

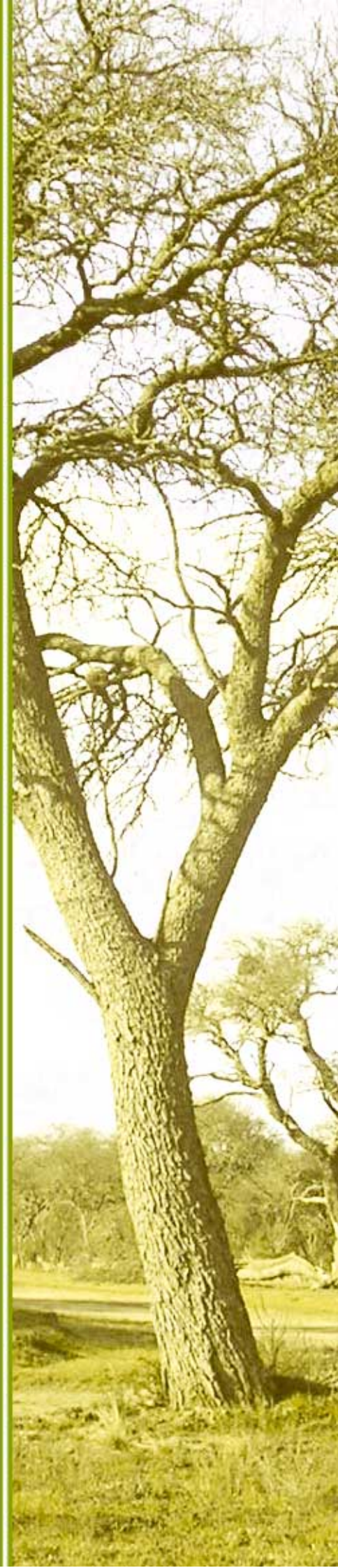
# Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos

Segunda etapa

Inventario de Campo de la Región del Espinal  
Distritos Caldén y Ñandubay

PROYECTO BOSQUES NATIVOS  
Y AREAS PROTEGIDAS  
BIRF 4085-AR  
1998 - 2001  
REPUBLICA ARGENTINA

MANUAL DE ANÁLISIS DE FUSTE  
SEGUNDA ETAPA



---

**PRIMER INVENTARIO NACIONAL DE BOSQUES NATIVOS**

**SEGUNDA ETAPA**

**INVENTARIO DE CAMPO DE LA REGIÓN ESPINAL**

**DISTRITOS CALDÉN Y ÑANDUBAY**

**Manual de Análisis de Fuste**

**Segunda Etapa**

**Modelo de Volumen para *Prosopis caldenia* (Burk.)  
en el Distrito del Caldén**

**Edición Enero 2007**

# **Autoridades Nacionales**

**Dr. Néstor Carlos Kirchner**

Presidente de la Nación Argentina

**Sr. Daniel Osvaldo Scioli**

Vicepresidente de la Nación Argentina

**Dr. Alberto Fernández**

Jefe de Gabinete de Ministros

**Dra. Romina Picolotti**

Secretario de Ambiente y Desarrollo Sustentable

**Sr. Miguel Enrique Pellerano**

Subsecretario de Planificación y Política Ambiental

# **Responsables Técnicos**

**Ing. Forestal Jorge Luis Menéndez**

Director de Bosques

**Ing. Forestal Sergio Mario La Rocca**

Coordinador Proyecto Bosques Nativos

y Áreas Protegidas BIRF 4085-AR

Componente Bosques Nativos

Secretario de Ambiente y Desarrollo Sustentable

## **Antecedentes**

El Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos se inició como uno de los objetivos principales del Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas BIRF 4085 AR, operación acordada por el Gobierno Nacional con el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), cuyo ejecutor es la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS) de la Nación.

El Ingeniero Forestal Carlos E. Merenson junto al actual Director de Bosques Ingeniero Forestal Jorge L. Menéndez tuvieron una destacada actuación en la gestión y formulación del Proyecto.

La Coordinación de la Componente Bosques Nativos estuvo inicialmente a cargo del Ingeniero Forestal Sergio M. La Rocca (1997-2000), continuando al frente el Ingeniero Agrónomo Enrique J. Schaljo (2000-2002) y retomándola nuevamente el Ingeniero Forestal Sergio M. La Rocca (2002-2005).

La contraparte técnica de la SAyDS es la Dirección de Bosques (DB), en una primera etapa bajo la conducción del Ingeniero Forestal Carlos E. Merenson (1997-1998) y, promovido éste a Director de la Dirección Nacional de Recursos Naturales y Conservación de la Biodiversidad (DNRNyCB), fue reemplazado por el actual Director de Bosques, Ingeniero Forestal Jorge L. Menéndez (1998-2005).

Personal de Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable que ha participado en el Proyecto:

*Dirección Nacional del Proyecto*  
Señor Miguel Enrique Pellerano

### **Dirección de Bosques**

*Responsabilidad de Contraparte*  
Ingeniero Forestal Jorge L. Menéndez

#### *Supervisión Técnica*

##### *Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal:*

Ingeniera Agrónoma Celina L. Montenegro

Geógrafa Mabel H. Strada

Ingeniero Forestal Eduardo Manghi

Ingeniero Forestal Marcelo Brouver

Ingeniero Forestal Facundo Bertolami

Licenciada en Cs. Biológicas María Gabriela Parmuchi

Licenciada en Cs. Biológicas Julieta Bono

Licenciada en Cs. Biológicas Mariana Stamati

*Apoyo Administrativo*  
Señorita Carla R. Rubietti  
Señorita Paula M. Rubietti

**Unidad Ejecutora del Componente A del Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas  
BIRF 4085-AR**

*Coordinación General*  
Ingeniero Forestal Sergio M. La Rocca

*Asistencia de Coordinación*  
Ingeniera Forestal Rosa Inés Heinrich

*Supervisión Técnica*  
Ingeniero Forestal Pablo Picchio  
Ingeniero Agrónomo Enrique Wabo

*Coordinación Administrativo Contable*  
Contador Público Nacional Marisa L. Rosano  
Señor Daniel A. Osorio  
Señorita Marcela E. Sayago  
Doctor Martín A. Sabbatella  
Doctora Mariana Tellechea

*Apoyo Administrativo*  
Señora Nélide M. Colman  
Señor Guillermo H. Rodríguez  
Señor Camilo Giovaninni

Para la ejecución del inventario de la región del Espinal, formaciones de Caldén y Ñandubay, la Fundación para el Desarrollo Forestal, Ambiental y del Ecoturismo Patagónico constituyó un equipo interdisciplinario de técnicos y profesionales. A continuación se presenta las personas que participaron directamente en la ejecución del proyecto:

