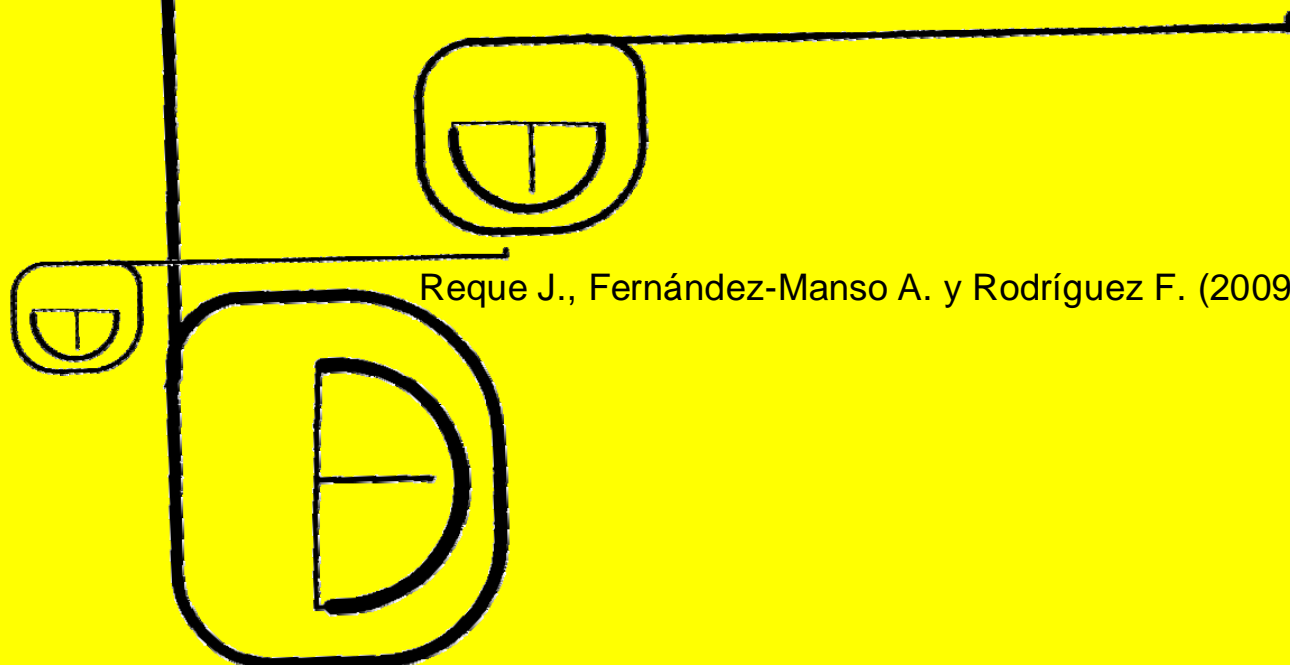


Medición práctica de árboles y masas forestales

DendroFlexómetro®: dendrómetro económico de libre utilización y autoconstrucción para la medición de árboles y masas forestales

Comunicación al [5º Congreso Forestal Español](http://www.congresoforestal.es/) (2009)
(<http://www.congresoforestal.es/>)



Reque J., Fernández-Manso A. y Rodríguez F. (2009)

<http://www.cesefor.com/dendroflexometro/>

DendroFlexómetro©: dendrómetro económico de libre utilización y autoconstrucción para la medición de árboles y masas forestales

J.A. REQUE KILCHENMANN¹, A. FERNÁNDEZ MANSO², F. RODRÍGUEZ³

¹ Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia.

