,2	87,4	241,4	116,5
4	$V=b_0x(d^2)^{b_1}x(hf)^{b_2}(gc)^{b_3}x(RA)^{b_4}$	256,8	250,8	256,9	250,7	96,0	90,6	243,2	117,9
5	$V=b_0x(d^2)^{b_1}x(hf)^{b_2}$	266,7	260,0	265,4	258,9	93,9	87,2	246,1	115,7

Volumen( $m^3$ ), Vtcc = Volumen total con corteza, Vtsc = Volumen total sin corteza, Vccc = Volumen comercial con corteza, Vcsc = Volumen comercial sin corteza, Vfcc = Volumen de fuste con corteza, Vfsc = Volumen de fuste sin corteza, Vcm = Volumen comercial MARN, Vfm = Volumen fuste MARN.

## CONCLUSIONES

Se determinó que aproximadamente el 60 % del volumen comercial de los árboles aprovechables de samán que crecen en potreros del área de estudio proviene de las ramas aprovechables (rolas con diámetros en el extremo menor  $\geq 50$  cm y longitud  $\geq 2$  m) por lo cual es recomendable incluirlas en la cubicación rutinaria.

Tres modelos fueron claramente superiores en la validación para la estimación de los diferentes tipos de volumen que requeridos en las operaciones de aprovechamiento de samán. Dos de estos modelos son apropiados para la estimación del volumen de árboles con ramas aprovechables. Uno de ellos requiere medir tres variables de los árboles en pie: su diámetro, su altura de fuste y el número de ramas consideradas aprovechables. El otro modelo requiere adicionalmente la medición del área de copa, lo cual lo hace menos atractivo desde el punto de

vista práctico. Un tercer modelo, que requiere solo altura de fuste y dap es apropiado únicamente para árboles sin ramas aprovechables (Cuadro 5).

Los modelos seleccionados para determinar los diferentes tipos de volumen tienen mayor validez predictiva para árboles de samán con diámetros menores a 130 cm, que para árboles mayores a 140 cm, aunque estos aparentemente forman una parte muy pequeña de la población potencialmente aprovechable

Es recomendable la validación de estos modelos con datos provenientes de muestras adicionales obtenidas en la misma zona e igualmente ajustar estas formas funcionales en otras regiones del país donde el aprovechamiento del samán se esté realizando con cierta intensidad.

Este trabajo solo ha demostrado que en el aprovechamiento de samán de potreros es necesario estimar también el volumen de ramas aprovechables lo cual contribuye a sincerar el rendimiento real de

**Cuadro 4.** Validación de los modelos para determinar volumen (m<sup>3</sup>) de árboles de samán en la Subregión Perijá, Estado Zulia.

MODELO	IA	$\bar{B}$	S	RCME	$\pm LC$
VOLUMEN TOTAL CON CORTEZA					
3	0,96	0,809	0,518	0,961	0,313
4	0,96	0,786	0,509	0,936	0,310
5	0,91	1,001	0,930	1,367	0,562
VOLUMEN COMERCIAL CON CORTEZA					
3	0,96	0,766	0,499	0,835	0,301
4	0,96	0,748	0,487	0,789	0,294
5	0,91	0,938	0,900	1,690	0,544
VOLUMEN COMERCIAL CON CORTEZA					
3	0,96	0,782	0,565	0,965	0,341
4	0,96	0,752	0,527	0,918	0,318
5	0,89	1,084	1,010	1,481	0,610
VOLUMEN COMERCIAL SIN CORTEZA					
3	0,96	0,738	0,532	0,910	0,322
4	0,96	0,727	0,552	0,910	0,334
5	0,90	1,013	0,921	1,369	0,557
VOLUMEN FUSTE CON CORTEZA					
3	0,92	0,255	0,274	0,375	0,166
4	0,92	0,264	0,274	0,384	0,168
5	0,94	0,248	0,243	0,349	0,148
VOLUMEN FUSTE SIN CORTEZA					
3	0,92	0,265	0,275	0,382	0,166
4	0,92	0,253	0,268	0,368	0,166
5	0,93	0,250	0,244	0,356	0,148
VOLUMEN COMERCIAL MARN					
3	0,96	0,561	0,490	0,744	0,296
4	0,96	0,549	0,455	0,713	0,275
5	0,90	0,831	0,686	1,077	0,415
VOLUMEN FUSTE MARN					
3	0,93	0,197	0,219	0,295	0,133
4	0,93	0,210	0,227	0,305	0,137
5	0,94	0,193	0,215	0,290	0,130