*Coordinación General*

Doctor José Daniel Lencinas

*Área Teledetección*

Doctor José Daniel Lencinas (responsable)

Ingeniero Forestal Diego Mohr Bell

Ingeniera Forestal María Fernanda Ríos Campano

Ingeniera Forestal Sofía B. Havrylenko

Señorita Florencia Deccechis

Señor Mariano Gómez

Señorita Luciana Heitzmann

*Área Inventario*

Doctor Luis Chauchard (responsable)

Ingeniero Forestal Renato Sbrancia

Técnico Forestal Alberto Rabino

Ingeniero Forestal Jorge Giunchi

Ingeniera Forestal Cecilia Monte

Ingeniero Forestal Javier Mestres

Licenciada Andrea Medina

Licenciada Eugenia Estanga

Técnico Forestal Adriano Arach

Técnico Forestal Mauricio Mazzucchelli

Técnica Forestal Dolores Zapiola

Técnico Forestal Lucas Dupy

Técnico Forestal Luis Olmos

Técnico Forestal Matías del Río

Técnico Forestal Hugo Maya

Técnico Forestal Santiago Quiroga

Técnico Forestal Darío Galván

Ingeniero Agrónomo Nicolás Villa

Ingeniero Agrónomo Diego Heinze

Señor Mariano Catalán

*Área SIG y Cartografía*

Ingeniero Agrónomo Fernando Salvaré (responsable)

Ingeniera Forestal María Fernanda Ríos Campano

Ingeniera Forestal Sofía Beatriz Havrylenko

Señorita Florencia Deccechis

Señor Mariano Gomez

Señorita Luciana Heitzmann

Señor Gabriel Zacconi

*Área Base de Datos*

Ingeniero Facundo Baudino  
Ingeniero Mario Burdman

*Área Conservación*

Doctor Javier Grosfeld (responsable)  
Doctora Valeria Ojeda  
Ingeniera Agrónoma Cecilia Brion  
Profesora Gelina Pieszko  
Licenciado Diego Heinze  
Licenciada Eugenia Estanga  
Ingeniero Agrónomo Denis Rivero

*Análisis Multitemporal y Fragmentación*

Doctor Javier Puig (responsable)  
Señor Gabriel Zacconi

*Administración*

*Fundación para el Desarrollo Forestal Ambiental y Ecoturismo Patagónico*

Master en Ciencias Silvio Antequera  
Señorita Fabiana Contreras  
Master en Ciencias Miguel Davel (presidente actual de la Fundación)  
Master en Ciencias Alejandro Jovanovsky  
Master en Ciencias Rubén Manfredi (presidente de la Fundación, a la firma del contrato)  
Señorita Débora Villalobo

Además del equipo de trabajo presentado, en las diferentes etapas del trabajo se involucraron diferentes referentes locales, especialistas y funcionarios que permitieron la concreción del trabajo, cuyos nombres se explicitan de acuerdo a su participación en los documentos que se generaron en el marco del inventario.

## Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b> .....	1
<b>2. INFORMACIÓN REQUERIDA Y ANÁLISIS</b> .....	3
<b>3. UTILIZACIÓN DE LAS TABLAS DE VOLUMEN TOTAL</b> .....	7
<b>4. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	9
<b>APÉNDICE I. Tabla de Volumen Local</b> .....	11
<b>APÉNDICE II. Tabla de Volumen Estándar</b> .....	13
<b>APÉNDICE III. Construcción de las Tablas de Volumen Total</b> .....	15
<b>Introducción</b> .....	15
<b>Resultados</b> .....	16
<i>Modelo Local</i> .....	19
<i>Modelo Regional</i> .....	20
<b>Consideraciones</b> .....	23

---

## Figuras

<b>Figura 1:</b>	Árbol de la Clase de Forma 1. ....	3
<b>Figura 2:</b>	Árbol de la Clase de Forma 2. ....	4
<b>Figura 3:</b>	Árbol de la Clase de Forma 3. ....	4
<b>Figura III.1:</b>	Dispersión de las variables independientes área basal acumulada ( $g_a$ ) y altura total ( $h$ ) de los árboles muestra empleados. ....	17
<b>Figura III.2:</b>	Dispersión de los puntos obtenidos con las variables área basal acumulada ( $g_a$ ) y volumen acumulado del árbol ( $v_a$ ). ....	18
<b>Figura III.3:</b>	Dispersión de los puntos empleando la variable combinada $g_a \times h$ contra el volumen acumulado del árbol ( $v_a$ ). ....	18
<b>Figura III.4:</b>	Dispersión de los residuos estandarizados, obtenidos entre los volúmenes acumulados observados y estimados por la función 1. ....	19
<b>Figura III.5:</b>	Confrontación gráfica de valores de volúmenes acumulados observados y estimados por la función 1. ....	20
<b>Figura III.6:</b>	Dispersión de los residuos estandarizados entre los volúmenes acumulados observados y estimados por la función 3. ....	21
<b>Figura III .7:</b>	Confrontación gráfica de valores de volúmenes acumulados observados y estimados por la función 3. ....	22
<b>Figura III .8:</b>	Curvas de volúmenes totales estimados por la función 3. ....	23

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En el marco del Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos se está llevando a cabo el Inventario del Distrito del Caldén, Provincia Fitogeográfica del Espinal (Cabrera y Willink, 1980). Una de las variables de salida importantes es el volumen por hectárea y a la fecha no se han registrado antecedentes sobre tablas o funciones de volumen de la especie caldén (*Prosopis caldenia*) que es característica del distrito.

En el distrito crecen varias especies del género *Prosopis*, identificándose *Prosopis caldenia*, *P. flexuosa*, *P. alba* y *P. nigra*. Las mismas se caracterizan por poseer fustes tortuosos y en la mayoría de los casos muy ramificados. Por ello una de las primeras actividades que se realizaron fue definir la tipología general de estas especies, de manera de poder estudiar las relaciones entre distintas variables dimensionales y el volumen contenido.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar dos tablas de volumen total para caldén, una a partir de una función local y otra a partir de una estándar. La tabla construida a partir de una función local emplea una sola variable independiente para la estimación del volumen, mientras que de una función estándar emplea dos variables, siendo una de ellas la altura del árbol. Las funciones estándar se las llama también funciones regionales, dado que, al emplear la variable altura, permitiría captar posibles variaciones entre las variables dimensionales y el volumen de los árboles de diferentes localidades, dentro de una región. El volumen total se consideró hasta una punta delgada de 5 centímetros con corteza.

