

ECUACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL ÁRBOL PARA *Pinus occidentalis* Sw., EN EL PLAN SIERRA, REPÚBLICA DOMINICANA

J. M. Montalvo-Guerrero¹; S. Bueno-López²; J. Gilberto-Torres²

¹Instituto de Investigaciones Forestales, Cuba.

²Plan Sierra, República Dominicana.

RESUMEN

La inminente alza de los costos de la materia prima que es utilizada por la industria forestal dominicana requiere ineludiblemente que la actividad forestal de hoy cuente con tablas de volumen, capaces de estimar con la mayor exactitud posible, el volumen de los árboles y de rodales que proveen esa materia prima. La exactitud en la estimación es imprescindible para que un buen proceso de planificación racional de manejo de bosques ocurra.

En este estudio se presenta una ecuación para estimar el volumen y posteriormente elaborar la tabla de cubicación de la madera en pie de los árboles de *Pinus occidentalis*, Sw., utilizados por el Plan Sierra y provenientes del manejo para la reordenación de los bosques naturales de su área de influencia. Se compara la ecuación obtenida en el estudio, con la generada por (Gil y Cuevas, 1986) y utilizada para la construcción de la tabla de cubicación que se utiliza desde hace 14 años. Se pretende, si los estadígrafos así lo indican, sustituir la tabla existente ya que las muestras para ésta fueron tomadas en rodales cuyos árboles poseen características específicas y difieren en su desarrollo (son más pequeños y de menor grosor) de los del resto del área de influencia del Plan Sierra, ya que fueron tomadas en una zona de vida con características edáficas y climatológicas diferentes al resto del área de influencia del Plan Sierra. La muestra para la tabla existente fue de 40 árboles. Para el presente estudio se muestrearon 191 árboles representativos de las tres diferentes zonas de vida que ocurren en La Sierra.

PALABRAS CLAVE: *Pinus occidentalis* Sw.; tablas de volumen.

AN EQUATION FOR ESTIMATION OF VOLUME OF *Pinus occidentalis* Sw. PLAN SIERRA, DOMINICAN REPUBLIC

SUMMARY

The imminent rise in the cost of raw material used by the forest industry in the Dominican Republic requires volumetric tables that are capable of estimating, as precisely as possible, the volumes of trees and stands that provide the raw material. Accuracy in the estimation is essential for the rational planning of forest management.

This study presents an equation for the estimation of volume, which was later used to create a table of cubic quantities of wood stands of *Pinus occidentalis* Sw., which are used and managed within a plan of reordering of natural forests by Plan Sierra in its area of influence. The equation obtained in this study is compared with that generated by Gil and Cuevas (1986) used for the construction of the cubing table used for 14 years. It is intended to substitute the existing table, for which the samples were taken from stands of trees that possess specific characteristics and differ in their development (They are smaller and thinner) and in soil and climate from the rest of the area of influence of Plan Sierra. The sample for the existing table was 40 trees, while, for this study, we sampled 191 trees representative of the three different zones that occur in the Sierra.

KEY WORDS: *Pinus occidentalis* Sw., volume tables.

INTRODUCCIÓN

El bosque, fuente permanente y renovable de riquezas, requiere de la aplicación consecuente de técnicas que aseguren su sustentabilidad. No han sido pocos los esfuerzos de organizaciones internacionales para establecer compromisos entre gobiernos para la toma o

fortalecimiento de aquellas medidas que garanticen la conservación y desarrollo sostenible de los bosques en el mundo.

En la República Dominicana, en épocas tan tempranas como el año 1923, se comenzaron a dictar

Leyes, Decretos y Reglamentos, para regular la explotación de los bosques y asegurar su conservación; finalmente, en 1999, se aprobó la Ley Forestal como medio de "...reorientar y modernizar las disposiciones y normas que intervienen en las actividades de: protección, conservación, manejo de bosques, reforestación, producción forestal y transporte de productos forestales" (Ley Forestal No. 118-99 del Congreso Nacional. República Dominicana. 58 p.)

