

**Desarrollo y Uso de Ecuaciones de Volumen
y Tablas de Volumen en la República Argentina**

Autores:

Francisco Fucaraccio

Gabriela Mirta Staffieri

Coordinador:

Enrique Wabo¹

- 1999 -

¹ Ingeniero agrónomo
Profesor Titular de la Cátedra de Dasometría
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
Universidad Nacional de La Plata

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGÍA	3
2.1. MARCO DE REFERENCIA	3
2.2. MECANISMO DE RECOPIACIÓN DE DATOS.....	3
2.3. TRATAMIENTO DEL MATERIAL RECOPIADO	4
3. MATERIAL SELECCIONADO	6
3.1. DESCRIPCIÓN.....	6
3.2. DIFICULTADES OBSERVADAS.....	7
4. RESULTADOS Y DESCRIPCIÓN	8
4.1. ESPECIES Y REGIONES CUBIERTAS POR LAS TABLAS	8
4.2. TIPOS DE TABLAS Y VARIABLES DE PREDICCIÓN UTILIZADAS	11
4.3. MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS	11
4.4. MÉTODOS APLICADOS PARA LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS	14
4.5. TAMAÑO DE LAS MUESTRAS Y RANGO DE LAS VARIABLES	15
4.6. MECANISMOS DE SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE ÁRBOLES.....	15
4.7. MECANISMOS DE VALIDACIÓN DE MODELOS	16
4.8. INDICADORES DE CALIDAD DE AJUSTE DE LOS MODELOS	17
4.9. EVOLUCIÓN DEL MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN DE TABLAS.....	19
5. COMENTARIO FINAL	21
6. BIBLIOGRAFÍA.....	22
7. ANEXO.....	27

DESARROLLO Y USO DE ECUACIONES DE VOLUMEN Y TABLAS DE VOLUMEN EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

Francisco Fucaraccio
Gabriela M. Staffieri

1. INTRODUCCIÓN

El volumen ha sido y sigue siendo la forma de expresión de la cantidad de madera contenida en árboles y rodales más ampliamente utilizada a escala mundial. El volumen de madera contenido en un rodal puede considerarse como la suma de los volúmenes de los árboles en pie comprendidos en él. En consecuencia, una forma de acceder al conocimiento del volumen de madera de un rodal es a través del conocimiento del volumen de sus árboles individuales. Una herramienta para determinar ese volumen son las Tablas de Volumen.

Desde su aparición las tablas de volumen han constituido una herramienta importante a la hora de cuantificar la producción y rendimiento de una superficie en cuanto a volumen de madera, para una o más especies y, por lo tanto, útil para valorar económicamente un área boscosa. Se asume que la primera tabla de volumen, concebida con una concepción moderna, fue construida en Europa a principios del siglo XIX, lo que indica que es una herramienta relativamente antigua.

Una tabla de volumen es una presentación en forma tabular que muestra el volumen promedio de árboles en pie de distintas dimensiones, obtenido a partir de relaciones previamente establecidas, y para diferentes especies. Diámetro¹, altura y forma son las características del árbol utilizadas para la predicción del volumen.

Según sean las variables independientes utilizadas, las Tablas de Volumen se clasifican en Tablas Locales, Tablas Estándar y Tablas de Forma. Una Tabla Local provee el volumen a partir del diámetro; una Tabla Estándar provee el volumen a partir del diámetro y una altura; y una Tabla de Forma provee el volumen a partir del diámetro, alguna altura y algún indicador de forma del tronco.

¹ Diámetro normal a 1,30 m, también llamado Diámetro a la Altura del Pecho (DAP).

Las Tablas de Volumen han sido hoy reemplazadas por las Ecuaciones de Volumen, esto es, por modelos matemáticos capaces de representar el volumen medio de madera por árbol a partir de las variables independientes mencionadas. Sin embargo, el término Tabla ha persistido como un término genérico para expresar una Tabla de Volumen derivada de una Ecuación de Volumen. También puede decirse que, hoy por hoy, una Tabla de Volumen es la expresión tabular de los valores de volumen predichos por una Ecuación de Volumen.

La Argentina no ha sido ajena al empleo de las Tablas de Volumen, aunque su difusión en forma masiva es reciente. Es, precisamente, debido a la importancia local que está tomando este recurso que se generó el presente trabajo.

El presente trabajo fue llevado a cabo por los becarios Sta. Gabriela Mirta Staffieri y Sr. Francisco Fucaraccio, alumnos de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, de la Universidad Nacional de la Plata, bajo la coordinación del Profesor Titular de Dasometría de esa Facultad, Sr. Enrique Wabo. Los objetivos del trabajo fueron los siguientes:

- a) Obtener información sobre la construcción de Tablas y Ecuaciones de Volumen en la Argentina, sobre su evolución y su aplicación.
- b) Hacer sugerencias, a partir de tal información, para tener en cuenta en la construcción de futuras Ecuaciones de Volumen.

En el presente documento se utiliza la expresión Tabla de Volumen como término genérico, para indicar tanto tablas como ecuaciones de volumen. Por otra parte, ciertos trabajos comprenden, en realidad, Sistemas de Tablas de Volumen, ya que incluyen varias especies y/o modelos a la vez. En el presente documento también se utilizará la expresión Tabla de Volumen para esos casos.

2. METODOLOGÍA

2.1. MARCO DE REFERENCIA

Se tomaron en cuenta sólo los datos presenten en Tablas de Volumen desarrolladas en la Argentina que fueran de uso público. En consecuencia, no se tuvieron en consideración y no formaron parte del análisis las Tablas de Volumen de uso privado.

2.2. MECANISMO DE RECOPIACIÓN DE DATOS

Para la recopilación de los datos de interés se utilizaron dos mecanismos básicos, que comprendieron: a) la búsqueda de información escrita, y b) la consulta por vía postal.

