

DETERMINACIÓN DE ECUACIONES DE VOLUMEN PARA MUREILLO (*Erismia uncinatum*) EN LA UNIDAD C4 DE LA RESERVA FORESTAL IMATACA, BOLÍVAR - VENEZUELA

Moret, A.Y.¹ y P. Ruíz²

¹ Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Investigaciones para el Desarrollo Forestal, Grupo de Investigación Genética y Silvicultura, Mérida-Venezuela

² Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Servicio Forestal Venezolano, Caracas-Venezuela

RESUMEN

Se ajustaron 14 modelos de regresión, con datos provenientes de 47 árboles seleccionados mediante un muestreo estratificado por categorías diamétricas, para la determinación de las ecuaciones de volumen para la especie *Erismia uncinatum* (Mureillo) en la Unidad C-4 de la Reserva Forestal Imataca. Para la selección de los mejores modelos se utilizaron los valores del cuadrado medio del error y el Índice de Furnival. La validación fue independiente, para ello se usó una muestra de 24 árboles; se realizó un análisis de la varianza donde el volumen real y los volúmenes estimados por los mejores modelos fueron considerados como tratamientos. Para corroborar los resultados del Índice de Furnival se utilizó el método de los valores predichos y los estadísticos suma de cuadrados del error de predicción y coeficiente de determinación de predicción. Entre los modelos probados, los logarítmicos: $\ln V_{cc} = 2,038195 \ln d + 0,798229 \ln h$ para el volumen total aprovechable con corteza y $\ln V_{cc} = 2,059542 \ln d + 0,792890 \ln h$, para el volumen total aprovechable sin corteza, presentaron mayor r^2 ajustado, menor Índice de Furnival y en la validación se mostraron con mayor validez predictiva. Finalmente, se calcularon los cocientes de forma y coeficientes de paso tanto de volumen de madera en pie a volumen en rolas como volumen de madera en rolas a volumen de madera aserrada.

Palabras clave: *Erismia uncinatum*, Mureillo, Ecuaciones de volumen, Tabla de volumen, Rolas, Fórmula de cubicación, Imataca, Cociente de forma, Coeficiente de paso.

ABSTRACT

Fourteen regression models were adjusted using data from 47 trees selected by means of a stratified random sampling for diametric classes, in order to obtain volume equations for *Erismia uncinatum* (Mureillo) in the Unit C-4 of Imataca Forest Reserve. The selection of the best models was carried out using the values of the error mean square and Furnival's Index. For independent validation of the formulae validation, 24 trees were taken, and used for an analysis of variance, were the models were considered as treatments. To confirm the results of the Furnival's Index, the prediction values method, the sum of squares of the prediction error and the prediction's coefficient of determination were used. Among the adjusted model, the logarithmic ones: $\ln V_{cc} = 2,038195 \ln d + 0,798229 \ln h$ for total commercial volume over bark, and $\ln V_{cc} = 2,059542 \ln d + 0,792890 \ln h$, for total commercial volume under bark, had the largest adjusted R^2 , the minor Furnival's Index and showed the best prediction value. Finally, shape quotients and pass coefficients were used to calculate the pass from timber volume -to- log volume, and from log volume -to- lumber volume.

Keywords: *Erismia uncinatum*, Volume equations, Pass coefficient, Logs, Imataca.

INTRODUCCIÓN

El Mureillo es la especie de mayor cuota de aprovechamiento en los Lotes Boscosos y Reservas Forestales ubicadas hacia el sur del país, las cuales son aprovechadas bajo Planes de Ordenación y Manejo Forestal, amparadas por Contratos Administrativos a largo plazo. Resulta prioritario establecer una metodología práctica y estadísticamente válida, que permita la obtención de

una ecuación de volumen con y sin corteza, hasta un diámetro mínimo de aprovechamiento, para árboles en pie de esta especie; más aún por el hecho de que es política del Gobierno Nacional aumentar las áreas de aprovechamiento forestal (bajo Planes de Ordenación y Manejo) al sur del país, siendo el mureillo la especie de mayor presencia en estos bosques, y además, la de mayor aprovechamiento por su reconocido valor comercial.

Igualmente, es de suma importancia la determinación de coeficientes de paso, tomando como base los volúmenes reales calculados por la fórmula de Smalian, que permitan tanto la obtención de volúmenes de madera en rolas, como la estimación de madera aserrada de esta valiosa especie, de tal forma que se puedan emitir los respectivos permisos y autorizaciones de aprovechamiento forestal, con estimaciones más confiables de los volúmenes a extraer del bosque y, por consiguiente, un mejor control y fiscalización por parte del Estado, del posterior proceso industrial de estos productos forestales.

Antecedentes

Varias investigaciones realizadas en Venezuela en el área dasométrica, han permitido la obtención de ecuaciones de cubicación y la elaboración de tablas de volumen para especies individuales y grupos de especies, tanto en los Llanos Occidentales como en el sur del país; sin embargo, ninguna de ellas se ha considerado al momento de establecer las condiciones contractuales con las Empresas Concesionarias de Unidades de Ordenación y Manejo Forestal, como en los Permisos Anuales a particulares.

En Venezuela desde hace más de cuatro décadas, se utiliza con carácter oficial la fórmula: $V = 0,605 \times d^2 \times l$; donde: $V =$ Volumen (m^3), $d =$ diámetro promedio bajo corteza medido en el extremo menor de la rola (m) y $l =$ longitud (m), para cubicar la madera en rolas (Ministerio de Agricultura y Cría, 1955) que proviene del aprovechamiento de árboles en Reservas Forestales, Lotes Boscosos, terrenos privados y otras tierras forestales del país, la cual también se usa indistintamente para cubicar los árboles en pie de todas las especies forestales; en este caso el diámetro es medido a la altura de pecho sobre corteza, y se considera la altura total comercial del fuste y no se toma en cuenta las características morfológicas de los fustes. El impuesto de explotación se cancela en Bolívares por metro cúbico de rolas aprovechadas, calculados por la fórmula oficial MARNR.