En la política forestal, particular atención merece la industria de transformación de la madera por lo mucho que puede implicar en el incremento de las talas, con el subsecuente impacto al medio ambiente.

El *Pinus occidentalis* Sw, especie maderable predominante en los bosques que quedan en La Sierra, es endémica de la Hispaniola. En la República Dominicana tiene una distribución actual de unas 302,500 hectáreas (Dobler *et al.*, 1995) y en La Sierra ocupa un área aproximada de 60,000 hectáreas. Como especie conífera autóctona, ocupa en bosques puros aproximadamente el 10% del área de influencia del Plan Sierra.

Su rango ecológico es extremadamente amplio. Bosques naturales se pueden encontrar a partir de los 100 metros sobre el nivel del mar y a partir de los 2,000 metros sobre el nivel del mar no existe otra especie con valor comercial maderero.

En cuanto a su morfología, el *Pinus occidentalis*, Sw. tiene de 4 a 5 agujas por fascículo (en ocasiones 3) de 11 a 18 cm de largo. Su tronco es recto y cilíndrico con corteza color marrón, tornándose negra cuando está mojada. La madera es de color amarillo con vetas color marrón. Cada árbol posee flores femeninas y masculinas (monoica). Los conos son de 5 a 8 cm de largo y contienen semillas aladas. El árbol crece hasta 30 metros de altura y aparecen ejemplares con más de 100 cm de diámetro a la altura de pecho (DAP).

Desde principios del siglo pasado, los bosques de *Pinus occidentalis*, Sw del país han brindado beneficios múltiples a los Dominicanos, tanto por sus productos tangibles (madera, empleos, ingresos), como por los que no se pueden medir (protección del suelo, producción de agua, conservación de la fauna). En los últimos años el manejo de los pinares ha contribuido a mejorar significativamente no sólo el Producto Interno Bruto y la balanza de pagos del país, sino también a que los dominicanos emprendan el trascendente camino de ampliar la cobertura boscosa del país, cuya área es en un 67 % de vocación forestal.

El objetivo del presente trabajo realizado por especialista del Plan Sierra en la República Dominicana y del Instituto de Investigaciones Forestales de Cuba, es determinar la ecuación para elaborar, posteriormente, la

tabla de cubicación de la madera en pie de la especie *Pinus occidentalis* Sw. Los árboles muestreados representan distintas zonas dentro del área de influencia del Plan Sierra. La ecuación obtenida se comparará con la utilizada para la elaboración de la tabla existente (confeccionada con árboles de una sola zona), mediante el uso de métodos científicamente demostrados y con el objetivo primario de lograr mayor exactitud en la cubicación del volumen.

La estimación con la mayor exactitud posible del volumen de los árboles y rodales de *Pinus occidentalis* Sw en el área de influencia del Plan Sierra permitiría evitar la sobreexplotación del bosque e insertar sustentabilidad a su manejo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Algo que se ha aprendido con el trabajo del Plan Sierra es que el problema forestal dominicano no se resuelve prohibiendo el corte de árboles, sino demostrando que éstos pueden ser manejados y aprovechados de manera ordenada para producir riquezas en la zona rural, creando empleos permanentes.

Actualmente se elaboran los Planes de Manejo de bosques privados en toda el área de La Sierra, como una herramienta de trabajo esencial que permita reordenar el uso o manejo racional de los bosques y donde juega un papel esencial las tablas de volumen individual de los árboles en pie, como una importante fase en la actividad forestal.

En el país son pocos los estudios realizados para elaborar ecuaciones de volumen. Para la cubicación de árboles se han utilizado mayormente, fórmulas y ecuaciones importadas y generadas para especies diferentes. En los bosques de La Sierra, las transacciones de madera a principios del siglo pasado se hacían cubicando las trozas mediante la estimación del cuadrado inscrito.