En el primer caso se procedió a la recopilación de información publicada en revistas de divulgación científica, actas de Congresos, actas de Jornadas Técnicas, y, en general, de cualquier trabajo publicado que fuese de acceso público. La búsqueda se llevó a cabo en la biblioteca la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata y en la Biblioteca de la Dirección Forestal (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, SAGPyA).

En el segundo caso se procedió a solicitar información por vía postal, a instituciones privadas y universidades, acerca de la existencia y uso de tablas de volumen aún no publicadas. La consulta abarcó a las siguientes instituciones y universidades:

- *Asociación Forestal Argentina (AFoA).*
- *Unión Industrial Argentina (Departamento de Ciencia y Técnica).*
- *Consejo de Productores del Delta.*
- *Federación Argentina de Productores de la Industria Forestal.*
- *Cámara de Productores Forestales del Sudeste de la Pcia. de Buenos Aires.*
- *Universidad Nacional de la Patagonia.*
- *Universidad Nacional de Misiones.*
- *Universidad Nacional del Comahue.*
- *Universidad Nacional de Santiago del Estero.*

2.3. TRATAMIENTO DEL MATERIAL RECOPIADO

Se llevó a cabo una revisión del material obtenido. Como consecuencia de esa revisión, una fracción del material fue dada de baja, mientras que la fracción restante fue seleccionada para ser utilizada en forma parcial o total.

Según Husch et al (1982), la presentación de una Tabla de Volumen debe brindar información acerca de diferentes aspectos de su construcción y aplicación, cualquiera fuese el método utilizado en su construcción. Esa información comprende (Husch et al, 1982):

- a) la especie o grupos de especies para las cuales es aplicable la tabla;
- b) el tipo de volumen predicho y unidades en que se expresa;
- c) las variables independientes utilizadas y sus unidades de medida;
- d) el nombre del autor,
- e) la fecha de elaboración;
- f) el número de árboles con que se construyó la tabla;
- g) la extensión o rango de cada variable independiente;
- h) la zona para la cual fue inicialmente desarrollada;
- i) el método para estimar el volumen de los árboles individuales,
- j) el método de construcción de la tabla,
- k) una medida apropiada de exactitud.

Sobre esta base, se tuvieron en cuenta, para cada Tabla de Volumen seleccionada, los siguientes elementos, a saber:

- a) El nombre de la especie (científico y vulgar) y región de aplicación.
- b) El tipo de Tabla (local, estándar o de forma) y variables de predicción.
- c) El Tamaño de la muestra.
- d) El método utilizado para la selección de árboles muestra.
- e) Los límites de la zona de muestreo.
- f) El volumen real y las fórmulas de cubicación de volumen aplicadas² ().
- g) El rango de las variables independientes de la muestra.

² Smalian, Huber, otras

- h) La metodología aplicada en la obtención de estimadas de los parámetros el modelo ensayado.
- i) Los indicadores de calidad del ajuste del modelo.
- j) La presencia y forma de validación del modelo.
- k) Los modelos y su clasificación desde un punto de vista matemático y desde un punto de vista dasométrico.
- l) El modelo utilizado para la estimación de los parámetros, esto es, si correspondió al modelo original o a una transformación de éste.

A partir de la información observada se confeccionó una planilla general de datos, en la que se volcaron los componentes de interés, tanto cualitativos como cuantitativos, a partir de los cuales se llevó a cabo el posterior análisis.

3. MATERIAL SELECCIONADO

3.1. DESCRIPCIÓN

Se detectaron 86 Tablas de Volumen para árboles en pie, donde la más antigua está fechada en el año 1948. El alto número de Tablas hallado permite aceptar que el material recopilado es representativo de nuestro medio, aún cuando es posible que existan tablas de uso público a las cuales no se haya tenido acceso.

El material obtenido fue sometido a una revisión. Como consecuencia de ella, una parte del material fue dada de baja y no utilizada para el análisis. Este material comprendió:

- El sistema de tablas desarrollado en el PLAN NOA II (Inventario Forestal del Noroeste Argentino, 1970). Ello se debió a la alta cantidad de modelos generados, para una gran cantidad de especies, lo que llevó a que un mismo modelo fuera aplicado a varias de ellas. A su vez el área de estudio abarcó una superficie de 7.5 millones de hectáreas, la cual, por su extensión, fue dividida en distritos y éstos en subdistritos según geomorfología y tipo de bosque. Por ello el análisis de éste trabajo merecería un tratamiento particular que supera los objetivos planteados para el presente trabajo.
- El trabajo denominado “Tabla múltiple de 28 especies nativas del Bosque Misionero” (1972). Ello se debió a la ausencia de los nombres científicos de las especies involucradas, lo que podría dar lugar a confusiones.

De esta forma, las 86 Tablas iniciales se redujeron a un total de 84. De este material seleccionado, dos componentes fueron utilizados en forma parcial y el resto en forma total. El material utilizado en forma parcial comprendió:

- Los trabajos correspondientes a la Estimación de la Producción de Ñire en Tierra del Fuego (Pastur et al 1995)³. Cada trabajo involucró 15 sitios y una gran variedad de tipos de volumen, que en conjunto comprendieron 120 tablas volumétricas. Consideradas como elementos independientes, estas tablas darían una imagen falsa de la realidad. Por esta razón, se consideraron sólo como 2 sistemas de Tablas de Volumen.
- El trabajo denominado “Ecuaciones de volumen para eucaliptus grandis Hill ex Maiden en el Noreste de Entre Ríos”. En este caso no se tuvo en cuenta ninguno de los modelos generados para incluirlos en las clasificaciones matemáticas y dasométricas. De los 11 modelos ensayados por el trabajo todos tienen un buen comportamiento, por lo que la elección del modelo a usar quedará a criterio de usuario. Luego sí se la analizó como cualquier otra tabla de volumen.