Konrad (1974) en un trabajo de investigación sobre los procedimientos de cubicación de trozas utilizados en Venezuela, concluye que la Tabla Oficial del Ministerio de Agricultura y Cría (actualmente denominada Tabla Oficial MARNR) fue elaborada con base en la fórmula: $V = 0,605 \times d^2 \times l$. Igualmente señala que esta ecuación estima el probable rendimiento de las trozas en madera aserrada.

Diversas opiniones técnicas a través de los años en Venezuela, coinciden en la necesidad de determinar fórmulas o tablas de cubicación, para especies individuales o grupos de especies, para las principales zonas geográficas del país, así como también la no conveniencia del uso de la fórmula de cubicación oficial y la necesidad de utilización de otras que estimen con mayor precisión los volúmenes en pie y en rolas de los árboles aprovechados en el territorio nacional (Silva, 1970; Veillón, 1979; Soler, 1985; Konrad, 1988).

En Venezuela se han realizado tablas de volumen y determinado ecuaciones de volumen para las principales especies forestales bajo plantaciones densas (González 1980; Salinas, 1985; Betances, 1986 y Moret, 1997). Para el bosque natural, son pocos los trabajos realizados en ese aspecto; González (1958) diseñó tablas de cubicación para árboles en pie del bosque pluvial submontano andino; Silva (1968) elaboró tablas de volumen para árboles en pie de los bosques tropófilos de los Llanos Occidentales; Veillón (1972) presentó en un folleto una serie de tablas útiles para la cubicación de rolas y tablas de volumen para árboles en pie; Moreno (1988) desarrolló ecuaciones de volumen para elaborar tablas de cubicación de doble entrada, que permitieron la cuantificación del volumen de árboles en pie para las especies individuales: *Erisma uncinatum*, *Tabebuia capitata*, *Peltogyne porphyrocardia* y para el grupo de especies evaluadas en la muestra, en la Unidad II del Lote Boscoso San Pedro; Konrad (1988) realizó un estudio comparativo de regresiones de volumen para árboles en pie de cuatro tipos de bosques naturales venezolanos; Urdaneta (1989) determinó ecuaciones de regresión y coeficientes de paso para varias especies localizadas en la Unidad II de la Reserva Forestal Ticoporo.

Es de hacer notar que ninguna de las tablas y fórmulas de cubicación elaboradas para los distintos bosques y especies estudiadas, referidas anteriormente, se han considerado como oficiales en los Contratos a largo plazo de los Planes de Ordenación y Manejo Forestal ni en los Permisos Anuales a particulares, emitidos en el territorio nacional.

Barrena et al (1986) presentan una metodología para seleccionar la mejor ecuación de volumen, utilizando para ello los valores del Cuadrado Medio del Error (CME) y los valores del Índice de Furnival si son diferentes las variables dependientes.

Estimaron un modelo para una muestra de 423 árboles localizados en la Unidad Modelo de Manejo y Producción Forestal Dantas en Perú, quedando el modelo de la siguiente forma: $\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h$.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

Este trabajo de investigación se realizó con datos provenientes de la evaluación de árboles de la especie *Erismia uncinatum*, localizados en la Unidad de Manejo C-4 de la Reserva Forestal Imataca, ubicada en la Guayana Venezolana al sur del Río Orinoco. El relieve de esta Unidad corresponde al paisaje fisiográfico Penillanura; la altitud del área está comprendida entre los 160 msnm y los 500 msnm. De acuerdo con la clasificación ecológica de Holdridge, la formación vegetal corresponde a la zona de vida Bosque Húmedo Tropical.

La precipitación promedio anual (período 1984-1992) fue de 1 218 mm, siendo el período más lluvioso el comprendido en los meses de mayo, junio, julio, agosto y diciembre, con una temperatura media anual de 25 °C. El área objeto de estudio abarca una superficie de 724,3 ha, correspondiente a las 10 primeras parcelas de los bloques 1 y 2 del Compartimiento N° 2 de la Unidad C-4.

Método de Muestreo

Se realizó un muestreo aleatorio estratificado con afijación proporcional, en el que las clases diamétricas (con amplitud de 5 cm) presentes en la población fueron consideradas como estratos.

Para la determinación del número total de árboles en la población, se tomó como base la información del inventario (censo) realizado en el Compartimiento, encontrándose 768 individuos con un diámetro a la altura de pecho mayor a 60 cm (diámetro mínimo de cortabilidad de esta especie). Se procedió al conteo de individuos por categoría diamétrica, para obtener el tamaño del estrato. Para determinar el número de árboles a muestrear en cada estrato, se procedió de la siguiente manera:

1. Se evaluó una muestra piloto de tres individuos por categoría diamétrica y a través de ella se calculó la varianza por estrato (sh^2).