En la década de los años ochenta, a finales del siglo pasado, los suecos que asistían al Plan Sierra en asuntos de manejo de bosque comenzaron utilizando fórmulas generadas para las coníferas de su país, hasta que en 1986, se desarrolló la primera ecuación para la estimación del volumen de los árboles en pie de *Pinus occidentalis*, Sw. (Gil y Cuevas, 1986) Esta misma ecuación es la que, como objetivo de este estudio queremos comparar con la ecuación resultante del mismo. Para su elaboración, Gil y Cuevas utilizaron como base la medición de 40 árboles representativos de un área de 3,000 ha (Celestina) y la ecuación resultante fue:

$$VT_{cc} = 0.00708864 + 0.346746 D^2H$$

Donde V_{tcc} es el volumen total con corteza expresado en metros cúbicos, D es el (DAP) medido en centímetros y

H es la altura total expresada en metros. Con esta ecuación se elaboró una tabla que después de 14 años se sigue utilizando para la cubicación de madera proveniente de los bosques naturales bajo régimen de Plan de Manejo.

La inminente alza de los costos de la materia prima que es utilizada por la industria forestal Dominicana requiere ineludiblemente que la actividad forestal de hoy cuente con tablas o tarifas de volumen de la biomasa forestal, capaces de estimar con la mayor exactitud posible, el volumen de los árboles y de rodales. De esta manera se pretende elaborar una nueva tabla aumentando el número de árboles en la muestra y el número de sitios para mayor representatividad. Los estadígrafos serán los que juzgarán si la nueva tabla supera en precisión a la existente, para bien de los propietarios de la materia prima y de los dueños de la industria forestal.

METODOLOGÍA

Selección de sitios para la muestra

El estudio se realizó en una región con una extensión de terreno de unas 32,812 hectáreas, de las cuales 3,243 ha están cubiertas de bosques naturales de *Pinus occidentalis*, Sw y otras 600 ha han sido plantadas de ésta y otras coníferas. El rango de pendiente de esta zona varía entre cero y 70 por ciento. La altitud está en un rango de 400 a más de 1,000 metros sobre el nivel del mar; la temperatura promedio anual es de 24 °C, con una variación entre máximo y mínimo de menos de 5 °C. Los suelos son de poca profundidad y con textura regularmente arenosa aunque, en algunos lugares, se observa cierta proporción de limo y arcilla. Son normalmente bien drenados y donde la superficie del suelo está protegida con vegetación su fertilidad aumenta (Swedforest Consulting AB, 1992).

Para la obtención de las muestras fueron seleccionadas diferentes localidades dentro del área de influencia del Plan Sierra, tomando en cuenta como criterio esencial la presencia de una cobertura de bosque natural, maduro o en desarrollo, bajo régimen de Plan de Manejo. Las localidades seleccionadas están ubicadas en diferentes zonas de vida: Celestina en la zona de transición; Los Montones en la intermedia húmeda y Carrizal en la húmeda.¹ La pluviometría en estas localidades es la siguiente:

- Carrizal: zona húmeda, con un promedio de precipitación anual entre 1200 - 1400 mm
- Los Montones: zona intermedia, con un promedio de precipitación anual entre 1000 - 1200 mm

- La Celestina: zona seca, con un promedio de precipitación anual entre 800 - 1000 mm.

Los Planes de Manejo prescriben el reordenamiento de fincas de propiedad privada. La extensión de una de estas propiedades varía desde 3 hasta 125 hectáreas. Su ejecución requiere de la previa aprobación por parte de las autoridades forestales nacionales de los tratamientos silvícolas y de aprovechamiento propuestos.

MEDICIÓN DE LOS ÁRBOLES

Para la obtención del volumen total con corteza del fuste, se midieron 191 árboles tipo en las zonas y secciones mencionadas anteriormente. Los árboles en la muestra tuvieron una distribución de clase diamétrica en un rango de 9 a 53 centímetros con corteza medida a 1.30 metros sobre el nivel del suelo. La altura total fue de 3 a 35 metros (error 0.1m), y se obtuvo al tumbarse el árbol. Las medidas de los diámetros se realizaron cada metro a lo largo del fuste principal, desde el ras del suelo hasta un diámetro mínimo con corteza de 4 cm. Las medidas se realizaron con cinta diamétrica en los diámetros superior e inferior de cada una de las secciones.