IA= índice de ajuste,  $\bar{B}$  = media (sesgo de predicción) S = Desviación estándar, RCME Raíz del cuadrado medio del error,  $\pm LC$ = Límites de confianza.

madera de los árboles de esta especie. Se está también trabajando en estimaciones de rendimiento total a nivel de potreros o rodales individuales de esta especie en la zona. Esta investigación también abre caminos hacia la estimación de volumen y biomasa en árboles aislados de otras especies que crecen en numerosas áreas intervenidas o sabanas arboladas en muchas regiones del país.

Así mismo, quedan abiertas diversas interrogantes que es necesario contestar a la brevedad posible. Por ejemplo ¿Cómo es la dinámica de la

regeneración de estas poblaciones en los potreros?, ya que si bien se ha observado una elevada tasa de regeneración natural, no se ha cuantificado si esta regeneración será capaz de garantizar la sostenibilidad productiva de las mismas y más aún su permanencia en el tiempo como poblaciones viables. ¿Cuál es el potencial de estas poblaciones de samán para ofrecer otros bienes y servicios como lo son sombra y alimentación para el ganado, potencial para la protección y fertilización (por fijación de nitrógeno) de pastos y cultivos establecidos, protección de los suelos, cursos de agua y refugio de fauna?

**Cuadro 5.** Ecuaciones recomendadas para estimar volumen rollizo total, comercial y de fuste con corteza para árboles de samán en potreros en la Subregión Perijá, Estado Zulia.

Árboles con fuste y ramas aprovechables	AIC	IA
$V_{tcc} = 0,000138 \times (d^2)^{1,0445} \times (hf)^{0,3604} \times (RA)^{0,4252}$	255,39	0,96
$V_{tsc} = 0,000122 \times (d^2)^{1,0507} \times (hf)^{0,3692} \times (RA)^{0,4182}$	249,37	0,96
$V_{ccc} = 0,000108 \times (d^2)^{1,0558} \times (hf)^{0,3991} \times (RA)^{0,4389}$	255,99	0,96
$V_{csc} = 0,000095 \times (d^2)^{1,0630} \times (hf)^{0,4080} \times (RA)^{0,4308}$	249,19	0,96
$V_{cAMARN} = 0,000076 \times (d^2)^{1,0471} \times (hf)^{0,6257} \times (RA)^{0,3574}$	249,24	0,95
Árboles con fuste y ramas aprovechables	AIC	IA
$V_{tcc} = 0,000115 \times (d^2)^{0,9829} \times (hf)^{0,3148} \times (gc)^{0,1263} \times (RA)^{0,3777}$	256,8	0,96
$V_{tsc} = 0,000101 \times (d^2)^{0,9872} \times (hf)^{0,3223} \times (gc)^{0,1303} \times (RA)^{0,3693}$	250,8	0,96
$V_{ccc} = 0,000090 \times (d^2)^{0,9952} \times (hf)^{0,3557} \times (gc)^{0,1244} \times (RA)^{0,3933}$	256,9	0,96
$V_{csc} = 0,000078 \times (d^2)^{1,0004} \times (hf)^{0,3633} \times (gc)^{0,1285} \times (RA)^{0,3838}$	250,7	0,96
$V_{cAMARN} = 0,000068 \times (d^2)^{1,070} \times (hf)^{0,5977} \times (gc)^{0,0815} \times (RA)^{0,3275}$	243,2	0,95
Árboles sin ramas aprovechables	AIC	IA
$V_{fcc} = 0,000064 \times (d^2)^{0,9843} \times (hf)^{1,0820}$	93,90	0,92
$V_{fsc} = 0,000052 \times (d^2)^{1,0010} \times (hf)^{1,0767}$	87,24	0,92
$V_{faMARN} = 0,000118 \times (d^2)^{0,8265} \times (hf)^{1,5826}$	115,74	0,93