3.2. DIFICULTADES OBSERVADAS

A partir de los datos registrados surge que en la Argentina se han construido Tablas de Volumen para diversas especies, tanto nativas como exóticas, para diferentes regiones, y con diferentes métodos.

No obstante, la búsqueda bibliográfica fue dificultosa por la escasez de material de consulta existente en las bibliotecas visitadas.

Esta escasez tal vez se deba a una falla en la transferencia de la información hacia las bibliotecas, más que por una deficiencia de éstas.

A este hecho debe sumarse que las solicitudes de información enviadas por correo no tuvieron respuesta, en ningún caso.

³ “Estimación de la producción para Ñire en Tierra del Fuego: 1. Análisis de forma y ecuaciones locales de volumen para diferentes condiciones de sitio (Pastur et al, 1995) “Estimación de la producción de Ñire en Tierra del Fuego: 2. Ecuaciones estándar de volumen” (Pastur et al, 1995).

4. RESULTADOS Y DESCRIPCIÓN

4.1. ESPECIES Y REGIONES CUBIERTAS POR LAS TABLAS

Las tablas registradas comprendieron distintas especies, de bosques nativos y plantaciones situadas en diferentes localidades del país. Las tablas se ordenaron y contaron por especie y por provincia, dando por resultado el Cuadro 1a.

CUADRO 1a.- Distribución de las tablas por especie y por provincia.

ESPECIES	Nº	PROVINCIAS
<i>Araucaria angustifolia</i>	11	Misiones
<i>Araucaria araucana</i>	2	Neuquén
<i>Aspidosperma quebracho blanco</i>	3	Chaco (1) - Santiago del Estero (2)
<i>Austrocedrus chilensis</i>	4	Río Negro
<i>Eucaliptus grandis</i>	1	Entre Ríos
<i>Fraxinus americana</i>	5	Buenos Aires
<i>Nothofagus antarctica</i>	2	Tierra del Fuego
<i>Nothofagus pumilio</i>	21	Chubut (7) - Santa Cruz (4) - Tierra del Fuego (8) - Río Negro (2)
<i>Pinus caribaea</i> var <i>caribaea</i>	10	Corrientes (6) - Misiones (4)
<i>Pinus elliottii</i>	5	Misiones
Pinos resinosos (<i>elliottii</i> – <i>taeda</i>)	7	Tucumán
<i>Pinus ponderosa</i>	5	Chubut y Río Negro (1) - Neuquén (4)
<i>Pinus taeda</i>	1	Corrientes
<i>Populus deltoides</i> ⁴	3	Delta
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	1	Chubut y Río Negro
<i>Salix babilonica</i> var <i>sacramenta</i>	1	Delta
<i>Schinopsis quebracho colorado</i>	2	Santiago del Estero
TOTAL	84	

Si se ordenan las tablas por provincias y luego por especies, se obtiene el Cuadro 1b.

⁴ CV Harvard 63.51 / I-66 / I 27 / I 74 / Catfish 2 y 5; I-63/51 e I 72

CUADRO 1b. Distribución de las tablas por provincia y especie.

PROVINCIAS	Nº	ESPECIES
Buenos Aires	5	Fraxinus americana
Chaco	1	Aspidosperma quebracho blanco
Chubut	7	Nothofagus pumilio
Corrientes	6	Pinus caribaea var caribaea
	1	Pinus taeda
Delta	1	Salix babilonica var sacramenta
	3	Populus deltoides
Entre Ríos	1	Eucaliptus grandis
Misiones	11	Araucaria angustifolia
	4	Pinus caribaea var caribaea
	5	Pinus elliotii
Neuquén	2	Araucaria araucana
	4	Pinus ponderosa
Río Negro	4	Astrocedrus chilensis
	2	Nothofagus pumilio
Santa Cruz	4	Nothofagus pumilio
Santiago del Estero	2	Aspidosperma quebracho blanco
	2	Schinopsis quebracho colorado
Tierra del Fuego	2	Nothofagus antártica
	8	Nothofagus pumilio
Tucumán	7	Pinos resinosos (elliottii-taeda)
Chubut y Río Negro	1	Pinus ponderosa
	1	Pseudotsuga menziesii
TOTAL	84	

Para tener una visión más global de su distribución geográfica, las Tablas de Volumen fueron agrupadas en 5 regiones, tratando de que éstas coincidan con las regiones fitogeográficas de la Argentina. Las zonas consideradas, junto con las provincias que las integran y la distribución de las Tablas de Volumen por regiones se indican en el Cuadro 2.

CUADRO 2 .- Distribución de las tablas por regiones.

REGIÓN	PROVINCIAS	CANTIDAD	
		%	Nº
NOA (Noroeste argentino)	Salta, Jujuy, Tucumán	7	8
Mesopotamia	Misiones, Corrientes, Entre Ríos	33	28
Delta y Pcia. de. Buenos Aires	Delta Entrerriano y Bonaerense y Provincia de Buenos. Aires	11	9
Bosques Andino - Patagónicos	Neuquen, Río Negro, Chubut, Santa Cruz	42	35
Parque Chaqueño	Santiago de Estero, Chaco	6	5

En el Cuadro 1a se observa la existencia de Tablas de Volumen para un total de 18 especies, mientras que el Cuadro 1b muestra la existencia de Tablas en un total de 14 provincias (el Delta está incluido en las provincias de Buenos Aires y de Entre Ríos).

De las especies reconocidas se destacan cuatro por el alto número de Tablas construidas, que son:

- a) Lenga (*Nothofagus pumilio*) con 21
- b) Pinos resinosos (*Pinus elliottii* y *Pinus taeda*) con 13
- c) Pino paraná (*Araucaria angustifolia*) con 11, y
- d) Pino caribea (*Pinus caribaea* var *caribaea*) con 10

Prácticamente, las 2/3 partes de las Tablas de Volumen observadas están referidas a estos cuatro grupos; el otro 1/3 corresponde a las 13 especies restantes.