2. Se realizó un análisis de homogeneidad de varianzas (Prueba Fmax de Hartley) que determina si las varianzas son o no estadísticamente diferentes.
3. Se aplicaron las ecuaciones correspondientes para el cálculo del tamaño de la muestra (n); el error de muestreo predefinido fue del 10%. Se encontró un n igual a 18. Se condicionó a un mínimo de tres (3) árboles por categoría diamétrica por lo que el tamaño de la muestra definitiva fue de 47 árboles (Cuadro 1).
4. Se determinó el número de unidades muestrales para cada estrato aplicando la fórmula: $nh = Ph \times n$ (Cuadro 1).

donde: nh = Número de unidades muestrales en el estrato h

Ph = Peso del estrato (proporción de cada estrato respecto al total)

n = Tamaño de la muestra

Variables Medidas en las Unidades de Muestreo

Partiendo del hecho de que la última unidad de muestreo es el árbol, se procedió de la siguiente manera: a cada árbol en pie se le midió el diámetro a la altura de pecho (d), altura total (ht) y de fuste (hf) y espesor de corteza a la altura de pecho (e). Luego, se tumbó el árbol y se marcaron segmentos a lo largo del fuste cada dos metros de longitud. En cada extremo del segmento se midió el diámetro y el espesor de corteza. Además, se midió el diámetro a la altura media del fuste y el diámetro a la altura del tocón (variable de acuerdo al corte), con el objeto de determinar coeficientes de forma.

Procesamiento de los Datos

Cubicación de los árboles que conforman la muestra

Se utilizó la fórmula de Smalian para la obtención del volumen de cada uno de los segmentos medidos en el árbol. El volumen total del árbol se obtuvo sumando los volúmenes de todos los segmentos considerados en el mismo.

Determinación de los modelos

Se probaron varios modelos (Cuadro 2) recomendados por Loetsch et al. (1973), Barrera et al. (1986) y Moret (1997).

CUADRO 1. Número de árboles muestreados en cada estrato de la especie *Erismia uncinatum* (Mureillo) en la Unidad C-4 de la Reserva Forestal Imataca.

| Cat. | Diam. Límites(cm) | Nh | Ph | Nh = Ph x n | Nh=(Ph x 18)+3 | nh |
|------|-------------------|---------|------------|-------------|----------------|--------|
| 1 | 60 - 64,99 | 84 | 0.10687022 | 1.92366412 | 4.9236641221 | 5 |
| 2 | 65 - 69,99 | 110 | 0.13994910 | 2.51908396 | 5.5190839695 | 6 |
| 3 | 70 - 74,99 | 155 | 0.19720101 | 3.54961832 | 6.5496183206 | 7 |
| 4 | 75 - 79,99 | 117 | 0.14885496 | 2.67938931 | 5.6793893130 | 6 |
| 5 | 80 - 84,99 | 124 | 0.15776081 | 2.83969465 | 5.8396946565 | 6 |
| 6 | 85 - 89,99 | 51 | 0.06488549 | 1.16793893 | 4.1679389313 | 5 |
| 7 | 90 - 94,99 | 60 | 0.07633587 | 1.37404580 | 4.3740458015 | 4 |
| 8 | 95 - 99,99 | 26 | 0.03307888 | 0.59541984 | 3.5954198473 | 4 |
| 9 | > 100 | 59 | 0.07506361 | 1.35114503 | 4.3511450382 | 4 |
| | | N = 786 | 1.00000000 | | | Σ = 47 |

Previo al ajuste de los modelos se decidió no incluir interceptos, ya que los datos considerados para este estudio se tomaron a partir de 60 cm de diámetro a la altura de pecho (diámetro mínimo de cortabilidad del Mureillo).

Se ajustaron los modelos para el total de árboles muestreados (47) utilizando el Análisis de regresión, empleando la técnica de estimación de mínimos cuadrados; (Montgomery, 1981, citado por Moret, 1997).

Determinación de la precisión de los Modelos

Se empleó como criterio de selección el cuadrado medio del error (CME), donde a menor CME, mejor ajuste y mayor coeficiente de determinación. Para comparar los modelos transformados con los lineales, se utilizó el índice propuesto por Furnival (1961), recomendado por Barrena et al. (1986) y Moret (1997).

Validación de las ecuaciones de volumen

Para la validación de las ecuaciones de volumen, se procedió a seleccionar una nueva muestra cumpliéndose las mismas condiciones del muestreo inicial. Se seleccionaron árboles en todas las categorías diamétricas, para un total de 24 individuos. Se hizo una validación independiente, es decir, los modelos ajustados se utilizaron para predecir el volumen de los árboles y se compararon con los volúmenes reales. Se realizó un análisis de la varianza para probar si existían o no diferencias estadísticamente significativas entre el volumen real

y el volumen estimado por los modelos ajustados.

Como método de validación independiente (para ratificar los resultados del Índice de Furnival) se aplicó el método de los valores predichos, utilizando los estadísticos de predicción suma de cuadrados del error y coeficiente de determinación propuesto por Montgomery, 1982, citado por Moret 1997).

Una vez seleccionado el mejor modelo y obtenida la ecuación de ajuste, se realizó un análisis de residuos, con el objeto de determinar valores atípicos y violaciones de los supuestos del modelo de regresión. Esto se logró a través de:

1. Análisis de influencia de cada punto sobre el modelo ajustado, utilizándose los criterios de los residuales eliminados de Student (t_i^*) y el estadístico de la distancia de Cook (D_i),
2. Gráfica de Dispersión de residuales e_i sobre el eje vertical contra los valores estimados y en el eje horizontal, que permitió evaluar lo apropiado del modelo de regresión en relación con el supuesto de homocedasticidad.
3. Distribución de frecuencia de los residuos, la cual permitió evaluar el supuesto de normalidad.

Determinación del Cociente de Forma (CF)

Se calculó el cociente de forma normal, es decir, cociente del diámetro a la longitud media del fuste comercial entre el diámetro a la altura de pecho (d).

Estimación de los coeficientes de paso

Volumen MARNR en pie a volumen real (rolas):

Para determinar este coeficiente (P_1) se calculó el volumen real (rolas) utilizando la ecuación de Smalian y el volumen de los árboles en pie utilizando la fórmula MARNR pie: $V = 0,605 \times d^2 \times h$ donde; d = diámetro medido a la altura de pecho y h = altura total.