$V_{tcc}$  = volumen total con corteza ( $m^3$ ),  $V_{tsc}$  = volumen total sin corteza ( $m^3$ ),  $V_{ccc}$  = volumen comercial con corteza ( $m^3$ ),  $V_{csc}$  = volumen comercial sin corteza  $V_{fcc}$  = volumen fuste con corteza ( $m^3$ ),  $V_{fsc}$  = volumen fuste sin corteza ( $m^3$ ),  $V_{cAMARN}$  = volumen comercial aserrado MARN  $V_{faMARN}$  = volumen de fuste aserrado MARN  $d$  = diámetro a la altura de pecho con corteza (cm),  $hf$  = altura de fuste (m),  $RA$  = número de ramas aprovechables,  $Rec$  = rollizo con corteza ( $m^3$ ),  $Rsc$  = rollizo sin corteza ( $m^3$ ),  $AMARN$  = volumen aserrado MARN ( $m^3$ ).

Particularmente a partir de la información obtenida en este estudio es posible una aproximación preliminar a la cantidad de biomasa representada por estos árboles y por ende la cantidad de carbono que son capaces de secuestrar y almacenar. Este gran potencial del samán para ofrecer bienes y servicios económicos y ambientales a la sociedad podría garantizar la supervivencia de poblaciones relativamente naturales de esta especie en esta y otras regiones del país donde actualmente se está sobreexplotando y subutilizando.

## AGRADECIMIENTO

Los autores quieren expresar su agradecimiento a los Ing. For. Edgar Paredes, †Gerardo Zerpa y Emiro Guillén a los Per. For. Oscar Alí Rosales y Edgardo Matheus, del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, Área 3 Sub-región Perijá del Estado Zulia, por la colaboración brindada en la realización de esta investigación.