Si se analizan las Tablas de Volumen según la región a la cual pertenecen (Cuadro 2) se observa que la región Andino-Patagónica y la Mesopotamia poseen las 3/4 partes de ellas.

En la región Andino-Patagónica se observa que la distribución de las Tablas por provincia es más o menos equilibrada: 8 corresponden a la provincia de Tierra del Fuego, 7 a la provincia del Chubut, 4 a la provincia de Santa Cruz y 2 a la provincia de Río Negro. En la región de la Mesopotamia, en cambio, se observa un marcado desequilibrio; sobre un total de 28 Tablas para la región, 20 corresponden a la provincia de Misiones (71,5 por ciento).

Por otra parte, se destaca el poco desarrollo de las Tablas de Volumen en la región del NOA y del Parque Chaqueño. A pesar de su extensión y de contar con un alto número de especies nativas, ambas áreas contarían sólo con el 14 por ciento del total de Tablas de Volumen observadas.

4.2. TIPOS DE TABLAS Y VARIABLES DE PREDICCIÓN UTILIZADAS

Las tablas fueron clasificadas según las variables de entrada (tablas locales, estándar y de forma) y el tipo de variable de predicción utilizada. No se encontraron en el análisis tablas de volumen de forma. El resto de los resultados se indican en el Cuadro 3.

CUADRO 3.- Clasificación de las tablas por tipo y variable predictoras.

TIPO	VARIABLES PREDICTORAS	TOTAL DE TABLAS	
		%	Nº
Local	Diámetro	63	53
Estándar	Diámetro y altura total	33.5	28
	Diámetro y altura de fuste	2.5	2
	Diámetro e índice de sitio	1	1

4.3. MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS

Los modelos matemáticos empleados en el desarrollo de las tablas de volumen seleccionadas se organizaron desde el punto de vista matemático y desde el punto de vista dasométrico.

El aspecto matemático hace referencia al tipo de modelo matemático empleado, mientras que el aspecto dasométrico hace referencia a la forma en que ese modelo es reconocido en la literatura forestal. Esta clasificación de los modelos se encuentra indicada en el Cuadro 4 y el Cuadro 5.

CUADRO 4.- Clasificación matemática y dasométrica de los modelos.

MODELOS	CLASIFICACIÓN		TOTAL DE TABLAS	
	MATEMÁTICA	DASOMÉTRICA	%	Nº
$V = a + b D$	Polinomial (grado 1)	sin clasificar	1	1
$V = a D^2$	Polinomial (grado 2)	Bertkhout	2.5	2
$V = a + b D^2$		Kopezky-Gehrhardt	5	4
$V = a D + b D^2$		Dissescu-Meyer	14,0	12
$V = a + b D + c D^2$		Hoernald-Krenn	8,5	7
$V = a D^3$	Polinomial (grado 3)	Sin Clasificar	2.5	2
$V = a + b D + c D^2 + d D^3$			7	6
$V = a + b D^2 + c D^3$			2.5	2
$V = a + b D^2 HT$	Polinomial con variable combinada (grado 2)	Variable combinada generalizada	8.5	7
$V = a + b D^2 + c HT$			2.5	2
$V = a D + b D^2 + c HT$			3.5	3
$V = a D + b D^2 + c D HT + d D^2 HT$			1	1
$V = a + b D^2 + c D^2 HT + d HT$			8.5	7
$V = a + b D^2 + c D^2 HT + d D HT^2 + e HT^2$			1	1
$V = a D^b$	Potencial	Sin clasificar	8.5	7
$V = a D^b HT^c$	Potencial con variable combinada	Schumacher- Hall	6,0	5
$V = a*(D^2 HT)^b$		Logarítmico sin intercepto y variable combinada	1	1
$V = a + b \log D + c \log HT$		Logarítmico sin intercepto	1	1
$V = (a SITIO^b) ((D)^{(c (SITIO)^d}))$	Exponencial	Logarítmico sin intercepto	1	1
$\ln V = a \ln D + b 1/D$	Potencial	Brenac reducido	2.5	2

CUADRO 5.- Modelos utilizados por especie.

ESPECIE	MODELO UTILIZADO	Nº TABLAS
Araucaria angustifolia	$V = a + b D^2$	1
	$V = a D + b D^2$	5
	$V = a + b D + c D^2$	1
	$V = a D^b HT^c$	1
	$\ln V = a + b \ln D + c \ln HT$	2
Aspidosperma Quebracho Blanco	$V = a + b D + c D^2$	1
	$V = a + b D^2 HT$	1
Astrocedrus chilensis	$V = a + b D^2 HT$	1
	$V = a (D^2 * HT)^b$	1
	$V = a + b D + c D^2$	1
	$V = a D^b$	1
Fraxinus americana	$V = a D^b$	2
	$V = a + b D^2$	1
	$V = a + b D^2 HT$	2
Nothofagus antártica	$V = a D^2$	1
	$V = a D^b HT^c$	1
Nothofagus pumilo	$V = a D^2$	1
	$V = a + b D + c D^2$	1
	$V = (a * SITIO^b) * ((D)^{c(Sitio)^d})$	1
	$V = a D + b D^2 + D HT + d D^2 HT$	1
	$V = a D + b D^2 + c HT$	3
	$V = a D^3$	2
	$V = a D^b$	2
	$V = a D^b HT^c$	1
	$V = a + b \log D + c \log HT$	1
	$V = a + b D + c D^2 + d D^3$	1
	$V = a + b D^2$	1
	Pinus caribaea var caribaea	$V = a + b HT + c D^2 + d D^2 HT$
$\ln V = a \ln D + d 1/D$		2
$V = a D + b D^2$		2
Pinus elliotii	$V = a D + b D^2$	5
Pinos resinosos (elliottii – taeda)	$V = a + b D + c D^2 + d D^3$	5
	$V = a + b D^2 + c D^3$	2
Pinus ponderosa	$V = a D^2$	1
	$V = a D^b$	1
	$V = a + b D + c D^2$	1
	$V = a + b D^2$	1
	$V = a + b D^2 HT$	1
Pinus taeda	$V = a + b D$	1
Populus deltoides C V Harvard 63.51 / I-66 / I 27 / I 74 / Catfish2 y 5	$V = a + b D^2 + c HT$	2
Populus deltoides C V I-63/51 e I 72	$V = a + b D^2 + c D^2 HT + d HT$	1
Pseudotsuga menziesii	$V = a + b D^2 HT$	1
Salix babilonica var sacramenta	$V = a + b D^2 + c D^2 HT + d D HT^2 + e HT^2$	1
Schinopsis Quebracho colorado	$V = a + b D^2 HT$	1
	$V = a + b D + c D^2$	1