² Universidad de León. Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria de Ponferrada

³ Fundación Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León. Departamento de I+D+i

Resumen

El DendroFlexómetro© es un instrumento que sirve para medir las principales variables dimensionales de un árbol y de una masa forestal. Sus principales ventajas se basan en que combina en un único instrumento (un flexómetro convencional) distintas técnicas clásicas de medición forestal (muestreo angular, stick de Biltmore, regla de Christen, etc.), posibilita que las mediciones la pueda realizar un único operario y es económico (el precio de una cinta métrica autoenrollable). Este instrumento ha sido desarrollado por REQUE y FERNÁNDEZ-MANSO (2003) siguiendo el ideario de desarrollar un dendrómetro económico de libre utilización y construcción por parte del usuario que permite la realización de medidas forestales con un nivel de precisión suficiente para satisfacer las necesidades mínimas del silvicultor. La explotación comercial del DendroFlexómetro© está protegida por patente de la Universidad de Valladolid (número P-200100767). Toda la documentación asociada al instrumento, así como las plantillas para poderlo construir libremente a partir de un flexómetro convencional, se encuentra en la página web de Cesefor (<http://www.cesefor.com/dendroflexometro>). En este trabajo se presenta el DendroFlexómetro©, su construcción y un análisis de prestaciones en la medición de las principales variables forestal (diámetro normal, altura total, área basimétrica y volumen) en comparación con otros instrumentos de medición forestal.

Palabras clave

dendrómetro, flexómetro, diámetro, altura, área basimétrica, volumen.

1. Antecedentes

Un dendrómetro (del griego *dendron*, árbol, y *metron*, medida) es un aparato con el que se pueden realizar diversas mediciones a nivel de árbol o de rodal. También se clasifican como dendrómetros (y no son objeto de este trabajo) los instrumentos desarrollados para realizar un seguimiento continuado del crecimiento individual (comúnmente perimetral) del árbol.

El primer dendrómetro del que los autores de este artículo tienen constancia es el de GROSSBAUER (1864). Combinando sobre una plaqueta de madera -a modo de plancheta dendrométrica (MACKAY, 1964)- una escuadra y un dióptrico móvil montado sobre una escala y medidor de ángulos (a través de una plomada), el dendrómetro permite mediante principios geométricos básicos la medición de alturas, diámetros a diferentes alturas, pendientes, distancias y pequeñas superficies. Con el desarrollo de la teoría del muestreo angular surge en 1955 el probablemente más famoso dendrómetro: el relascopio de Bitterlich (<http://www.relaskop.at/en/>), el cual permite mediante elementos ópticos y mecánicos, entre otros, la medición del área basimétrica, alturas, distancias, diámetros a diferentes alturas, pendientes, etc. La medición del área basimétrica de forma angular supuso una aportación



53 trascendente en la inventariación forestal que explica que el aparato siga produciéndose hoy
54 en día en su versión original.

55
56 Desde finales del siglo XX existen en el mercado caros dendrómetros electrónicos,
57 (ópticos, ultrasónicos y laser) que incluyen similares prestaciones a las del relascopio
58 mejorando la precisión de las mediciones y facilitando enormemente la transcripción digital de
59 los resultados.

60
61 Frente a los costosos dendrómetros electrónicos u ópticos están los dendrómetros
62 geométricos, generalmente ingeniosos aparatos que combinan reglas graduadas para permitir
63 la medición de alturas o diámetros conforme a fundamentos geométricos, como por ejemplo,
64 el dendrómetro de GROSSBAUER (op. cit.). El más famoso dendrómetro de este tipo es el de
65 Kramer (KRAMER y AKÇA, 1995). El ingenio consiste en una simple plancha metálica que
66 muestra grabadas una serie de reglas para la medición de alturas y unas aperturas, a modo de
67 bandas de ancho conocido, para la medición del área basimétrica y del valor de secciones
68 volumétricas del fuste. En España destaca el original dendrómetro de ESPINEL (1995).
69 Presenta el autor un método sencillo para calcular el volumen en pie en masas regulares
70 mediante los principios del muestreo angular, utilizando una simple barra hueca metálica en
71 cuyo fondo se fija una cinta métrica sobre la que puede deslizarse y fijar una mirilla.