En relación al volumen maderable o utilizable como sólido en *Prosopis spp.*, la propia conformación hace que su estimación se realice por un cálculo a partir de mediciones directas en el árbol. La porción mayormente utilizable de las especies es el pie o fuste principal del árbol, de manera que el cálculo individual del volumen maderable sale a partir de la medición del tamaño de dicho fuste.

La generación de esta información es de suma importancia para la caracterización de los caldenales, cuyos volúmenes han sido estimados en valores medios que van de los 20 a los 80 m<sup>3</sup>/ha, pudiendo alcanzar los montes cerrados hasta los 200 m<sup>3</sup>/ha (Lassalle, 1966). Según Poduje y Lell (1976) los volúmenes en el caldenal son muy variable según la bondad del suelo

y el estado del monte, aunque consideraron como cifra estimativa media los  $50\text{m}^3/\text{ha}$ , distribuidos aproximadamente entre unos 300 árboles por hectárea. Lasalle (1957) señala para los bosques vírgenes de caldén un volumen promedio de entre 80 y  $100\text{ m}^3/\text{ha}$ , apuntando que, en aquella época, los mismos eran prácticamente inexistentes. Además expresa, que los bosques con algún tipo de aprovechamiento presentaban volúmenes de entre 50 y  $80\text{ m}^3/\text{ha}$ , pero que el 50 % tienen menos de  $50\text{ m}^3/\text{ha}$  y un menor porcentaje, menos de  $20\text{ m}^3/\text{ha}$ .

## 2. INFORMACIÓN REQUERIDA Y ANÁLISIS

Se procesó y analizó la información de 62 ejemplares de caldén, cubcados por el Ingeniero Forestal Jorge Giunchi, en las localidades de Caleufú, Toay, Rancúl y Conhello de la provincia de La Pampa. Los ejemplares fueron clasificados, para su posterior procesamiento y armado de la base de datos para los ajustes, de la siguiente manera:

- ✓ **Arbol clase 1:** árbol que se bifurca por encima de 1,30 metros. Se midió su diámetro a la altura del pecho (*DAP*) (Figura 1).
- ✓ **Arbol clase 2:** árbol que se bifurca por debajo de 1,30 metros. A estos ejemplares se le midió el *DAP* a cada fuste y se tomó una medida de diámetro adicional, a la mitad de la altura de la bifurcación, siempre que se bifurque por encima de los 0,30 metros de altura (Figura 2).
- ✓ **Arbol clase 3:** árbol con bifurcaciones múltiples por debajo de 1,30 metros. Se midieron los *DAP* de cada fuste (Figura 3).

Esta clasificación ha facilitado el estudio del comportamiento del volumen total con algunas variables dimensionales no tradicionales para la construcción de tablas individuales de volumen.



**Figura 1:** Árbol de la Clase de Forma 1: se bifurca por encima de 1,30 metros.



**Figura 2:** Árbol de la Clase de Forma 2: posee dos o más pies surgidos de una única bifurcación por debajo de 1,30 metros de altura.



**Figura 3:** Árbol de la Clase de Forma 3: posee bifurcaciones múltiples por debajo de los 1,30 m desde el suelo.

Los 62 árboles finalmente resultaron en 90 fustes, de los cuales 47 pertenecían a árboles de la Clase de Forma 1, 10 a árboles de la Clase de Forma 2 y 33 a árboles de la Clase de Forma 3. Debe considerarse que, de acuerdo a la tipología adoptada, dos o más fustes pueden pertenecer al mismo pie, pero pueden considerarse individualmente para el análisis, dada la bifurcación por debajo de la altura normal de medición del diámetro.

La selección de dichos individuos, se basó en la representatividad de la masa circundante respecto de los tamaños, la accesibilidad y disponibilidad de espacio para realizar las mediciones y los diferentes tamaños encontrados (Giunchi, com. pers.).

A cada ejemplar se le midió el diámetro a la altura del pecho (*DAP*), la altura total (*h*) y en secciones de 1 metro, el diámetro inicial y el diámetro final con corteza hasta alcanzar una punta fina de cinco centímetros. Únicamente se midieron ramas vivas. Se tomó una sola altura para todo el árbol para cualquier tipo de forma. Para la cubicación de cada sección se empleó la fórmula de Smalian (Prodan *et al.*, 1997) y por sumatoria se obtuvo el volumen total con corteza del árbol, en metros cúbicos.

En cuanto al volumen maderable, el cálculo se realiza en cada árbol de la UM a partir de las mediciones a campo. Los árboles que tienen posibilidades de producir volumen maderable son los de de clase de forma 1 y 2. Para la determinación del volumen se considera el largo del fuste, sin considerar el posible tocón, y el diámetro a la mitad del largo de dicho fuste, luego el volumen maderable con corteza se calcula con la fórmula de Huber.

**Fórmula de Huber:**  $Volumen [m^3] = \text{Área o Sección } [m^2] * \text{Largo del Fuste } [m]$

Dado que, los árboles de clase de forma 1 difícilmente alcancen un fuste de 3 metros, se considera para el cálculo de la sección, el *DAP* del árbol.

Finalmente, las tablas se construyeron para el árbol entero, tenga o no bifurcaciones. Ello, además de respetar las clases o tipologías de forma de estos bosques, ha facilitado el procesamiento y análisis de los árboles.

Para resolver el problema de las formas relativamente complejas del caldén para la estimación del volumen total del árbol, se ha empleado la variable área basal acumulada como predictora o independiente. La misma consiste en la suma de todas las secciones transversales a 1,30 m, de todos los fustes que conforman el árbol, a excepción de la clase de forma 1, que posee un solo fuste.

El modelo resultante para la construcción de la tabla de volumen total local es el siguiente:

$$v_a [m^3] = 5,07902 * g_a [m^2]$$

Donde:

$v_a$ : volumen total del árbol, expresado en metros cúbicos con corteza, considerando todos los fustes, según tipología.

$g_a$ : área basal acumulada de todos los fustes del árbol, según tipología. Expresada en metros cuadrados.

El modelo resultante para la construcción de la tabla de volumen total estándar, incluye la variable independiente altura total del árbol y es el siguiente:

$$v_a [m^3] = 2,89421 g_a - 6,30698 g_a^{1,5} + 0,588971 g_a [m^2] h [m]$$

Donde:

$h$ : altura total del árbol, expresada en metros.

### 3. UTILIZACIÓN DE LAS TABLAS DE VOLUMEN TOTAL

Una de las variables de entrada, para la utilización de las tablas de volumen total, es diferente a la empleada usualmente; la misma es el área basal acumulada de todos los fustes del árbol, a diferencia de la tradicional variable DAP.