CUADRO 2: Modelos matemáticos seleccionados para la determinación de las ecuaciones de volumen para el Mureillo - *Erisma uncinatum* - en la Unidad C-4 de la Reserva Forestal Imataca.

| Modelo N° | Variable Indep. | Modelo | Denominación |
|-----------|-----------------|--|-----------------|
| 1 | d | $V = \beta_1 d$ | |
| 2 | d | $V = \beta_1 d^2$ | |
| 3 | d | $V = \beta_1 d + \beta_2 d^2$ | Disseca - Meyer |
| 4 | d, h | $V = \beta_1 dh$ | |
| 5 | d, h | $V = \beta_1 d^2 h$ | Spurr |
| 6 | d, h | $V = \beta_1 d + \beta_2 h$ | |
| 7 | d, h | $V = \beta_1 d^2 + \beta_2 h$ | |
| 8 | d, h | $V = \beta_1 d + \beta_2 d^2 h$ | |
| 9 | d, h | $V = \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 d^2 h$ | |
| 10 | d, h | $V = \beta_1 d + \beta_2 dh + \beta_3 d^2 h$ | |
| 11 | d, h | $V = \beta_1 d + \beta_2 dh + \beta_3 d^2 + \beta_4 h + \beta_5 d^2 h$ | |
| 12 | ln d | $\ln V = \beta_1 \ln d$ | |
| 13 | ln d, ln h | $\ln V = \beta_1 \ln d^2 h$ | |
| 14 | ln d, ln h | $\ln V = \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h$ | |

Volumen MARNR rolas a volumen real (rolas):

Este coeficiente (P_2) se determinó tomando como base el volumen en rolas calculado por la fórmula oficial MARNR rolas (asumiendo que el resultado se refiere al volumen de la rola tal cual como es interpretado en la normativa legal en Venezuela) y el volumen real (rolas) utilizando la ecuación de Smalian.

Volumen real (rolas) a volumen aserrado:

Para determinar este factor o coeficiente (P_3) se calculó el volumen de las rolas utilizando la fórmula oficial MARNR rolas, asumiendo que el resultado se refiere al volumen que se genera luego de aserrada la rola (Konrad, 1974) y el volumen real (rolas) utilizando la ecuación de Smalian.

Se procedió al cálculo de los coeficientes de paso promedio para un número de n árboles, a través de las siguientes relaciones:

$$P_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Vol. Real (Smalian)}}{\sum_{i=1}^n \text{Vol. MARNR rolas}} \quad P_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Vol. Real (Smalian)}}{\sum_{i=1}^n \text{Vol. MARNR pie}}$$

$$P_3 = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Vol. MARNR rolas (Aserrado)}}{\sum_{i=1}^n \text{Vol. Real (Smalian)}}$$

donde:

P_1, P_2, P_3 = Coeficientes de paso.

Comparación de resultados de volumen calculados por las distintas ecuaciones de cubicación

Se compararon los resultados del volumen real (según Smalian) con los volúmenes en pie y en rolas calculados por la empresa al usar la “fórmula oficial MARNR” (se contaba con las planillas de inventario presentadas por la empresa concesionaria en el Plan Anual de aprovechamiento forestal) y el volumen estimado por la ecuación de volumen ajustada. Para efecto de comparar los resultados, se incluyeron 53 árboles, que para el momento de realizarse el muestreo aun se les podía leer el número de identificación asignado por la empresa, quedando excluidos 21 árboles pues no se pudieron identificar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ajuste de los modelos

En el cuadro 3 se presentan los valores del cuadrado medio del error (CME) y del coeficiente de determinación ajustado (R^2 aj), para el volumen con y sin corteza de los 14 modelos. Con base en estos

resultados, se seleccionaron los mejores modelos, entre los cuales se encuentran los modelos lineales 5 y 8 (igual al 9, 10 y 11); y los modelos logarítmicos 13 y 14 que colectivamente resultaron ser los mejores.

CUADRO 3: Valores del cuadrado medio del error (CME) y coeficiente de determinación ajustado (r^2), para el volumen total aprovechable con y sin corteza para el Mureillo en la Unidad C-4 de la Reserva Forestal Imataca

| Modelo N° | Volumen con Corteza | | Volumen sin Corteza | |
|-----------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
| | CME | r^2 Ajustado | CME | r^2 Ajustado |
| 1 | 4,82123 | 0,9227 | 4,75200 | 0,9212 |
| 2 | 3,22661 | 0,9483 | 3,12254 | 0,9482 |
| 3 | 3,15883 | 0,9493 | 3,05570 | 0,9492 |
| 4 | 2,84624 | 0,9544 | 2,82052 | 0,9532 |
| 5 | 1,92763 | 0,9691 | 1,83678 | 0,9695 |
| 6 | 4,89409 | 0,9215 | 4,81785 | 0,9201 |
| 7 | 2,69518 | 0,9568 | 2,64430 | 0,9562 |
| 8 | 1,50633 | 0,9758 | 1,46071 | 0,9758 |
| 9 | 1,50633 | 0,9758 | 1,46071 | 0,9758 |
| 10 | 1,50633 | 0,9758 | 1,46071 | 0,9758 |
| 11 | 1,50633 | 0,9758 | 1,46071 | 0,9758 |
| 12 | 2,50569 | 0,3200 | 2,47279 | 0,3159 |
| 13 | 0,03106 | 0,9916 | 0,03273 | 0,9909 |
| 14 | 0,02189 | 0,9941 | 0,02211 | 0,9939 |

Indice de Furnival

En el cuadro 4 se presentan los resultados de la comparación de los mejores modelos lineales con los modelos logarítmicos, utilizando el índice de Furnival. Los modelos que presentaron menor índice fueron los logarítmicos 13 y 14, siendo el modelo 14 el de menor valor y por lo tanto de mejor ajuste. Con base en el resultado anterior, se elaboró un cuadro resumen donde se encuentran las ecuaciones de volumen y los valores de los coeficientes de regresión (Cuadro 5).