En el cuadro 5 se observa que, salvo excepciones, se han construido para una misma especie Tablas de Volumen aplicando distintos modelos matemáticos

De los 20 modelos expuestos en el Cuadro 4, se ve, en el Cuadro 5, que en *Nothofagus pumilio* fueron aplicados 11 modelos diferentes. En el caso de *Austrocedrus chilensis* se usaron 4 modelos diferentes, y en *Pinus ponderosa* se usaron 5 modelos distintos. En el caso de *Araucaria angustifolia*, se aplicaron 5 modelos diferentes aunque con un predominio de modelos matemáticos polinomiales de grado 2.

4.4. MÉTODOS APLICADOS PARA LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS

Se observó el mecanismo empleado por los autores para llevar a cabo la estimación del valor de cada parámetro; por eso es que los métodos gráficos no quedan incluidos, lo que reduce a 81 el número de Tablas tenidas en cuenta. Los mecanismos fueron clasificados y los resultados se indican en el Cuadro 7.

CUADRO 7.- Clasificación según el métodos de estimación de parámetros.

MÉTODOS APLICADOS		TOTAL DE TABLAS	
		%	Nº
Método de Mínimos Cuadrados (88,2 %)	Sin ponderación	76,2	64
	Con ponderación	6,0	5
	Paso a paso	6,0	5
Métodos No Lineales		1,1	1
Sin Datos		3,6	3
Métodos gráficos		7,1	6

Se observa que el Método de Mínimos Cuadrados es el mecanismo de estimación que más se ha aplicado (88,2%), particularmente sin ponderación, esto es, sin contemplar el comportamiento de la varianza del volumen. Como mecanismo menos utilizado aparecen los métodos no lineales.

Para la estimación de los parámetros del modelo, en el 69 por ciento de los casos se usó el modelo original, en el 19 por ciento se usó el modelo transformado, y en el 5 por ciento no se encuentra debidamente aclarado.

4.5. TAMAÑO DE LAS MUESTRAS Y RANGO DE LAS VARIABLES

Se observó si los autores incluían en la descripción del trabajo: a) el tamaño de la muestra utilizada en el ensayo de los modelos y b) los límites entre los cuales se tomaron los valores de cada variable independiente observada en la muestra.

En el 94 por ciento de las Tablas el tamaño de la muestra estaba indicado, con valores entre los 20 y 314 árboles muestra. No se observó la aplicación de métodos para determinar, a priori, el tamaño de la muestra a seleccionarse.

En 53 por ciento de las Tablas tales límites no estaban debidamente indicados, ya sea por estar ausente o por falta de precisión en la descripción.

4.6. MECANISMOS DE SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE ÁRBOLES

Se observó el criterio utilizado por los autores para llevar a cabo la selección de los árboles muestra. Los criterios observados se indican en el Cuadro 6.

CUADRO 6.- Métodos de selección de árboles muestra.

MÉTODO DE MUESTREO	TOTAL	
	%	Nº
Individuos al azar	28	23
Por clase de diámetro	18	15
Por clase de área basal	6	5
Por clase de diámetro y altura	12	10
Por clase de diámetro, altura y edad	2	2
Por árbol tipo	12	10
Otros	8	7
Sin información	14	12
TOTAL	100	84

4.7. MECANISMOS DE VALIDACIÓN DE MODELOS

Se tuvo en cuenta si los autores llevaron a cabo algún proceso de validación del modelo o los modelos ensayados. Esto es, si realizó algún proceso para determinar si el modelo verdaderamente representa de un modo u otro la realidad (Alder 1980). Al respecto, se consideraron tres alternativas, que fueron:

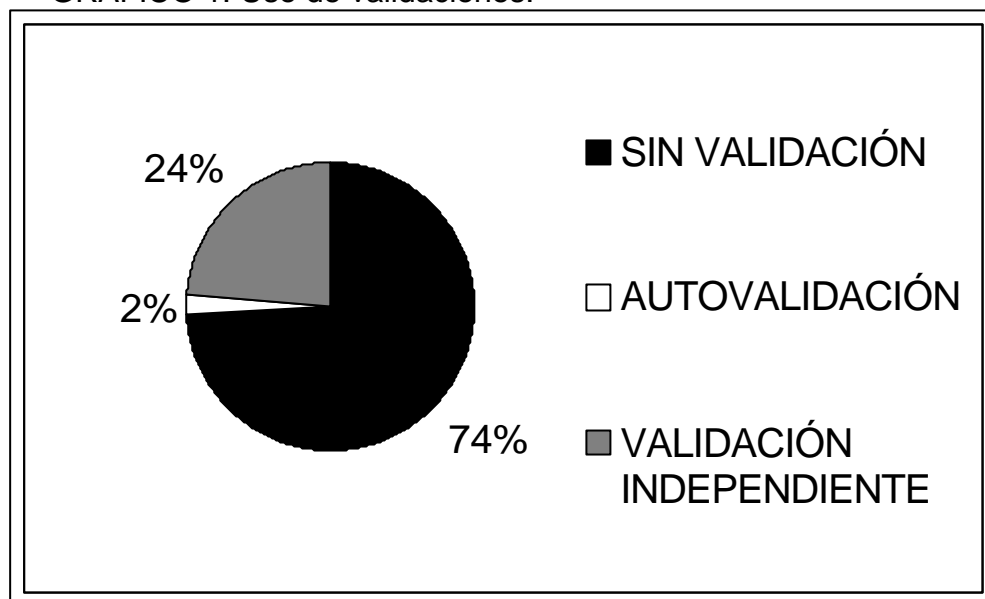
Sin Validación. No se llevó a cabo ninguna validación.