Para el caso de los árboles de clase de forma 1, emplear el DAP o su área basal correspondiente como entrada de las tablas, es indiferente (Apéndice II y Apéndice III - Tabla III.1). Para los árboles de clase de formas 2 y 3, se deben primero calcular las secciones o áreas transversales de cada fuste, sumarlas y luego entrar con ella a la tabla de volumen, para la estimación del volumen total.

Las tablas estiman a partir del DAP mínimo inventariable de 10 cm, hasta un equivalente al DAP de 70 cm, considerando lo expresado en el párrafo anterior. En cuanto a las alturas totales, se debe emplear la altura máxima del árbol. Para árboles con un DAP mínimo de 10 cm, el rango de alturas va aproximadamente entre los 4 y 10 metros (Apéndice III - Tabla III.1).

Esta función sería apta para cualquier especie de *Prosopis*, principales especies de la región fitogeográfica Espinal. Además, como el rango de aplicación de las funciones se inicia desde tamaños muy pequeños, se empleará para cubicar el resto de las especies acompañantes. Es válido resaltar que estas especies acompañantes raramente alcanzan tamaños con diámetros de 15 a 20 cm.

Para el procesamiento del inventario, se ha preparado el compilador para que presente las salidas de las dos funciones de volumen total. En ello, se ha notado que la función local tiende a dar estimaciones del volumen por hectárea más altas que la función estándar. Por lo tanto, puesto que se trata de un inventario regional que abarca una gran extensión y que involucra a varias especies, se acordó emplear para las estimaciones finales las salidas de la función estándar, debido a que ella permitirá captar mejor las variaciones locales en las relaciones entre las variables dimensionales medias de estos bosques.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

**Cabrera, A. L., Willink, A.** 1980. Biogeografía de América Latina. Secretaría general de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Washington, D. C.

**Lassalle, J. C.** 1957. Política forestal y métodos de aprovechamiento con relación al bosque pampeano de caldén. Ingeniería Agronómica, pág. 5- 15.

**Lassalle, J. C.** 1966. Informaciones descriptivas de los “Caldenales” (*Prosopis caldenia*). Revista Forestal Argentina, Tomo X, n° 4.

**Pece M., Gaillard de Benítez C., Galíndez M., Ríos N.** 2002. Tabla de volumen de doble entrada para álamos en la zona de riego de Santiago del Estero, Argentina. Quebracho 9: 95-104.

**Poduje, L y Lell, J. D.** 1976. Visión de La Pampa. Dirección Provincial de Bosques. Segunda Edición.

**Prodan M., Peters R., Cox F., Real P.** 1997. Mensura Forestal. IICA/GTZ. Costa Rica. 469p.

## APÉNDICE I

### TABLA DE VOLUMEN LOCAL

TABLA DE VOLUMEN DEL ÁRBOL DE CALDÉN ( $v_a$ ) EN FUNCIÓN DEL ÁREA BASAL ACUMULADA EN METROS CUADRADOS ( $g_a$ ). EL DAP ES UNA REFERENCIA AL TAMAÑO DEL ÁRBOL, PERO CONSIDERANDO QUE EN ESTE CASO EL ÁREA BASAL CORRESPONDIENTE PUEDE PERTENECER A UN ÁRBOL DE TAL DIÁMETRO, O A DOS O MÁS FUSTES DE MENORES DIÁMETROS.

<b>DAP [cm]</b>	<b><math>g_a</math> [m<sup>2</sup>]</b>	<b><math>v_a</math> [m<sup>3</sup>]</b>
10	0.008	0.041
12	0.011	0.059
14	0.015	0.080
16	0.020	0.105
18	0.025	0.133
20	0.031	0.164
22	0.038	0.198
24	0.045	0.236
26	0.053	0.277
28	0.062	0.321
30	0.071	0.368
32	0.080	0.419
34	0.091	0.473
36	0.102	0.530
38	0.113	0.591
40	0.126	0.655
42	0.139	0.722
44	0.152	0.792
46	0.166	0.866
48	0.181	0.943
50	0.196	1.023
52	0.212	1.106
54	0.229	1.193
56	0.246	1.283
58	0.264	1.376
60	0.283	1.473
62	0.302	1.573
64	0.322	1.676
66	0.342	1.782
68	0.363	1.892
70	0.385	2.005

## **APÉNDICE II**

### **TABLA DE VOLUMEN ESTÁNDAR**

TABLA DE VOLUMEN DEL ÁRBOL DE CALDÉN (m<sup>3</sup>) EN FUNCIÓN DEL ÁREA BASAL ACUMULADA EN METROS CUADRADOS (g<sub>a</sub>) Y LA ALTURA TOTAL EN METROS (h), DEL MISMO. EL DAP ES UNA REFERENCIA AL TAMAÑO DEL ÁRBOL, PERO CONSIDERANDO QUE EN ESTE CASO EL ÁREA BASAL CORRESPONDIENTE PUEDE PERTENECER A UN ÁRBOL DE TAL DIÁMETRO, O A DOS O MÁS FUSTES DE MENORES DIÁMETROS. LAS CELDAS COLOREADAS SE CORRESPONDEN CON LA ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN LOCAL DE VOLUMEN (FUNCIÓN 1).

DAP [cm]	g <sub>a</sub> [m <sup>2</sup> ]	ALTURAS TOTALES [m]												
		4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
10	0.008	0.037	0.039	0.041	0.044	0.046								
12	0.011	0.052	0.055	0.058	0.062	0.065	0.068							
14	0.015	0.069	0.073	0.078	0.082	0.087	0.091							
16	0.020	0.088	0.093	0.099	0.105	0.111	0.117	0.123						
18	0.025	0.108	0.115	0.123	0.130	0.138	0.145	0.153	0.160					
20	0.031	0.130	0.139	0.148	0.158	0.167	0.176	0.185	0.195	0.204				
22	0.038		0.164	0.175	0.186	0.198	0.209	0.220	0.231	0.242				
24	0.045		0.190	0.203	0.217	0.230	0.243	0.257	0.270	0.283	0.297			
26	0.053			0.233	0.248	0.264	0.280	0.295	0.311	0.327	0.342			
28	0.062				0.281	0.299	0.318	0.336	0.354	0.372	0.390	0.408		
30	0.071					0.336	0.357	0.377	0.398	0.419	0.440	0.461		
32	0.080					0.373	0.397	0.420	0.444	0.468	0.492	0.515		
34	0.091					0.411	0.438	0.465	0.491	0.518	0.545	0.571		
36	0.102					0.449	0.479	0.509	0.539	0.569	0.599	0.629	0.659	
38	0.113						0.522	0.555	0.588	0.622	0.655	0.689	0.722	
40	0.126						0.564	0.601	0.638	0.675	0.712	0.749	0.786	0.823
42	0.139							0.647	0.688	0.729	0.769	0.810	0.851	0.892
44	0.152								0.738	0.783	0.827	0.872	0.917	0.962
46	0.166								0.788	0.837	0.886	0.935	0.984	1.033
48	0.181								0.838	0.891	0.944	0.997	1.051	1.104
50	0.196								0.887	0.945	1.003	1.060	1.118	1.176
52	0.212								0.935	0.998	1.061	1.123	1.186	1.248
54	0.229								0.983	1.051	1.118	1.186	1.253	1.320
56	0.246								1.030	1.102	1.175	1.247	1.320	1.393
58	0.264								1.075	1.153	1.231	1.309	1.386	1.464
60	0.283								1.119	1.202	1.286	1.369	1.452	1.535
62	0.302								1.161	1.250	1.339	1.428	1.517	1.606
64	0.322								1.201	1.296	1.391	1.486	1.580	1.675
66	0.342								1.239	1.340	1.441	1.542	1.642	1.743
68	0.363								1.275	1.382	1.489	1.596	1.703	1.810
70	0.385								1.308	1.421	1.535	1.648	1.761	1.875