Igualmente al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la Universidad de Los Andes, por brindar el apoyo financiero bajo el código FO-526-03-01-F.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBARRÁN, V. y F. ZERPA. 1992. Modelos matemáticos para generar tablas de volumen y peso verde en plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* del oriente Venezolano. *Boletín técnico número 5 Marzo-Abril*. CVG-Productos Forestales de Oriente C.A. 26 pag.
- ARANDA, U., M. BARRIO, F. CASTEDO, A. RUÍZ, M. ÁLVAREZ, J. ÁLVAREZ y A. ROJO. 2003. *Dendrometría*. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- BARRENA, D. y D. SÁENZ. 1986. Metodología para la selección de Ecuaciones de volumen. *Revista Forestal del Perú*. Vol. 13 N° 2 3-12.
- BARRIOS, O. 1999. *Productividad de cercas vivas de Teca **Tectona grandis** como actividad agroforestal de fincas localizadas en la región desahogada de la Reserva Forestal de Ticoporo*. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencia Forestales y Ambientales. Mérida, Venezuela.
- BERENSON, M. y D. LEVINE. 1992. *Estadística Básica en Administración. Conceptos y aplicaciones*. Cuarta Edición. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. 947 p.
- CANELÓN, L. 1989. *Estudio Comparativo de ecuaciones de volumen utilizadas para la teca (**Tectona grandis** L.f) en la Reserva Forestal de Caparo*. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestal, Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida. Venezuela.
- CAILLIEZ, F. 1980. *Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos*. Vol 1 y 2. FAO Roma.
- DAAL, C. y J. MORENO. 1988. *Estudio de las características del Samán y su Producción a partir de 1982 en el Distrito Perijá*. Informe de pasantías. Universidad de los Andes, Departamento de Manejo de Bosque. Mimeografiado. Mérida, Venezuela. 81p.
- EWEL, J. y A. MADRIZ. 1968. *Zonas de Vida de Venezuela*. Ministerio de Agricultura y Cría. Dirección de Investigación. 1968. Caracas. Venezuela.
- FONWEBAN, J., T. MAYAKA y J. SEUKEP (1995). Construction and validation of tree volume equations for *Eucalyptus saligna* in Cameroon. *Commonwealth Forestry Review* 74(4):355-360
- FURNIVAL, G. 1961. An Index for comparing equations used in constructing volume tables. *Forest Science* 7 (4): 337-341.
- GONZÁLEZ, N. 1980. *Elaboración de tablas de volumen en plantaciones, con especial referencia al **Pinus caribaea***. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida, Venezuela.
- INSTITUTO FORESTAL LATINOAMERICANO. 1990. IFLA. *Maderas comerciales de Venezuela, Ficha técnica N° 20 samán*. Mérida, Venezuela. 21p.
- LOETSCH, F. y K. E HALLER. 1973. *Forest Inventory*. Volumen II. BLV Verlagsgesellschaft. MbH, München. 436 p.
- MCBRATNEY, A. y M. PRINGLE. 1999. Estimating average and Proportional Variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. *Precision agriculture*, 1, 125-153
- MONTGOMERY, D. y E. PECK. 1981. Introduction to Lineal Regression analysis. *John Willy & Sons*, New York. Pags 287-446.
- MORET, A. Y., M. JEREZ y A. MORA. 1998. Determinación de Ecuaciones de Volumen para Plantaciones de Teca (**Tectona grandis** L.) en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal de Caparo, Estado Barinas. *Rev. Forest. Venez.* 42(1): 41-50
- MORET, A. Y. y P. RUIZ. 1998. Determinación de ecuaciones de volumen para mureillo (*Erisma uncinatum*) en la Unidad C-4 de la Reserva Forestal de Imataca. *Rev. Forest. Ven.* 42(2): 187-197.
- PRODAN, M., P. ROLAND, F. COX y P. REAL. 1997. *Mensura Forestal*. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible. IICA. San José, Costa Rica 586 p.
- QUEVEDO, A., M. JEREZ y A. Y. MORET. 2004. Selección de modelos para predecir distribuciones diamétricas en plantaciones de teca a partir de variables del rodal con la función Weibull. *Rev. Forest. Ven.* 48(2): 68-74
- RAUSCHER, H. (1986). Testing prediction accuracy. The microcomputer Scientific Software series 4, USDA. For. Ser. Gen. Rep. NC-107, 19 p.
- REYNOLDS, M. R. 1984. Estimating the error in model predictions. *For Sci.* 30(2): 454- 469.
- RIVAS, W. 2004. *Ecuaciones de Volumen para Eucalipto **Eucalyptus urophylla**, CVG- Proyectos Forestales, Estado Bolívar*. Informe de Pasantía. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida, Venezuela. 38 p.
- ROSALES, L. y G. MARATÓN. 2000. *Ecuaciones de Volumen y Peso para **Gmelina arborea** en Smurfit Cartón de Venezuela*. *Boletín Informativo N° 22*.
- Salas, C. 2002. Ajuste y validación de Ecuaciones de volumen para especies nativas de un relicto de bosque ubicado en Rucamanque (IX Región), Chile [on line] julio 2002, vol 23 N°2, <http://www.scielo.cl/scielo>
- SALINAS, L. 1985. Elaboración de Tablas de Volumen para Teca (**Tectona grandis**) en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal de Ticoporo,

Edo. Barinas. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal, Mérida, Venezuela.

SAS®. 1999. *User's Guide, Versión 8, Institute Inc., SAS/QC® Cary, NC: SAS Institute Inc.*

SILVA, R. 1968. *Tablas de volumen para árboles en pie del bosque Tropófitos de los Llanos Occidentales Venezolanos*. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela. 94 p.

SMITH, N. 1977. *Tablas de volumen para pino caribe (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*) para Cachipo, Estado Monagas, Venezuela*. Centro de Investigación Forestal de Oriente (CIFO), MARN-CONARE-CVG 38 p.

SCNS. 1953. *La región de Perijá y sus habitantes*. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. Universidad del Zulia. Maracaibo