72
73 Una de las principales ventajas que presentan los dendrómetros basados en principios
74 geométricos es su sencillez de uso y bajo precio. Por el contrario, su precisión de muestreo es
75 lógicamente menor que la de cualquier aparato con elementos ópticos y/o electrónicos. No
76 son muchos los trabajos que comparen la precisión dendrómetros geométricos frente a
77 dendrómetros ópticos, mecánicos o electrónicos. Interesante en este aspecto es la
78 confrontación de errores en la medición de alturas de MACKAY (1965) en su clásica
79 “Dasometría”. Frente a la medición directa de la altura del árbol (mediante escalada o apeo),
80 el autor presenta errores entre el 2,5 al 8% con el uso de reglas hipsométricas basadas en
81 principios geométricos. Otro de los elementos comunes en los dendrómetros (p. ej.
82 Relascopio y Kramer) son bandas de BAF (Basal Área Factor). La precisión de la medición
83 del área basimétrica de forma directa (como suma de secciones unitarias) frente a la
84 evaluación a través del BAF ha sido también objeto de análisis comparativo. Se concluye en
85 los diferentes estudios que la precisión de los resultados depende fuertemente del BAF
86 utilizado y de la espesura del arbolado, obteniéndose con una correcta elección del BAF,
87 errores menores del 5% con respecto al área basimétrica realmente existente (FOUNTAIN *et*
88 *al.*, 1983; BRACK, 1998).

90 2. Objetivos

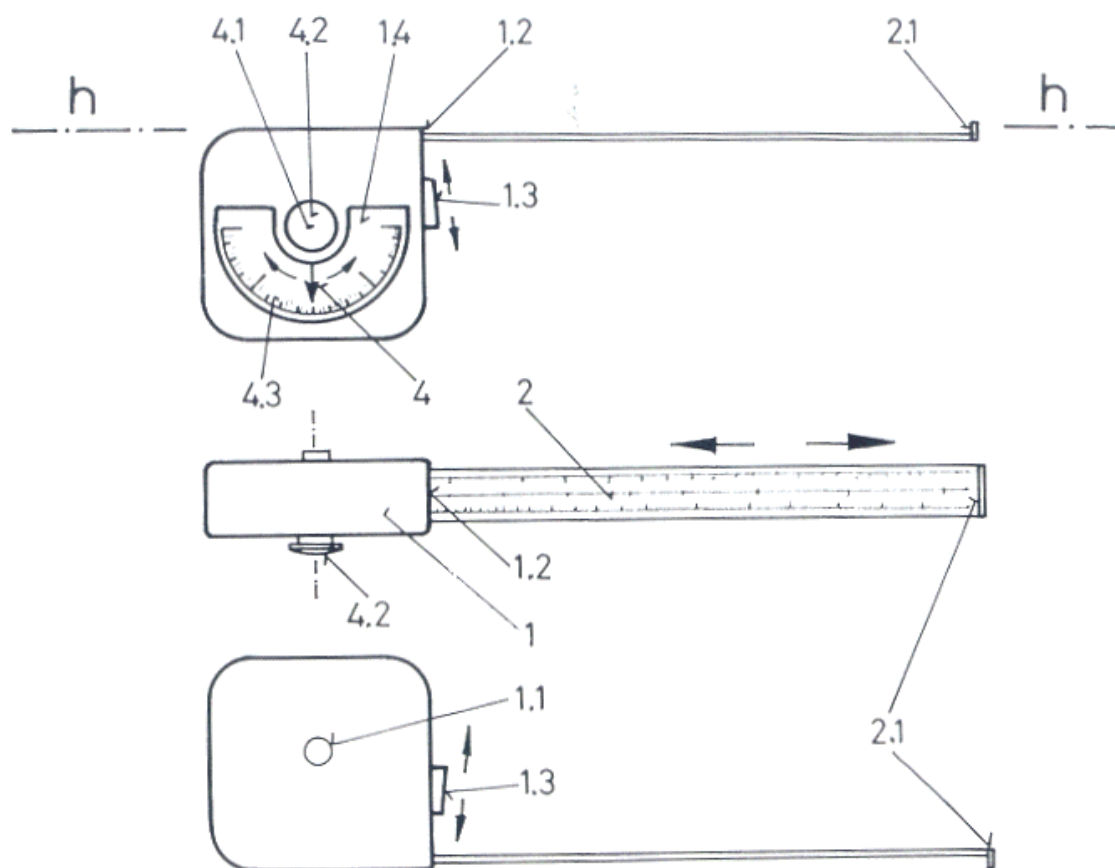
91
92 El objeto principal de este trabajo es presentar un dendrómetro geométrico sencillo y
93 de fácil construcción por el usuario. Como objetivos complementarios se cita: a) valorar sus
94 posibilidades de aplicación en la selvicultura, b) confrontar sus prestaciones con las de otros
95 dendrómetros, y c) presentar los elementos necesarios para poder construir uno mismo el
96 dendrómetro.