## APÉNDICE III

### CONSTRUCCIÓN DE LAS TABLAS DE VOLUMEN

#### Introducción

En primer lugar, se hizo una comprobación del comportamiento de algunas variables dimensionales predictoras con el volumen total, para luego establecer los modelos a ensayar. Se ensayaron modelos de simple y doble entrada, constituyendo las siguientes las variables predictoras:

- Área basal individual ( $g$ ): sección correspondiente al *DAP* de cada fuste, en metros cuadrados ( $m^2$ ).
- Área basal acumulada ( $g_a$ ): suma de las secciones al *DAP* de todos los fustes que componen el árbol, en metros cuadrados ( $m^2$ ).
- Altura total ( $h$ ): altura máxima del árbol, en metros (m).

Tipos de modelos lineales ensayados:

Modelos lineales simples:  $y = f(x)$        $y = \beta_0 + \beta_1 x$

Modelos lineales múltiples:  $y = f(x_1, x_2)$      $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_3 x_2 + \beta_4 x_1 x_2 + \dots$

En función de ello se trabajó sobre dos líneas, la primera en relacionar cada área basal individual ( $g$ ) con el volumen que contenía el árbol o fuste correspondiente ( $v$ ), mientras que la segunda fue explorar la relación entre el área basal acumulada del árbol ( $g_a$ ), contra el volumen acumulado del árbol ( $v_a$ ). En ambos casos, el volumen se expresó en metros cúbicos con corteza. Para la primera relación, se tuvo que repartir proporcionalmente para todos los fustes bifurcados, el volumen común que tienen por debajo de la bifurcación.

Los modelos ensayados fueron ajustados por regresión lineal simple y múltiple. Dentro de los últimos se ensayaron polinomios y modelos ajustados por regresión paso a paso hacia adelante. Para este último se emplearon diferentes combinaciones entre las variables  $g$  y  $h$ , y  $g_a$  y  $h$ , según el caso. Se probaron modelos con las variables predictoras ingresadas en forma independiente y en forma combinada, en ambos casos con y sin transformaciones.

Los ajustes fueron evaluados por el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error estándar de la estimación ( $EEE$ ) y el Análisis de Residuales ( $ANARE$ ). Los coeficientes fueron probados con la prueba  $t$  de Student para comprobar su significancia en el modelo. En los casos que se detectaron, a través del análisis gráfico, heterocedasticidad en la distribución de los residuos, se hizo correr la función empleando la ponderación con una de las variables independientes.

La calidad predictiva de las funciones también se evaluó a través de análisis gráficos y cuantitativos, confrontando los valores de volúmenes observados y los estimados. Ambas variables se volcaron en un gráfico con ejes simétricos, en el cual estaba trazada una diagonal a partir del origen; dicha línea diagonal representaría la relación perfecta entre las dos variables. El análisis consistió en:

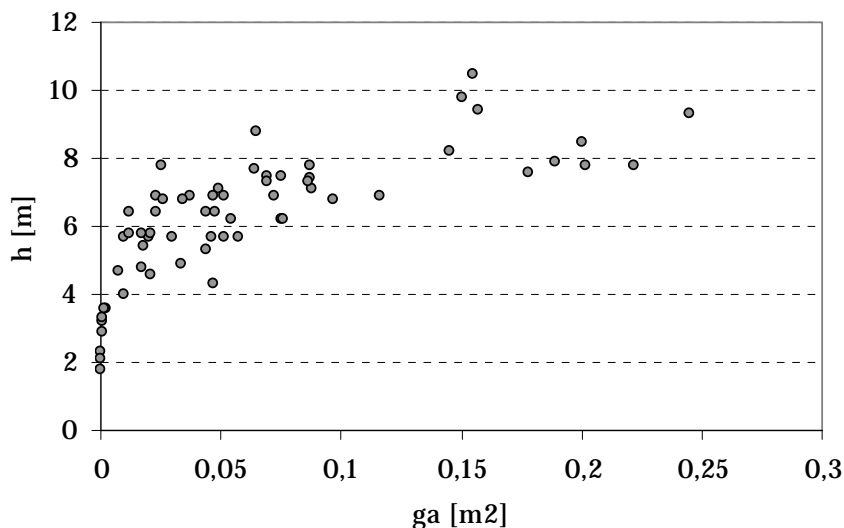
- a) Observar la estrechez de la dispersión de la nube de datos respecto a dicha diagonal.
- b) Observar si existe alguna tendencia no deseada en la distribución de los residuos respecto de la diagonal.

Este análisis gráfico se complementó con uno cuantitativo, que consistió en ajustar a dichos pares de datos la ecuación de la recta por regresión lineal simple. Dicho ajuste permitió cuantificar el grado de correlación entre el volumen estimado y observado, por intermedio del coeficiente de correlación lineal ( $r$ ) y  $R^2$ . La calidad predictiva general, se pudo evaluar por intermedio del valor del intercepto y el de la pendiente de la relación.

Para este último análisis se puede enunciar, en términos generales, que cuanto más se superponga la recta ajustada con la diagonal del gráfico, mejor calidad predictiva tendrá el modelo, completándose la evaluación al observar que no existe alguna tendencia anormal de la nube de puntos.