Las variables independientes son diámetro a la altura de pecho con corteza y la altura de fuste comercial; la variable dependiente es el volumen total aprovechable sin incluir el tocón y hasta un diámetro en punta, variable de acuerdo a la longitud comercial del fuste.

Validación de las ecuaciones de volumen

En el cuadro 6 se presentan los resultados de los volúmenes reales aprovechables con y sin corteza calculados por árbol y las estadísticas de la muestra de validación de 24 árboles. Se estimó el volumen utilizando los modelos 13 y 14, los cuales mostraron el mejor ajuste. Puede verse que con el modelo 13 hay una mayor subestimación de los volúmenes reales que con el modelo 14. El volumen promedio real con corteza fue de 8,8034 m³, el volumen promedio con corteza estimado por el modelo 13 fue de 8,0811 m³ y el estimado con el modelo 14 fue de 8,4606 m³.

Utilizando el método de los valores predichos y los estadísticos suma de cuadrados del error de predicción (SCE predicción) y coeficiente de determinación de predicción (R^2 predicción), se compararon los modelos 13 y 14; se encontró para el modelo 13 una SCE predicción de 2,9675 y un R^2 predicción de 0,8172 mientras que para el modelo 14, la SCE predicción es de 1,2063 y un R^2 predicción de 0,9257; lo que ratifica el resultado obtenido al calcularse el Índice de Furnival, es decir, el modelo 14 al presentar menor SCE predicción y mayor R^2 predicción se puede considerar como el de mayor validez predictiva.

Una vez seleccionado el modelo logarítmico 14, se procedió al **análisis de influencia** observándose que no hubo valores que afectaran el modelo.

En el análisis de residuos contra valores predichos para el volumen con y sin corteza, para el modelo 14, no se destacaron patrones específicos, por lo tanto se pudo concluir que para el modelo ajustado no hay violación del supuesto de homogeneidad de varianza. En cuanto a la distribución de frecuencia de los residuos del volumen con y sin corteza, estimados según el modelo 14, se apreció que los datos parecen no tener una distribución normal exacta, sin embargo, debido a lo pequeño de la muestra y a que la mayor parte de los residuales están ubicados cerca del centro de la distribución, parece razonable llegar a la conclusión de que no hay violación a la suposición de normalidad.

CUADRO 4: Comparación de los mejores modelos lineales con los mejores modelos logarítmicos, utilizando el Índice de Furnival. Especie *Erismia uncinatum* (Mureillo) en la Unidad C-4 de la Reserva Forestal Imataca.

| VOLUMEN CON CORTEZA | | | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|
| Variable | Modelo 5 | Modelo 8 | Modelo 13 | Modelo 14 |
| 1 \sqrt{CME} | 1,38839 | 1,22733 | 0,17626 | 0,14795 |
| 2 $\Sigma \ln [f'(v)]^{-1}$ | 0,00000 | 0,00000 | 87,70247 | 87,702470 |
| 3 $2/N$ | 0,00000 | 0,00000 | 1,86601 | 1,86601 |
| 4 $\text{antln } 3$ | 1,00000 | 1,00000 | 0,6238024 | 0,6238024 |
| 5 $1 * 4$ | 1,38839 | 1,22733 | 0,1099514 | 0,0922915 |
| VOLUMEN SIN CORTEZA | | | | |
| Variable | Modelo 5 | Modelo 8 | Modelo 13 | Modelo 14 |
| 1 \sqrt{CME} | 1,35528 | 1,20860 | 0,18092 | 0,14869 |
| 2 $\Sigma \ln [f'(v)]^{-1}$ | 0,00000 | 0,00000 | 86,77046 | 86,77046 |
| 3 $2/N$ | 0,00000 | 0,00000 | 1,84618 | 1,84618 |
| 4 $\text{antln } 3$ | 1,00000 | 1,00000 | 0,6131186 | 0,6131186 |
| 5 $1 * 4$ | 1,35528 | 1,20860 | 0,1109254 | 0,0911646 |

CUADRO 5: Ecuaciones seleccionadas y coeficientes de regresión correspondientes al volumen con y sin corteza para la especie *Erismia uncinatum* (Mureillo) en la Unidad C-4 de la Reserva Forestal Imataca.

| CON CORTEZA | |
|-------------|---|
| Modelo | Ecuación |
| 13 | $\ln V_{cc} = 0,767350 \ln d^2 h$ $V_{cc} = (d^2 h)^{0,767350}$ |
| 14 | $\ln V_{cc} = 2,038195 \ln d + 0,798229 \ln h$ $V_{cc} = d^{2,038195} \times h^{0,798229}$ |
| SIN CORTEZA | |
| 13 | $\ln V_{sc} = 0,759773 \ln d^2 h$ $V_{sc} = (d^2 h)^{0,759773}$ |
| 14 | $\ln V_{sc} = 2,059542 \ln d + 0,792890 \ln h$ $V_{sc} = d^{2,059542} \times h^{0,792890}$ |

Donde:

d = Diámetro a la altura de pecho sobre corteza, en m

h = Altura comercial de fuste, en m

V_{cc} = Volumen total aprovechable con corteza, hasta un diámetro en punta, variable de acuerdo a la longitud comercial.

V_{sc} = Volumen total aprovechable sin corteza, hasta un diámetro en punta, variable de acuerdo a la longitud comercial.

lnV_{cc} = Logaritmo neperiano del volumen total aprovechable con corteza, hasta un diámetro en punta, variable de acuerdo a la longitud comercial.

lnV_{sc} = Logaritmo neperiano del volumen total aprovechable sin corteza, hasta un diámetro en punta, variable de acuerdo a la longitud comercial.