98 3. Descripción técnica de un DendroFlexómetro©

99
100 En la Figura 1 se presenta la planta y los dos perfiles del DendroFlexómetro© con la
101 cinta flexible a la que más adelante se hará referencia.

102

103 El aparato consiste en una cinta métrica autoenrollable a la que se le incorporan una
 104 serie de elementos de medición (escalas, reglas y señales) para su uso en inventariación
 105 forestal. Como la mayoría de cintas métricas metálicas (flexómetros) comerciales, se
 106 compone de una carcasa (1) con forma similar a la de un paralelepípedo, que tiene un eje (1.1)
 107 normal a sus caras mayores y una abertura (1.2) en una de sus caras menores. En su interior se
 108 aloja una cinta métrica flexible (2) enrollada en espiral sobre el eje (1.1) al que su extremo
 109 interior está unido. La cinta puede ser extraída a través de la abertura (1.2) tirando de su
 110 extremo exterior libre, con lo que se desenrolla, a voluntad, parcial o totalmente. Un resorte
 111 espiral antagonista aplicado sobre el eje (1.1) hace que al soltar el extremo libre de la cinta, el
 112 trozo desenrollado de esta vuelva a introducirse en la carcasa de forma automática, sin que
 113 pueda hacerlo totalmente por impedírsele el talón (2.1) situado en dicho extremo a tal efecto.
 114 Actuando sobre un freno (1.3) se puede retener fuera de ella la porción extraída que
 115 convenga. La disposición general de los mecanismos descritos es la normalmente adoptada
 116 por las cintas métricas metálicas flexibles autoenrollables comerciales, presentando la sección
 117 de la cinta propiamente dicha una ligera curvatura transversal que le da una rigidez que le
 118 permite permanecer erecta una cierta longitud.



119 *Figura 1. Principales elementos del diseño del DendroFlexómetro©*

123 4. Elementos de medición forestal

124 El principio operativo del instrumento se basa en que la cinta flexible (2) y carcasa (1)
 125 presentan impresas distintas escalas, reglas graduadas y señales (fácilmente diferenciables por
 126 el color, por la forma de sus trazos o por cualquier otro medio efectivo) que posibilitan la
 127 medición de las magnitudes dasométricas y dendrométricas de interés.
 128

129

130 **4.1. Haz de la cinta** - Sobre el haz de la cinta se sitúan las siguientes escalas graduadas:

131

132 **Escala 1.** Graduada en centímetros y milímetros, es una escala métrica convencional
133 que permite medir directamente el perímetro del tronco de árbol, ajustándolo alrededor del
134 tronco gracias a la flexibilidad de la cinta. Con ella puede hacerse cualquier otra medición de
135 longitud; por ejemplo, la necesaria para determinar la altura normal del tronco, que se
136 considera situada a 1,30 m de la base del mismo.

137 **Escala 2.** Permite obtener directamente, en función del perímetro, el diámetro medio y
138 el área de una determinada sección del tronco a la altura elegida.

139 **Escala 3.** Permite medir el diámetro del tronco a la altura normal o a cualquier otra, sin
140 necesidad de ajustar la cinta alrededor del tronco, por aplicación del llamado principio óptico
141 de Biltmore, desarrollado y promovido por el forestal norteamericano Carl Schenck
142 (PRODAN, 1997).

143 **Escala 4.** Permite aplicar el principio estadístico de conteo angular de BITTERLICH
144 (1947) para determinación del área basimétrica, que es la suma de las secciones normales de
145 todos los árboles que componen una masa forestal determinada, expresada en m²/ha. La
146 escala ha sido graduada para constantes 1, 2 y 4. La utilización conjunta de la escala de
147 medición de ángulos con la escala de corrección de pendiente (escala 8) (secantes del ángulo
148 de inclinación) permite corregir el error debido a la inclinación del terreno.