## **Resultados**

La estrecha dispersión observada entre  $g_a$  y  $v_a$ , sumado a los buenos ajustes obtenidos entre ellas, hizo desistir de probar los modelos empleando  $g$  y  $v$ , dada la relativa complicación que tendría una función así, para realizar la estimación del volumen del árbol (Figura III.1).

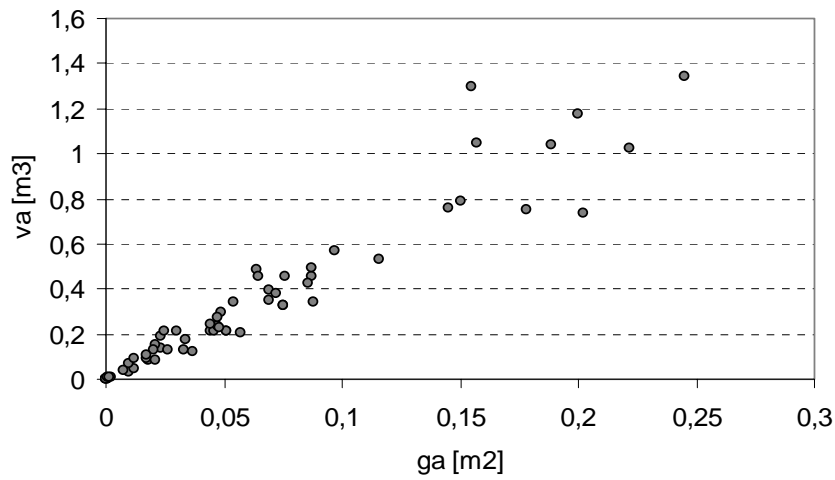


**Figura III.1:** Dispersión de las variables independientes: área basal acumulada ( $g_a$ ) y altura total ( $h$ ) de los árboles muestra empleados.

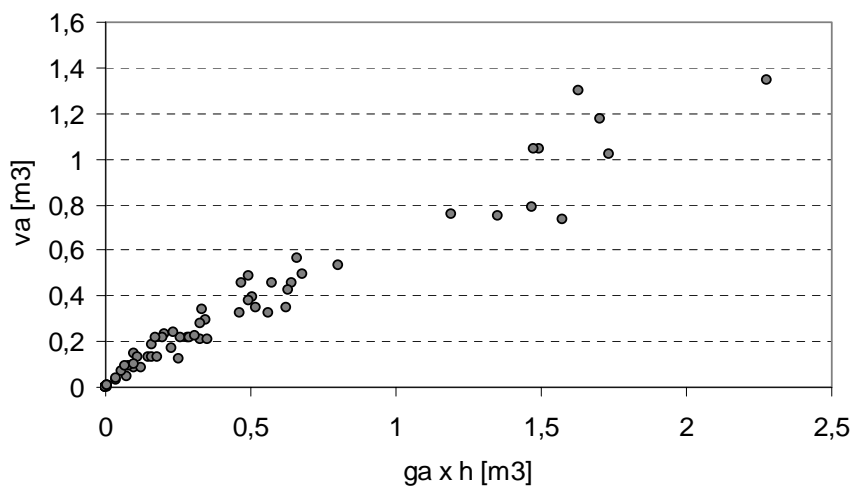
**Tabla III.1:** Rango de las variables empleadas para desarrollar las funciones.

	DAP (cm)	Altura Total (m)	Área Basal Acumulada ( $m^2$ )	Volumen Acumulado ( $m^3$ )
Máximo	74,8	9,8	0,4390	1,343
Mínimo	1,4	1,8	0,0002	0,001
Promedio	21,7	6,6	0,0680	0,336

La relación entre las variables  $g_a$  y  $v_a$  es casi lineal (Figura III.2), lo mismo que la relación estándar entre el producto de  $g_a \cdot h$  y el volumen del árbol, si bien puede observarse una pequeña curvatura en la tendencia en la zona inicial (Figura III.3).



**Figura III.2:** Dispersión de los puntos obtenidos con las variables área basal acumulada ( $g_a$ ) y volumen acumulado del árbol ( $v_a$ ).



**Figura III.3:** Dispersión de los puntos empleando la variable combinada  $g_a \times h$  contra el volumen acumulado del árbol ( $v_a$ ).

La agrupación de los datos para su procesamiento según la tipología determinó que finalmente cada pie constituyó un árbol muestra, de manera que el tamaño muestral se redujo a 62, de los cuales 47 correspondieron a árboles del Tipo 1, 5 del Tipo 2 y 10 del Tipo 3.

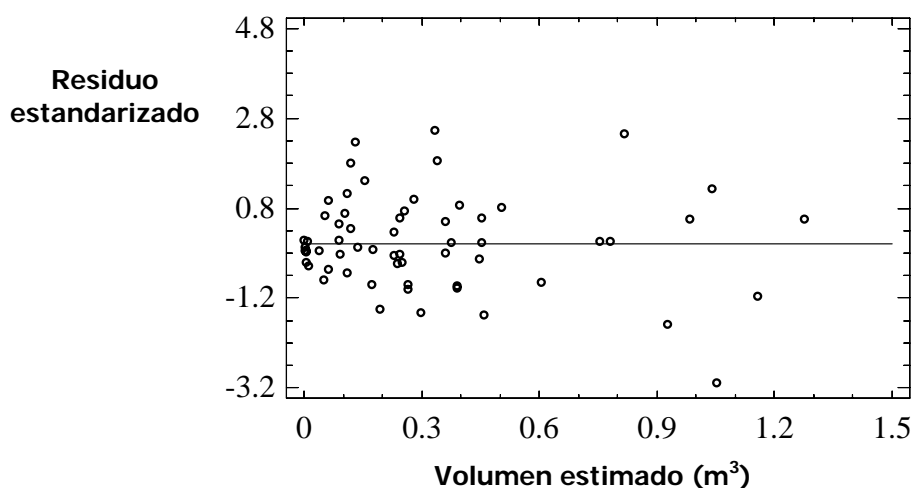
### Modelo Local

El modelo final es lineal condicionado, debido a que el intercepto del modelo resultó no significativamente diferente de cero. Ello lo transforma en un modelo proporcional entre las variables área basal acumulada y volumen acumulado.

Los residuales mostraron una cierta heterocedasticidad por lo que el ajuste se realizó ponderando por la inversa de la variable predictora.

$$\begin{aligned}v_a [m^3] &= 5,20903 g_a [m^2] \\ R^2 &= 0,965 \\ EEE &= 0,076 m^3\end{aligned}\tag{1}$$

Los estadísticos obtenidos con el ajuste de la función 1 son satisfactorios, con un  $R^2$  que indica una explicación por la función mayor al 96 %, aunque con un  $EEE$  de 0,076 que representa aproximadamente un 20 % de variación media de los estimados. El comportamiento gráfico de las estimaciones es bueno, no mostrando ninguna tendencia o sesgo en todo el rango de estudio (Figura III.5). Los residuos ponderados muestran una dispersión normal, salvo una pequeña estrechez en los volúmenes pequeños (Figura III.4).