Autovalidación. Los datos usados para la validación del modelo fueron seleccionados entre los que se utilizaron para estimar sus parámetros.

Validación independiente. Los datos usados para la validación del modelo no forman parte de los que se utilizaron para estimar sus parámetros.

En el Gráfico 1 se indican las proporciones halladas para cada una de las clases definidas.

GRÁFICO 1. Uso de validaciones.



En la mayoría de los casos (62 %) no se realizó validación alguna. Esto puede deberse a que es un proceso costoso y que consume mas tiempo que solo la construcción del modelo (Alder 1980).

El esfuerzo puesto en los procesos de validación de los modelos, de ninguna manera es superfluo. Así se pueden demostrar debilidades en el comportamiento de un modelo en particular, lo cual conducirá a mejorar la estructura o a la necesidad de recolectar mas datos de campo (Alder 1980). Por ello se entiende que es recomendable el uso de esta metodología.

4.8. INDICADORES DE CALIDAD DE AJUSTE DE LOS MODELOS

Se registraron los indicadores para: a) evaluar la calidad del ajuste alcanzado por los modelos, y b) para la validación de los modelos en aquellos casos en que ésta se realizara.

Estos indicadores fueron registrados con el nombre que utilizaron los autores, lo que implica que indicadores con nombres distintos pueden estar indicando la misma prueba. Se detectaron 23 indicadores, los que se encuentran detallados en el Cuadro 8:

CUADRO 8.- Indicadores de calidad del ajuste

INDICADORES	TOTAL DE TABLAS ⁴	
	%	Nº
Coefficiente de Determinación (R ²)	100	73
Prueba de F	67	49
Prueba t	30	22
ANARE (Análisis de Residuales)	37	27
ESE	30	22
Análisis de la Varianza	18	13
Error Estándar	13.5	10
Test de Durbin Watson	13.5	10
Coefficiente de variación de los residuos ⁵	13.5	10
Desviación estándar residual ⁵	12.5	9
Coefficiente de determinación del error ⁵	8	6
% Desviación estándar residual ⁵	7	5
Coefficiente de Regresión Parcial	7	5
Correlación por Rangos de Spearman	7	5
Desvíos	5.5	4
Error Normal	5.5	4
Error Absoluto	1.5	1
Error Medio Absoluto	1.5	1
Desvío estándar de residuales	1.5	1
Residuo Promedio	1.5	1
Desvíos Absolutos	1.5	1
Desvíos Promedios	1.5	1
Cuadrado Medio Residual	1.5	1

Se observa una gran cantidad de indicadores de calidad de ajuste de los modelos (ver Cuadro 8),. Los más utilizados fueron:

⁴ El total de tablas en por ciento y N° hace referencia a todas las que utilizaron algún tipo de indicador de calidad de ajuste del modelo. Quedan excluidos los métodos gráficos y los que no aclararon debidamente

⁵ Usados para pruebas de validación

- El Coeficiente de Determinación (R^2), que mostró valores entre 0,84 y 0,99.
- La prueba de F.
- El Análisis de Residuales (ANARE),
- La prueba de t de "Student",
- El Error Estándar de Estimación (ESE).

Puede verse que no hay unidad de criterios para establecer qué tipo de indicadores de calidad se deben tomar en cuenta tanto para la aceptación de un modelo, como para su validación.

Esto produce cierta confusión cuando se trata de interpretar dichos indicadores, por lo que se cree conveniente la discusión y la unificación de criterios.

4.9. EVOLUCIÓN DEL MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN DE TABLAS

La difusión de las ecuaciones de volumen en la Argentina en su concepción moderna es un hecho relativamente reciente, ya que se inicia a mediados de los años '80. Esto no significa que no se hayan construido tablas con modelos matemáticos antes de esa fecha, sino que, más bien, fue a partir de allí que se generalizó su uso. Hasta 1980 se habían construido 11 tablas de volumen.

Se pueden identificar cuatro etapas en la evolución de las Tablas de Volumen en la Argentina, conforme al método de construcción utilizado. Estas etapas pueden describirse de la siguiente forma:

ETAPA 1

En la Primera Etapa, las Tablas se construyeron mediante Métodos Gráficos. Esta metodología fue luego reemplazada por la de los modelos o ecuaciones de volumen, dando lugar a las tres etapas restantes, donde las diferencias aparecen especialmente en el mecanismo utilizado para la estimación del valor de los parámetros.

ETAPA 2

Se incorporan los Modelos de Regresión y el Método de Mínimos Cuadrados para estimar el valor de cada parámetro de cada modelo bajo ensayo.

ETAPA 3

Se mantiene el procedimiento de estimación de parámetros mediante el empleo del Método de Mínimos Cuadrados, pero con la incorporación de un Factor de Ponderación para la varianza del volumen. Es decir, se recurre al Método de Mínimos Cuadrados con Ponderación.

ETAPA 4

Aparece la estimación de valores de parámetros mediante Métodos No Lineales. Esta alternativa se difunde, en parte, por la difusión de la computadora personal (PC), hecho que permitió la aplicación de técnicas conocidas en teoría, pero en la práctica eran de muy difícil aplicación.

5. COMENTARIO FINAL

Se observa la necesidad de un mayor estudio, coordinación y unificación de criterios para la construcción de tablas de volumen, ya que no se percibe una metodología común en su construcción. Esta ausencia de uniformidad de criterios se ve expresada en forma desmedida en los indicadores de calidad utilizados.