149

150 **4.2. Envés de la cinta** - En el envés de la cinta aparecen las escalas graduadas necesarias para
151 la medición de la altura de los árboles con distintas técnicas y precisiones:

152

153 **Escala 5.** Escala graduada para medición de alturas de árboles utilizando una mira o
154 marca de referencia de dos metros según la metodología propuesta por Christen (HUSCH,
155 2002).

156 **Escala 6.** Escala graduada para medición de alturas de árboles según Christen
157 utilizando una marca (pértiga ficticia) de referencia de diez metros (PARDÉ y BOUCHON,
158 1994).

159 **Escala 7.** Escala que permite localizar sobre el árbol una señal equivalente a 1/10 de su
160 altura. Esta escala está basada en los principios de la regla hipsométrica Workampff-Laué
161 (DIÉGUEZ *et al.*, 2003).

162

163 El criterio aplicado para la situación de las escalas en el haz o en el envés de la cinta ha
164 sido el de conseguir la mayor comodidad durante las operaciones de medición y cálculo.

165

166 **4.3. Carcasa**

167

168 **Escala 8.** Mide el ángulo de inclinación del terreno expresado en grados centesimales o
169 porcentajes de pendiente permitiendo, por tanto, realizar cualquier tipo de cálculo basado en
170 principios trigonométricos. En una de las caras mayores de la carcasa (1) se abre una ventana
171 sensiblemente semicircular (1.4) protegida por una lámina transparente a través de la cuál se
172 ve una saeta pendular (4) montada sobre un eje de oscilación (4.1), paralelo al de
173 enrollamiento de la cinta. La saeta permanecerá bloqueada sobre su eje mediante un embrague
174 a fricción siempre que el pulsador (4.2) de mando del mismo se encuentre en reposo; por el
175 contrario, cuando se aprieta el pulsador (4.2) que actúa sobre el embrague, la saeta queda
176 desbloqueada de su eje pudiendo entonces oscilar libremente, recorriendo su extremo
177 flechado una escala (4.3) graduada angularmente en grados centesimales o porcentajes de
178 pendiente. Esta escala también es visible a través de la lámina transparente de la ventana (1.4)