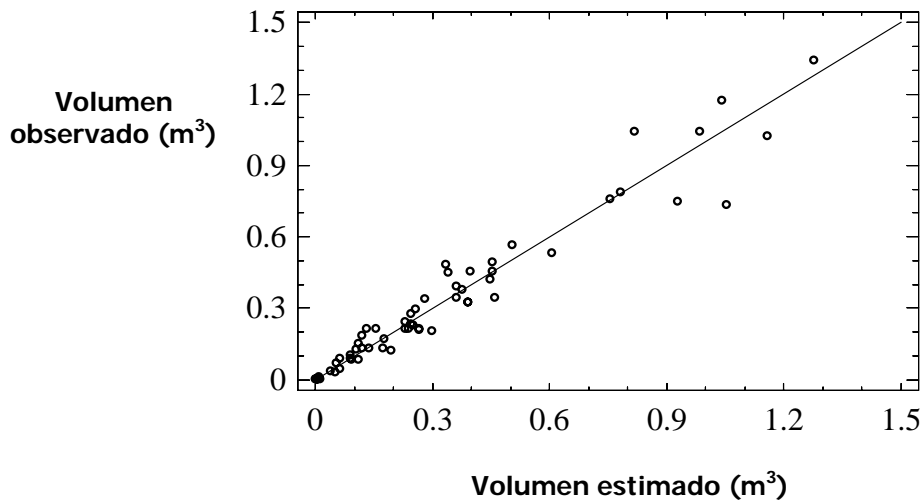


**Figura III.4:** Dispersión de los residuos estandarizados, obtenidos entre los volúmenes con corteza acumulados observados y estimados por la función 1, ambos expresados en metros cúbicos.

Ajustando con regresión la función de la recta empleando los valores de volúmenes observados y estimados se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,97 y un  $R^2$  de 0,94. La función obtenida es la siguiente:

$$v_a \text{ observado } [m^3] = 0,0102 + 0,9684 v_a \text{ estimado } [m^3] \quad (2)$$

La ordenada al origen de la función 2 adoptó un valor mínimo muy cercano a cero, y la prueba de  $t$  determinó que no es significativamente diferente de cero ( $p < 0,01$ ), mientras que la pendiente de la relación se aproxima al valor de uno, demostrando un buen grado de explicación por parte del modelo de la variación del volumen.



**Figura III.5:** Confrontación gráfica de valores de volúmenes acumulados observados y estimados por la función 1, respecto de la diagonal que indica la relación perfecta entre las variables.

### ***Modelo Regional***

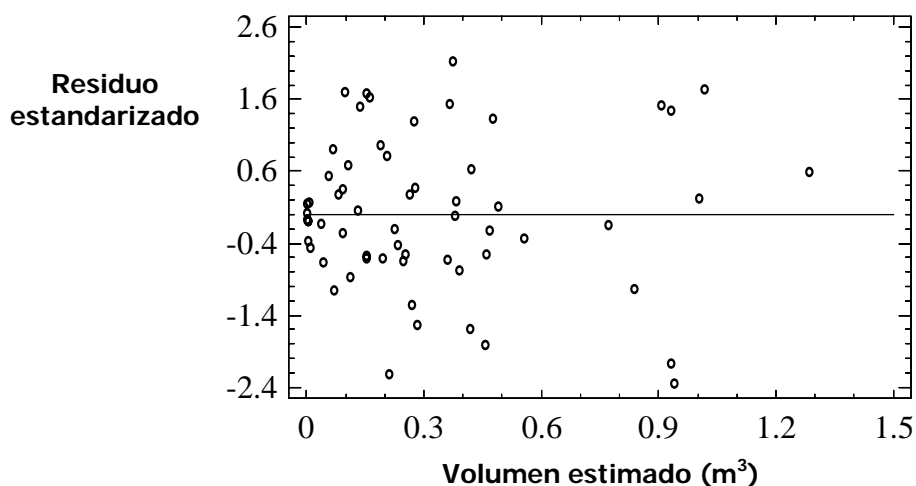
El modelo escogido es lineal múltiple, cuyas variables fueron seleccionadas a través de la regresión paso a paso hacia adelante, de entre 15 combinaciones. Estas combinaciones incluyeron transformaciones a través de exponentes de distintos orden, raíces cuadradas, cocientes o razones, productos e inversas. También resultó condicionado, debido a la falta de significancia del intercepto. También fue ponderado por la inversa del área basal acumulada para corregir cierta heterogeneidad de la varianza.

$$v_a [m^3] = 2,89421 g_a - 6,30698 g_a^{1,5} + 0,588971 g_a [m^2] h [m] \quad (3)$$

$$R^2 = 0,973$$

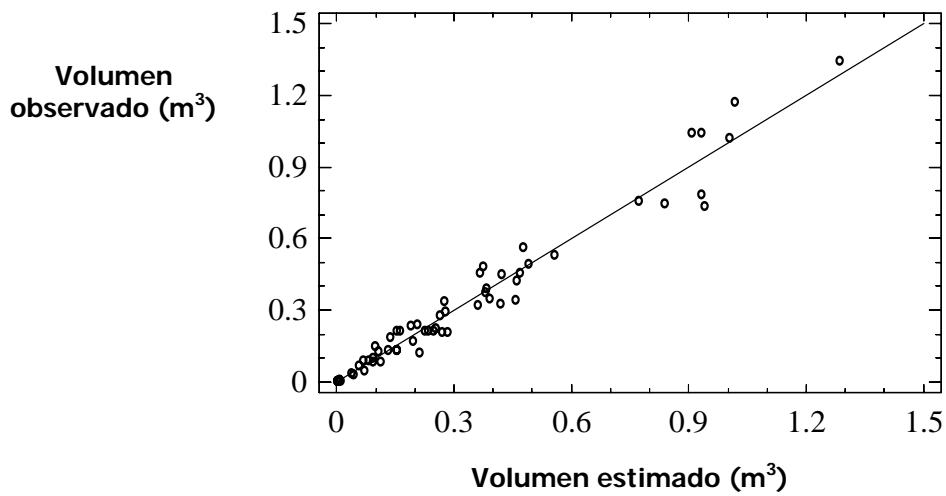
$$EEE = 0,062 \text{ m}^3$$

El modelo estándar presentó una leve mejora en la precisión de la estimación del volumen total alcanzando un  $R^2$  de 0,973 y un  $EEE$  significativamente menor que el modelo local de  $0,0624 \text{ m}^3$ , el cual representa una variación media de aproximadamente el 18 %. Desde el punto de vista gráfico se puede observar que la incorporación de la variable altura total mejora la capacidad predictiva del modelo (Figura III.7). A pesar de ello en el proceso de selección de las variables a incorporar en el modelo se tuvo que adoptar un valor de  $F$  relativamente bajo, pues sino eran descartadas todas las combinatorias que poseían la variable altura total.