Por otra parte sería importante la creación de una Base de Datos en el ámbito nacional, para lo cual sería necesario estandarizar la metodología de construcción. En esta Base de Datos se ubicarían todos los datos originales con las que fueron construidas las tablas de volumen del país. Ello permitiría incrementar permanentemente los datos para una misma especie y para distintas regiones. Para ello sería necesario la colaboración de las instituciones que puedan aportar información.

La búsqueda bibliográfica fue dificultosa. Tres fueron los orígenes de esas dificultades, a saber:

- La escasez de material de consulta existente en las bibliotecas visitadas.
- La total falta de respuesta a las consultas postales.
- La falta de presupuesto para organizar otro tipo de búsqueda.

En consecuencia, es de esperar que existan tablas de volumen de uso público a las cuales no se haya tenido acceso; no obstante, se considera que la muestra es representativa del estado actual de las Tablas de Volumen en la Argentina.

La Plata, 15 de diciembre de 1998

6. BIBLIOGRAFÍA

Alder D (1980). Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Predicción del rendimiento, Vol 22/2. FAO: Montes. 198 pp.

Andenmaten E, Rey M y Letourneau F (1995). Pino Ponderosa (*Pinus ponderosa*) (Dougl) Laws. Tabla de volumen estándar de aplicación en la Región Andina de Río Negro y Chubut. IV Jornadas Forestales Patagónicas. San Martín de los Andes. Actas: pag 226 - 271.

Arce J E, Bratovich R A, Wabo E y Marquina J (1996). Funciones locales de volumen de madera comercial para *Pinus ponderosa* Dougl. Ex Laws. en la precordillera de la Provincia del Neuquen, Argentina. Revista Facultad Agronomía, La Plata 101 (2) 159 – 167.

Armand L A, Robles C A y Del C Díaz J (1969). Tablas de cubicación para las especies de Quebracho Santiagueño (*Schinopsis Quebracho colorado*) y Quebracho Blanco (*Aspidosperma Quebracho Blanco*). I Congreso Forestal Argentino, 1969. Actas: pag 762 – 770.

Bunse G y Hennig A (1990). Tabla de volumen para *Pinus caribaea* var. *caribaea* en Corrientes. Jornadas sobre *Pinus caribaea*. CIEF. Eldorado, abril 1990. Actas: pag 164 – 173.

Caillez F (1980). Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Estimación del volumen, Vol 22/1. FAO: Montes. 92 pp.

Chauchard L M (1991). Familia de ecuaciones de volumen de Lengua (*Nothofagus pumilio* (Poepp. Et Endl.) Krasser). VI Jornadas Técnicas. Inventarios – Modelos de Producción y Crecimientos Forestales. Eldorado 9 – 12 de octubre. Actas: pag 26 - 39.

Chauchard L M, Rey M y Gonzalez Peñalba M. (1991). Funciones de volumen para Cipres de la Cordillera (*Astrocedrus chilensis* (Don) Flor. Et Boutl). VI Jornadas Técnicas. Inventarios – Modelos de Producción y Crecimientos Forestales. Eldorado 9 – 12 de octubre. Actas: pag 40 - 48.

Friedl R A, Muñoz D A y Morales A (1990). Tabla de volumen local para *Pinus caribaea* Mor *caribaea* en Puerto Esperanza, Misiones, Argentina. Jornadas sobre *Pinus caribaea*. CIEF. Eldorado, abril 1990. Actas: pag 174 - 183.

Friedl R A, et al. (1991). Construcción de tablas de volúmenes estándares para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. VI Jornadas Técnicas. Inventarios – Modelos de Producción y Crecimientos Forestales. Eldorado 9 – 12 de octubre. Actas: pag 57 - 68.

Glade J E y Friedl R A (1988). Ecuaciones de volumen para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en el norte de Entre Ríos. VI Congreso Forestal Argentino, Santiago del Estero 1988. Actas: pag: 416 - 420.

Husch B, Miller Ch, Beers T (1982). *Forest Mensuration*, 3a edición, 402 pp.

Mariot V y Gomez de Bolzon A M (1988). Tabla de volumen para uso comercial de Pinos Resinosos implantados en la provincia de Tucuman. VI Congreso Forestal Argentino, Santiago del Estero 1988. Actas: pag 438 - 443.

Mariot V y De Dio A (1982). Tabla local de volumen para *Araucaria angustifolia* en montes implantados de la Provincia de Misiones. Primeras Jornadas Técnicas sobre Bosques Implantados en el Noroeste Argentino. Actas: pag 316 - 328.

Mariot V y De Dio A (1982). Tabla local de volumen para *Pinus elliottii* en montes implantados de la Provincia de Misiones. Primeras Jornadas Técnicas sobre Bosques Implantados en el Noroeste Argentino. Actas: pag 181 – 194.

Marlats R M y Denegri G (1991). *Populus deltoides*: modelo matemático aplicado a la construcción de una tabla de volumen para el Delta Bonaerense. VI Jornadas Técnicas. Inventarios – Modelos de Producción y Crecimientos Forestales. Eldorado 9 – 12 de octubre. Actas: pag 49 – 56.

Martínez Pastur G, Fernández C, Peri P y Boyeras F (1993). Ecuaciones estándar de volumen total para Lengua (*Nothofagus pumilio*) de la margen sur del lago General Vintter y Cerro Colorado, (Provincia de Chubut), Argentina. *Revista Facultad Agronomía, UNLP*, 69 (1): 5-12.

Martinez Pastur G, Fernandez C, Boyeras F y Alloggia M (1995). Estimación de la producción de ñire en Tierra del Fuego: 2. Ecuaciones estándar de volumen. IV Jornadas Forestales Patagónicas. San Martín de los Andes. Actas: pag 145 - 150.