CUBICACIÓN DE LOS ÁRBOLES

Se cubicaron los árboles en secciones de un metro de largo y se calculó el volumen de cada sección por la fórmula de Smalian (Grá *et al.*, 1990), exceptuando el de la última sección o rabiza que se hizo por la fórmula del cono. La suma de los volúmenes individuales de cada una de las secciones cubicadas por la fórmula de Smalian más el volumen de la rabiza calculado por la fórmula del cono reportó el volumen real de cada uno de los árboles en la muestra.

ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Para obtener la ecuación que mejor se ajustara a los datos se utilizaron los siguientes modelos matemáticos:

$$1) VT_{cc} = a * d^b * h^c \quad (4; 5; 7; 8)$$

$$2) VT_{cc} = a + d^2 * h \quad (4; 9)$$

$$3) VT_{cc} = a + bd^2 \quad (4; 5; 7)$$

Donde: d es el diámetro medido a 1.30 metros sobre el nivel del suelo h es la altura total del árbol.

Los estadígrafos utilizados para la elección del modelo de mejor ajuste a los datos de campo fueron el coeficiente

¹ Nomenclatura usada por Plan Sierra

de determinación (R^2), el error típico de la regresión ($S_{y,x}$), la desviación global (Calliez, 1980) y la desviación promedio (Calliez, 1980). El nivel de significación empleado fue de un 0.1 por ciento. También, para juzgar realmente la calidad de la regresión, se hizo el cálculo y gráfico de los residuales ($V_{\text{real}} - V_{\text{ajustado}}$) contra el volumen real (Calliez, 1980).

La comparación entre la ecuación actual (Gil y Cuevas, 1986) y la recién desarrollada se realizó utilizando como control independiente, 80 árboles seleccionados fuera de la muestra, no incluidos en el análisis de regresión.

El paquete estadístico utilizado para realizar los cálculos fue el estándar Excel para Windows 98.

RESULTADOS

Los resultados del análisis de regresión realizado con los distintos modelos probados se reflejan en la Cuadro 1. Se puede observar como el Modelo 1, que ya fue probado por otros autores (Grá, *et al.*, 1990; Montalvo, *et al.*, 1991; Peñalver, 1990) para la confección de tarifas de volumen para otras especies, fue el mejor en tres de los cuatro estadígrafos utilizados para la elección del modelo de mejor ajuste; lo anterior se destaca más en los estadígrafos, coeficiente de determinación y desviación promedio.

Una vez determinado el modelo de mejor ajuste (Modelo #1), procedimos a compararlo con la ecuación usada actualmente en el Plan Sierra, para la cubicación de los árboles en pie (ver Cuadro 2).

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Lo anterior confirma la calidad de los ajustes de los modelos de regresión con transformación logarítmica para la estimación del volumen, aspecto ya señalado por otros autores (4; 5; 7; 8; 10). El Modelo 2 supera al Modelo 1 en el error típico de la regresión, por sólo 0.019 milésimas; el modelo 3 presenta el valor más bajo en la desviación global, pero la desviación promedio y el error típico son más altos unido al valor del coeficiente de determinación, que es el menor entre los tres modelos.

En el análisis de los residuales, o sea, el volumen real en el eje X y los residuales en el eje Y (Figuras 1; 2 y 3) podemos ver la ligera curvatura que presentan los residuos en la Figura 3, correspondiente al modelo 3, lo que nos indica la existencia de cierto sesgo. Las figuras 1 y 2 tienen una distribución de los residuos con tendencia a una línea recta ascendente y son casi parecidas. Esto nos hace concluir que el Modelo 1 nos da un mejor ajuste para el pronóstico del volumen individual de los árboles en pie en función del diámetro medido a 1.30 metros del suelo (medido en cm) y la altura total (medida en m).