**Figura III.6:** Dispersión de los residuos estandarizados entre los volúmenes con corteza acumulados observados y estimados por la función 3, ambas variables expresadas en metros cúbicos.

Los residuos presentan una buena distribución a lo largo del rango de volúmenes estimados en el estudio, no superando en ningún caso el valor estandarizado crítico de tres, como para ser considerarlo dato aberrante (Figura III.6).



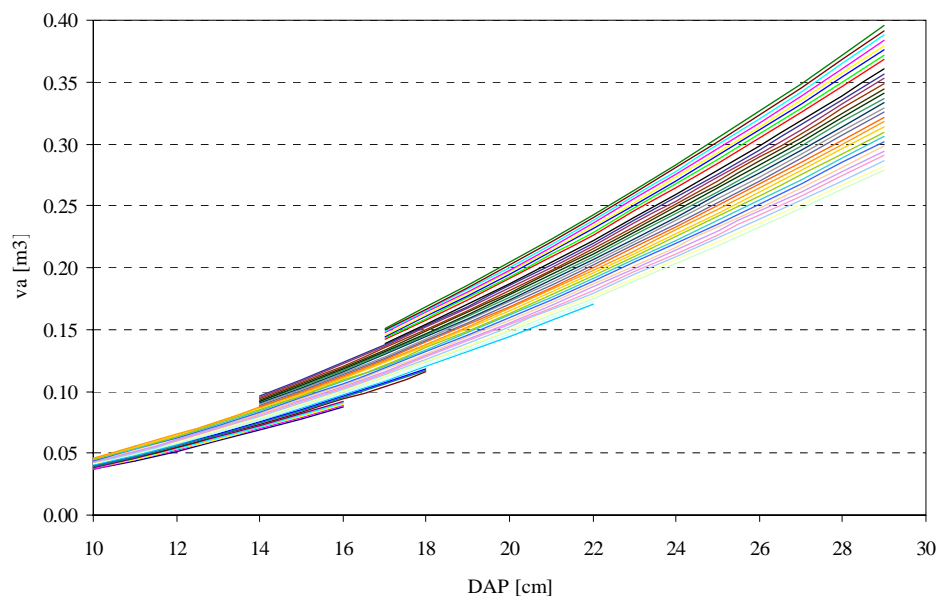
**Figura III.7:** Confrontación gráfica de valores de volúmenes acumulados observados y estimados por la función 3, respecto de la diagonal que indica la relación perfecta.

La relación entre los volúmenes observados y estimados por la función 3 es la siguiente:

$$v_a \text{ observado } [m^3] = -0,0014 + 1,0044 v_a \text{ estimado } [m^3] \quad (4)$$

La prueba de *t* es no significativa para el intercepto ( $p < 0,01$ ), pudiéndose observar que el valor alcanzado de 0,0014 alcanzado es ínfimo (Función 4). Por otro lado, la pendiente de la función 4 es sensiblemente cercana a 1 con un  $R^2$  de 0,961, señalando la buena capacidad predictiva.

El modelo regional fue cuidadosamente examinado para controlar posible cruce de las curvas particulares dentro del rango de los datos de las variables independientes (Pece *et al.*, 2002). En la figura III.8 se muestran las salidas dentro de un rango de estudio, para valores crecientes de diámetros a un centímetro y de alturas a 0,10 metros. En ella se puede observar que no se producen cruces entre las curvas, mostrando que, a mayor  $g_a$  y/o  $h$ , mayor  $v_a$  estimado.



**Figura III.8:** Curvas de volúmenes totales estimados por la función 3, dentro del rango de estudios, partiendo de un DAP de 10 cm y hasta 29 cm, creciente cada un centímetro y con saltos de alturas de 10 cm.

### Consideraciones

Ambos modelos han mostrado buenas aptitudes para predecir el volumen total de los árboles de caldén. La utilización de la altura total mejora levemente las estimaciones, pero debe tenerse en cuenta que se ha empleado la máxima altura alcanzada por el árbol que puede tener múltiples fustes. De todas maneras, el rango de alturas detectado va desde aproximadamente los 2 hasta los 10 metros, valores que no inducirían a errores groseros en su medición.

El comportamiento del área basal con el volumen determina una estrecha relación, de tal manera que no influye si tal área basal proviene de un pie o de la suma de las secciones transversales de dos o más pies.

En función del buen comportamiento estadístico de ambas funciones (1 y 3), en el Apéndice II se presentan las salidas de la función 3 para el rango de diámetros y alturas estudiados y se ha coloreado las celdas que aproximan la estimación de la función 1 (Apéndice I). Para tener un mejor punto de referencia se han realizado las estimaciones para DAP crecientes de un centímetro. Se puede notar, que para diámetros mayores a 55 cm, las estimaciones de la

función 1 se aproximan a los valores estimados por la función estándar para las alturas máximas del rango de estudio. De manera que si se tuvieran bosques con diámetros medios mayores a 55 cm y con alturas medias próximas al límite inferior del rango (7 a 8 metros), se podrían encontrar diferencias superiores al 20 % en las estimaciones de las existencias.

Tal situación puede significar, en un estudio regional como el que se está realizando, que en estructuras maduras de caldén se aprecien diferencias entre las salidas de ambas funciones. Estas diferencias estarán regidas por las alturas totales que posean dichas estructuras. Como contrapartida, la medición de la altura ingresa a la estimación de los volúmenes, una fuente de variación y error. El atenuante a ello es que, para las magnitudes de alturas que posee el tipo forestal estudiado, los errores que se cometan no deberían ser de significativo valor, de manera que si, además, no estamos en presencia de un sesgo, el carácter regional del inventario haría recomendable obtener los parámetros de existencias a través de las salidas de la función estándar.



**Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas  
BIRF 4085-AR**

Dirección de Bosques  
Subsecretaría de Planificación y Política Ambiental  
Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación  
Jefatura de Gabinete de Ministros  
[www.ambiente.gov.ar](http://www.ambiente.gov.ar)