Martinez Pastur G, Fernandez C, Vukasovic R, Boyeras F y Alloggia, Mario (1995). Estimación de la producción de ñire en Tierra del Fuego: 1. Análisis de forma y ecuaciones de volumen para diferentes condiciones de sitio. IV Jornadas Forestales Patagónicas. San Martín de los Andes. Actas: pag 137- 144.

Martinez Pastur G, Fernandez C y Vukasovic R (1994). Ecuaciones locales de volumen para lenga en el sector del río Turbio, provincia de Tierra del Fuego. Informe técnico. Centro de Estudios Patagónicos – Programa de Recursos Vegetales (CADIC – CONICET). Ushuaia, Octubre 1994.

Mavrek V (1969). Tabla general de cubicación para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. K. I Congreso Forestal Argentino. Actas: pag 225 – 226.

Mavrx V (1969). Metodología para la construcción de tablas de cubicación. *Revista Ingeniería Forestal* año 1 N° 3 (IOVIF), pag 9 - 19.

Mutarelli N E, Orfila E J y Alonso C O (1968). Tabla local de cubicación para lenga (*Nothofagus pumilio*) en la zona del arroyo Llodconto, Cuenca del Lago Mascardi, provincia de Río Negro. *Revista Forestal Argentina T: 12 N°1* pag 22 – 31.

Orfila E N (1970). Tabla de cubicación para *Araucaria araucana* (Mol.) C. Koch, en la zona del lago Moquehue, Provincia de Neuquen, Argentina. Tomo XIV, N° 3.

Orfila E N (1987). Tabla local de cubicación para *Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl.) Krasser, en el margen sur del lago General Vintter, Provincia de Chubut, República Argentina. Revista Facultad Agronomía, UNLP, Tomo 63: 62 - 68.

Peri Pablo (1995). Ecuaciones estándar de volumen bruto y neto para Lengua (*Nothofagus pumilio*) del Valle del Río de las Vueltas, Provincia de Santa Cruz, Argentina. IV Jornadas Forestales Patagónicas. San Martín de los Andes. Actas: pag 194 - 202.

Peri Pablo, Pastur G M, Diaz B, Fucaraccio F (1997). Uso del índice de sitio para la construcción de ecuaciones estándar de volumen total de fuste para lenga (*Nothofagus pumilio*) en Patagonia Austral. II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Posadas, Misiones. Tomo Bosques Nativos y Protección Ambiental. Actas: pag 309 –316.

Rey M, Andenmaten E y Letourneau F (1995). Tarifa de volumen para Pino Oregon (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) en la Región Andina de las provincias de Río Negro y Chubut. IV Jornadas Forestales Patagónicas. San Martín de los Andes. Actas: pag 306 - 311.

Suarez E A y Volonté R G Tabla local de volumen para Sauce americano (*Salix babilónica* var *sacramenta*) en el Delta Bonaerense.

Tabla múltiple de volumen con corteza para 28 especies nativas del Bosque Misionero. Asociación de Plantadores Forestales de Misiones, El Dorado, Bol 7. (C.E.B.S.).

Trevin J O y Featherston S A (1983). Análisis dasométrico y recomendaciones de manejo para una plantación de Fresno americano (*Fraxinus americana*) en el Parque Pereyra Iraola, Provincia de Buenos Aires. V Congreso Forestal Argentino, La Pampa. Actas: pag 1.93 – 1.103.

Viola J y Kolln R F (1988). Tabla de volumen con corteza para *Araucaria angustifolia* en el norte de Misiones. VI Congreso Forestal Argentino, Santiago del Estero 1988. Actas: pag 316 – 319.

Volkart C M (1972). Tabla de volúmenes para *Araucaria angustifolia*. Centro de Estudios del Bosque Subtropical (CEBS).

Wabo E y Casajus P I (1983). Tabla de volumen maderable sin corteza correspondiente a *Nothofagus pumilio* (Lenga) con aplicación en el Territorio de Tierra del Fuego. V Congreso Forestal Argentino, La Pampa 1983. Actas: pag 2.5 – 2.10.

7. ANEXO

Información que debe presentar una Tabla de Volumen según Hush et al (1982):

- la especie o grupos de especies para las cuales es aplicable;
- el tipo de volumen predicho y unidades en que se expresa;
- las variables independientes utilizadas y sus unidades de medida;
- el nombre del autor,
- la fecha de elaboración;
- el número de árboles con que se construyó la tabla;
- la extensión o rango de cada variable independiente;
- la zona para la cual fue inicialmente desarrollada;
- el método para estimar el volumen de los árboles individuales,
- el método de construcción de la tabla,
- una medida apropiada de exactitud.

Otros modelos citados por la bibliografía y que no se encontraron en las tablas estudiadas son detallados en el cuadro 9:

Cuadro 9: Modelos citados por la bibliografía no utilizados por los autores registrados

Modelo	Clasificación matemática	Clasificación dasométrica
$V = a + b D HT$	Polinomial con variable combinada (grado 2)	Spurr
$V = a + b \ln (D^2 HT)$	Potencial con variable combinada	Spurr
$V = a + b D + c D^2 + d D^2 HT + e HT$	Polinomial con variable combinada (grado 2)	Stoate
$V = D^2 (a + b D HT)$	Polinomial con variable combinada (grado 3)	Ogaya
$V = D (a + b D HT)$	Polinomial con variable combinada (grado 2)	Ogaya modificado
$V = a D^2 + b D^2 HT + c D HT^2 + d HT^2$	Polinomial con variable combinada (grado 2)	Naslund
$V = a + b D + c D^2 + d D HT + e D^2 HT$	Polinomial con variable combinada (grado 2)	Meyer
$V = a + b D + c D^2 + d D^2 HT + e D HT^2 + f HT$	Polinomial con variable combinada (grado 2)	Meyer
$\ln V = a + b \ln D + c 1/D$	Logarítmico	Brenac

La Plata, 15 de diciembre de 1998.