CUADRO 6: Volumen real (Smalian) con y sin corteza en m³, volumen estimado según los modelos 13 y 14, y estadísticas para los 24 árboles que constituyen la muestra de validación, para la especie *Erismia uncinatum* (Mureillo) en la Unidad C-4 de la Reserva Forestal Imataca.

| Arbol N° | d 1.30m (cm) | Hf (m) | Volumen Smalian (m ³) | | Volumen Estimado (m ³) | | | |
|---------------------|--------------------|--------|-----------------------------------|----------------|-------------------------------------|-----------|-------------|-----------|
| | | | Con Corteza | Sin Corteza | Con Corteza | | Sin Corteza | |
| | | | | | Modelo 13 | Modelo 14 | Modelo13 | Modelo 14 |
| 1 | 64,30 | 16,80 | 3,7140 | 3,6449 | 4,4249 | 3,8652 | 4,3604 | 3,7717 |
| 2 | 61,20 | 16,80 | 2,8682 | 2,8083 | 4,1017 | 3,4949 | 4,0450 | 3,4068 |
| 3 | 60,15 | 20,80 | 3,5106 | 3,4331 | 4,7055 | 4,0009 | 4,6341 | 3,8941 |
| 4 | 67,49 | 21,00 | 5,2015 | 5,1138 | 5,6564 | 5,0979 | 5,5604 | 4,9738 |
| 5 | 67,71 | 17,80 | 4,7641 | 4,6042 | 5,0074 | 4,4974 | 4,9284 | 4,3921 |
| 6 | 74,39 | 17,30 | 5,1483 | 5,0669 | 5,6602 | 5,3256 | 5,5641 | 5,2121 |
| 7 | 79,80 | 20,15 | 8,0447 | 7,8670 | 7,0866 | 6,9402 | 6,9509 | 6,7970 |
| 8 | 76,20 | 16,00 | 5,6108 | 5,4997 | 5,5312 | 5,2549 | 5,4385 | 5,1477 |
| 9 | 84,87 | 20,20 | 9,7831 | 9,6114 | 7,8041 | 7,8842 | 7,6473 | 7,7315 |
| 10 | 84,73 | 26,32 | 8,4972 | 8,3265 | 9,5371 | 9,7060 | 9,3270 | 9,5043 |
| 11 | 89,90 | 15,58 | 7,9965 | 7,8596 | 6,9848 | 7,2060 | 6,8520 | 7,0850 |
| 12 | 89,90 | 20,00 | 7,6211 | 7,5004 | 8,4602 | 8,7958 | 8,2837 | 8,6365 |
| 13 | 88,75 | 16,40 | 6,6490 | 6,5686 | 7,1230 | 7,3127 | 6,9863 | 7,1860 |
| 14 | 93,25 | 19,84 | 10,7698 | 10,5323 | 8,8938 | 9,4162 | 8,7040 | 9,2533 |
| 15 | 94,00 | 20,00 | 11,1547 | 11,0338 | 9,0595 | 9,6327 | 8,8645 | 9,4674 |
| 16 | 94,04 | 17,40 | 6,9733 | 6,8517 | 8,1466 | 8,6268 | 7,9796 | 8,4851 |
| 17 | 94,40 | 20,00 | 9,8556 | 9,7273 | 9,1187 | 9,7165 | 8,9219 | 9,5505 |
| 18 | 99,50 | 17,90 | 12,3795 | 12,1872 | 9,0790 | 9,8998 | 8,8833 | 9,7475 |
| 19 | 98,50 | 20,00 | 11,9595 | 11,8009 | 9,7336 | 10,5960 | 9,5173 | 10,4245 |
| 20 | 98,00 | 16,00 | 8,3956 | 8,2401 | 8,1380 | 8,7757 | 7,9712 | 8,6430 |
| 21 | 98,40 | 17,00 | 9,4037 | 9,2415 | 8,5790 | 9,2876 | 8,3988 | 9,1450 |
| 22 | 105,50 | 25,12 | 16,2975 | 16,0303 | 12,8822 | 14,6194 | 12,5612 | 14,3864 |
| 23 | 106,80 | 28,00 | 17,0036 | 16,6643 | 14,2667 | 16,3455 | 13,8972 | 16,0798 |
| 24 | 117,50 | 22,50 | 17,6792 | 17,3935 | 13,9664 | 16,6764 | 13,6075 | 16,4580 |
| Máximo | | | 17,6792 | 17,3935 | 14,2667 | 16,6764 | 13,8972 | 16,4580 |
| Mínimo | | | 2,8682 | 2,8083 | 4,1017 | 3,4949 | 4,0450 | 3,4068 |
| Promedio | | | 8,8034 | 8,6503 | 8,0811 | 8,4573 | 7,9119 | 8,3075 |
| Desviación Estándar | | | 4,1158 | 4,0522 | 2,7691 | 3,6049 | 2,6840 | 3,5629 |
| CV% | | | 46,7526 | 46,8450 | 34,2664 | 42,6248 | 33,9234 | 42,8876 |

Tomando como base los resultados anteriores, se considera el modelo 14 como el mejor predictor del volumen de los árboles de Mureillo.

Cocientes de Forma

Se obtuvo un cociente de forma (K) = **0,8560**, lo cual indica que los fustes de los árboles inventariados presentan una condición de baja conicidad.

Coefficientes de paso:

Coefficiente de paso de Volumen MARNR pie a volumen real (rolas); $P_1 = 0,9070$.