La ecuación propuesta supera a la actual en las dos desviaciones y, en el caso de la desviación global, el valor negativo de la curva actual quiere decir que ésta sobrestima el volumen en un 3.28 %. Estos resultados son lógicos si tenemos en cuenta que para elaborar la curva ajustada que se utiliza actualmente (8), se utilizaron 121 árboles, setenta menos que en la propuesta, y que todos esos árboles fueron medidos en la misma zona (La Celestina);

CUADRO 1. Valores de los estadígrafos de los tres modelos ajustados a los datos originales

Modelo	Ecuación Hallada	Coeficiente de determinación	Error típico de la regresión	Desviación global (%)	Desviación Promedio (%)
1	$VTcc = 0,000074 * d^{1,8375} * h^{0,9268}$	98.6 %	0.095	0.20	7.55
2	$VTcc = 0,0502 + 0,000031 * d^2 * h$	97.6 %	0.076	0.54	8.24
3	$VTcc = -0,110515 + 0,00087 * d^2$	89.2 %	0.162	0.02	16.84

CUADRO 2. Desviación global y promedio de la curva actual y de la curva propuesta.

Curva ajustada	Desviación global (%)	Desviación promedio (%)
Actual: $VTcc = 0.00708864 + 0.346746 D^2 H$	-3.28	9.06
Propuesta: $VTcc = 0,000067 * d1,8392 * h0,9607$	0.25	7.60

los árboles para realizar nuestro estudio, no sólo fueron más, sino que se seleccionaron de tres zonas: La Celestina (zona de transición de bosque seco a semi-húmedo); Los Montones (zona intermedia) y Carrizal (zona húmeda).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para estimar el volumen total con corteza de los árboles en pie de *Pinus occidentalis* Sw, en el área de influencia del Plan Sierra, en la República Dominicana, se puede utilizar la siguiente curva ajustada. Su demostrada base científica será utilizada para la confección de las tablas de volumen de los árboles en pie de la especie.

$$VT_{cc} = 0,000067 * (d_{1,30})^{1,8392} * (h_{total})^{0,9607}$$

La tabla de cubicación que se utiliza actualmente sobrestima el volumen global con corteza de los árboles en pie que no son del área de La Celestina en un 3.28 %. Por lo tanto para una transacción más justa entre suplidores y compradores de materia prima, se recomienda que una nueva tabla basada en la ecuación arriba desplegada sea confeccionada y puesta en uso lo más pronto posible.

LITERATURA CITADA

Ley Forestal No. 118-99 del Congreso Nacional. República Dominicana. 58 p.

- FAO. 1989. Cuidado y mantenimiento de sierras. ESTUDIO FAO MONTES, Roma. No. 58: 117 p.
- SWEDFOREST CONSULTING AB. 1992. Plan Maestro Sector Forestal. Informe principal. Plan Sierra, 82 p.
- CALLIEZ, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia a los trópicos. Estudio FAO: Montes, 22(1): 92 p.
- GRÁ, H. *et al.* 1990. Confección de tablas de índice de sitio, volumen, surtido y densidad para *Pinus caribaea*, en plantaciones puras de Cuba. Informe final etapa 509.09.24. IIF, 24 p.
- DOBLER, G. *et al.* 1995. Investigación y Manejo de Especies Maderables de Uso Coman en La Sierra. Guía Técnica. 269 p.
- MONTALVO, J. M. *et al.* 1991. Confección de tablas de índice de sitio, volumen, surtido y densidad para *Pinus cubensis* Griseb, en plantaciones puras de Guantánamo y Holguín. Informe final etapa 509.09.21. IIF. 26 p.
- PEÑALVER, A. 1990. Estudio del crecimiento y rendimiento de las plantaciones de *Eucalyptus* sp. de Pinar del Río. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, C.U.P.R. "Hnos. Saíz Montes de Oca". Pinar del Río, 101 p.
- GIL VASQUEZ, T.; B. CUEVAS. 1986. Tabla de volumen local y general sobre *Pinus occidentalis* para el Proyecto La Celestina, San José de las Matas. Requisito parcial para el título de Ingeniero Agrónomo. ISA-PUCAMYMA, Santiago de los Caballeros. 58 p.
- WENSEL, L. C.; B. KRUMLAND. (1983). Volume and taper relationships for redwood Douglas-fir and other conifers in California North Coast. División of Agricultural Sciences, University of California, Bulletin 1907.