Coefficiente de paso de Volumen MARNR rolas (Calculado por la fórmula oficial, asumiendo que el resultado se refiere al volumen de la rola) a Volumen real (rolas); $P_2 = 1,4326$.

Coefficiente de paso de Volumen real (rolas) a Volumen MARNR rolas (Volumen que se genera luego de aserrada la rola); $P_3 = 0,6980$

Comparación de resultados según diferentes ecuaciones de cubicación

En el cuadro 7 se presentan los resultados de los cálculos para 47 árboles considerados, utilizando las diferentes ecuaciones de cubicación:

- 1- Volumen MARNR pie (calculado sobre la base de los datos de campo tomados por la empresa concesionaria).
- 2- Volumen MARNR rolas (MARNR pie x 0,55).
- 3- Volumen estimado según el modelo 14.
- 4- Volumen según Smalian.

Nótese como se subestiman los volúmenes en rolas determinados a partir del volumen en pie calculado por la empresa concesionaria. Dicha subestimación en promedio se ubica en **51,8 %** si se relaciona con el volumen real y en **51,4 %** si se relaciona con el volumen estimado por la ecuación seleccionada. Por otra parte, los volúmenes en pie (MARNR pie) calculados con base a las mediciones tomadas por la empresa concesionaria, no se diferencian considerablemente de los volúmenes reales y los estimados por el modelo 14.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se obtuvieron coeficientes de determinación (R^2) bastantes altos e Índices de Furnival bajos, lo que indica que el ajuste de los modelos fue preciso y el tamaño de la muestra, aún siendo pequeña, fue adecuado.

CUADRO 7: Resultados de los volúmenes: MARNR pie (calculado con base a los datos de campo tomados por la empresa concesionaria); MARNR rolas (MARNR pie empresa x 0,55); real (rolas) según Smalian y estimado según Modelo 14 (ecuación seleccionada en el proyecto).

| Código | Arbol N° | Volumen (m³) | | | |
|----------|-------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------|
| | | MARNR pie Empresa | MARNR rolas MARNR pie x 0,55 | Estimado Modelo 14 | Real (Smalian) |
| A-1 | 1 | 2,7452 | 1,5099 | 3,2936 | 2,7624 |
| A-2 | 2 | 3,8420 | 2,1131 | 3,2604 | 2,8642 |
| A-3 | 3 | 4,0522 | 2,2287 | 4,1943 | 4,1354 |
| A-4 | 4 | 3,5802 | 1,9691 | 3,8652 | 3,6449 |
| A-5 | 5 | 3,4848 | 1,9166 | 4,0041 | 3,7747 |
| A-6 | 6 | 7,9647 | 4,3806 | 4,3461 | 4,0595 |
| A-7 | 7 | 3,4848 | 1,9166 | 3,4949 | 2,8083 |
| A-8 | 8 | 3,5802 | 1,9691 | 4,0009 | 3,4331 |
| B-1 | 9 | 4,4760 | 2,4618 | 3,9186 | 3,4108 |
| B-2 | 10 | 5,9406 | 3,2673 | 3,2305 | 3,5717 |
| B-6 | 11 | 4,2166 | 2,3191 | 3,5391 | 2,8118 |
| C-1 | 12 | 5,0181 | 2,7600 | 3,4210 | 3,4916 |
| C-4 | 13 | 5,6326 | 3,0979 | 4,7213 | 4,3065 |
| , | | | | | |
| , | | | | | |
| , | | | | | |
| I-1 | 49 | 6,2574 | 3,4416 | 9,9883 | 8,1953 |
| I-2 | 50 | 8,2426 | 4,5335 | 13,3992 | 10,7265 |
| I-4 | 51 | 13,0680 | 7,1874 | 14,6194 | 16,0303 |
| I-6 | 52 | 12,1000 | 6,6550 | 16,3455 | 16,6643 |
| I-7 | 53 | 13,3100 | 7,3205 | 16,6764 | 17,3935 |
| Total | | 341,8795 | 188,0337 | 387,0731 | 389,7037 |
| Promedio | | 6,4506 | 3,5478 | 7,3033 | 7,3529 |

Los modelos que presentaron menor Índice de Furnival son los modelos logarítmicos 13 y 14, siendo el modelo 14 el que presentó el menor valor de Índice de Furnival y por lo tanto mejor ajuste.

La validación a través de una muestra independiente (método de los valores predichos - estadísticos SCE predicción y R^2 predicción) permitió demostrar que el modelo logarítmico 14 es mejor predictivo que el Modelo 13.

Los análisis de influencia de cada punto (observación) sobre el modelo ajustado, la dispersión de residuos y la distribución de frecuencia de los residuos, permitió comprobar que no se violaron los supuestos de la regresión.

Se puede concluir que la ecuación seleccionada es buena predictora; por lo tanto debe ser utilizada para calcular los volúmenes de la especie *Erisma uncinatum* en la Unidad C-4 de la Reserva Forestal Imataca.

El cociente de forma (K) hallado para el Mureillo indica que la forma de su fuste se asemeja a la forma de un cilindro, es decir, los diámetros medidos a lo largo del fuste no se diferencian considerablemente.

Los coeficientes de paso hallados para el Mureillo indican que:

Volumen real (rolas) = Volumen MARNR pie x **0,91**.

Volumen real (rolas) = Volumen MARNR rolas x **1,43**.

Volumen que se generará en madera aserrada =
Volumen real rolas x **0,70**.

El procedimiento comúnmente utilizado por las empresas concesionarias para estimar los volúmenes en rolas (Volumen MARNR pie x 0,55) subestima considerablemente los volúmenes reales que se originan en las rolas del mureillo, en 52% aproximadamente; mientras que los resultados que se obtienen con la fórmula oficial MARNR, utilizada para la estimación de los volúmenes de los árboles en pie, no difieren significativamente de los volúmenes reales.

Lo anterior puede deberse a la condición bastante cilíndrica del fuste de los árboles de esta especie; en especies con fustes menos cilíndricos esta situación puede cambiar, es decir, se subestiman aún más los volúmenes cuando se aplica la fórmula oficial para rolas y se sobrestimaría los volúmenes al usarse la fórmula oficial para árboles en pie.

Según estos resultados, la subestimación de los volúmenes en rolas para esta especie es significativa. Es de esperarse que lo mismo suceda con otras especies aprovechadas en los bosques nacionales, más aún si son menos cilíndricas que el mureillo; por lo tanto, el dinero que se deja de percibir anualmente por concepto de impuestos de explotación (Bs/ m³ rolas aprovechado) resulta considerable si se toma en cuenta el total de la explotación anual en m³ rolas calculados por la fórmula oficial (en permisos anuales y en contratos administrativos a largo plazo). Esta Situación se viene repitiendo durante décadas en nuestro país.

Partiendo de lo antes expuesto, si el sistema de aprovechamiento de una Unidad de Manejo es por cabida superficial en la cual el número de árboles a tumar está limitado por la superficie del Compartimiento a intervenir anualmente, sin depender del volumen que se obtenga del inventario la situación no es crítica. Ahora bien, la situación se hace crítica cuando la explotación es por cabida volumétrica, en la cual el control de explotación esta sujeto a volúmenes previamente estimados con base en la fórmula oficial MARNR en pie, multiplicado por factores de paso empíricos; que dejan márgenes de inseguridad de cuántos árboles deben tumbarse para lograr el volumen previamente estimado (subestimado), y por consiguiente un posible pase en la cuota anual de aprovechamiento, con todas las repercusiones administrativas y legales que esto ocasiona.

Se recomienda modificar la ecuación oficial para rolas; para ello se pueden implementar procedimientos metodológicos como los desarrollados durante este estudio, que permitan la determinación de ecuaciones de cubicación más confiables según las especies consideradas y el bosque estudiado.

Por el contrario, si esta situación se mantiene, se recomienda a los organismos oficiales, entiéndase Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables y el Servicio Forestal Venezolano (SEFORVEN), aclarar que las estimaciones que se obtienen al cubicarse las rolas por la fórmula oficial MARNR, es de los volúmenes que se generarán luego de aserrada las rolas; y por lo tanto los impuestos de aprovechamiento deben ajustarse a esta situación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRENA, V.; J. DANCE y D. SÁENZ 1986. Metodología para la selección de Ecuaciones de Volumen. Revista Forestal del Perú. 13(2): 3 -12.
- BETANCES, M. 1986. Estimación de Volumen a partir del Área Basal en las Plantaciones de Teca (*Tectona grandis* L.f.) "Reserva Forestal Caparo". Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Centro de Estudios Forestales de Postgrado. Mérida. Venezuela.
- 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 Volúmenes en Plantaciones, con Especial Referencia al *Pinus caribaea*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida. Venezuela.
- GONZÁLEZ, R. 1958. Tabla de Cubicación para árboles en pie del Bosque Pluvial Submontano Andino (Piso Altitudinal 100-400 m). Trabajo Especial. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida. Venezuela.
- KONRAD, V. 1974. Resultados de la Investigación sobre los Procedimientos de Cubicación de Trozas utilizados en Venezuela. Trabajo de Ascenso. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida. Venezuela.
- KONRAD, V. 1988. Estudio Comparativo de Regresiones de Volumen para árboles en pie de cuatro tipos de Bosques Naturales Venezolanos. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida. Venezuela.
- LOETSCH, F.; F. ZOHRER. AND K. HALLER 1973. Forest Inventory. Vol. 2 BLV, Munich, Germany.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y CRÍA. 1955. Tabla de Cubicación de rolas. Dirección de Recursos Naturales Renovables, Departamento de Explotaciones Forestales. Caracas.
- MORENO, A. 1988. Ecuaciones de Volumen para algunas especies en aprovechamiento en la Región de Guayana. Trabajo de Pasantía. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida. Venezuela.
- MORET, A. 1997. Determinación de Ecuaciones de Volumen para Plantaciones de Teca en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal de Caparo. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida. Venezuela.
- QUINTERO, A. 1975. Los Inventarios para Planes de Manejo en Venezuela. Rev. Forest. Venez. 25:228-232. Mérida, Venezuela.
- SALINAS, L. 1985. Elaboración de Tablas de Volumen para Teca (*Tectona grandis*) en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal de Ticoporo, Edo. Barinas. Trabajo Especial de Investigación. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida. Venezuela.
- SILVA, R. 1968. Tabla de Volumen para árboles en pie del Bosque Tropófito de Los Llanos Occidentales Venezolanos. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida. Venezuela.
- SILVA, R. 1970. Tablas de volumen para las especies comerciales de la Selva Mesofítica del norte de Surinam. Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación. Mérida. Venezuela.
- SOLER, R. 1985. Estudio sobre la Fórmula y Tabla de Cubicación del MAC. Sociedad Venezolana de Ingenieros Forestales. Boletín 26: 18 - 22.
- URDANETA, C. 1989. Determinación de Ecuaciones de Regresión y Coeficientes de paso para varias especies del Bosque Seco Tropical. Trabajo de Pasantía. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida. Venezuela.
- VEILLÓN, J. 1972. Tablas de Cubicación de rolas, Tablas de Volumen para árboles en pie y Tablas de Producción de Plantaciones Forestales. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida. Venezuela.
- VEILLÓN, J. 1979. Tablas de Cubicación para árboles en dos tipos de Bosques Venezolanos. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida. Venezuela.