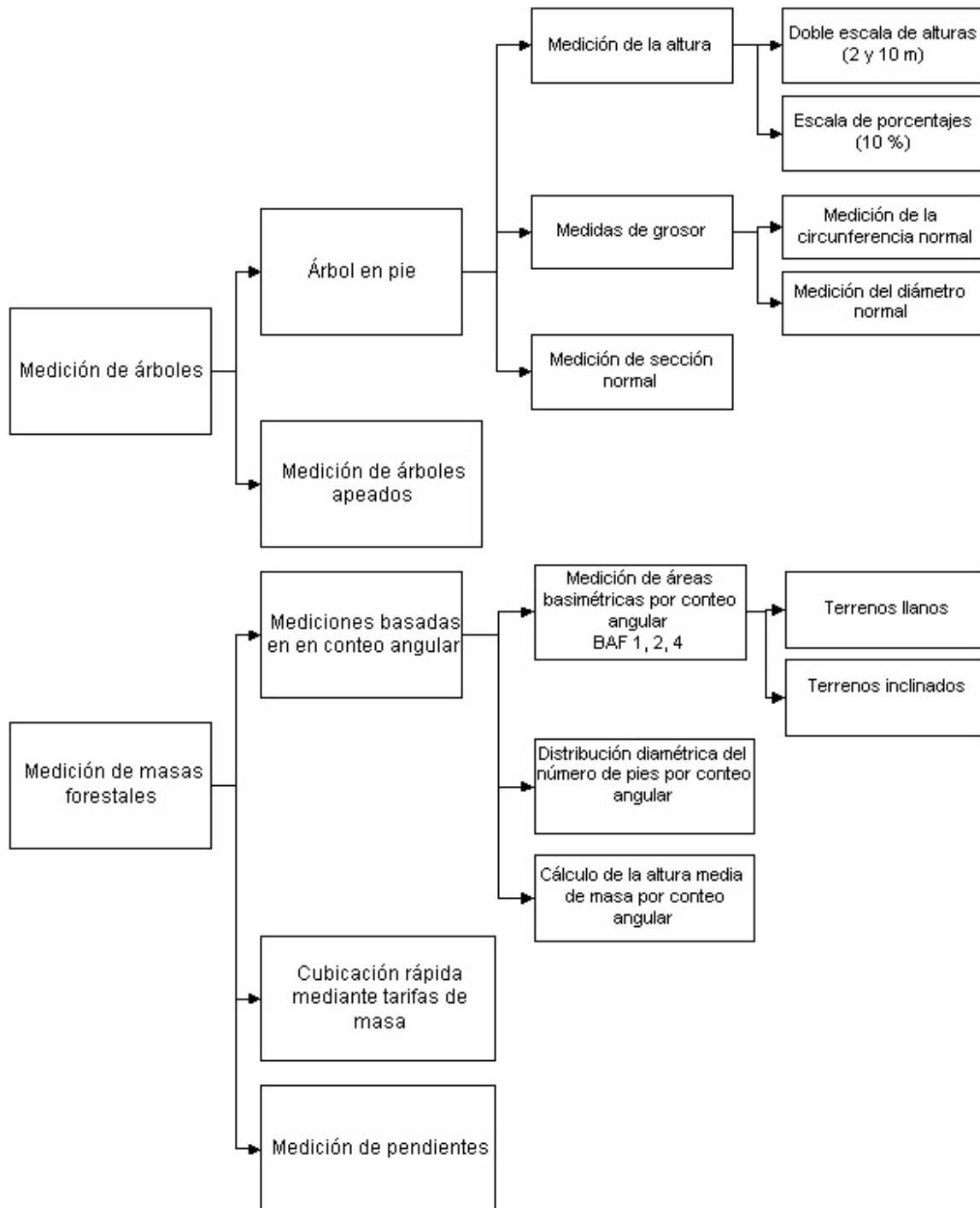
179 y, por lo tanto, puede leerse en ella el valor indicado por la saeta. Mediante este mecanismo se
 180 pueden manejar y leer cómodamente las medidas angulares que, en cada posición, presenten
 181 la alineación determinada por h-h y la horizontal (Figura 1.).

182

183 5. Medir con un DendroFlexómetro©

184

185 En la figura 2 se esquematizan las principales mediciones y aplicaciones del
 186 DendroFlexómetro© en la medición de árboles y masas forestales. El esquema puede servir
 187 para elegir el tipo de medición. Inicialmente se describen once procedimientos.
 188



189

190

191

Figura 2. Esquema de mediciones generales con dendroflexómetro

192
 193 Como se puede comprobar, el DendroFlexómetro© puede considerarse como un
 194 dendrómetro en el sentido de que puede medir desde las variables transversales y
 195 longitudinales básicas del árbol individual hasta las principales variables de masa: densidad,
 196 área basimétrica, altura media y dominante. Es de destacar la medición del área basimétrica
 197 como se puede observar en la Figura 3. Ésta sería el área basimétrica real, ya que el
 198 instrumento permite medir la pendiente y realizar las oportunas correcciones trigonométricas.
 199 La página web <http://www.cesefor.com/dendroflexometro> presenta una más detallada
 200 descripción de la utilización del aparato.
 201



202
 203 *Figura 3. Medición de área basimétrica con DendroFlexómetro©*
 204

205 6. Comparación del DendroFlexómetro© con otros aparatos forestales

206
 207 En este apartado se expone la comparación de los aparatos más utilizados en inventariación
 208 forestal, basándose, por una parte, en la variable a medir, y, por otra, en los cuatro factores
 209 siguientes: precio, precisión, compacidad y robustez, y rapidez de medición (adaptado de
 210 BRACK y WOOD, 1998, BARRIO et al. 2002). Los resultados se presentan en la Tabla 1, en
 211 la que se asigna a cada prestación una valoración de 1 a 10.
 212
 213

Tabla 1. Clasificación de los aparatos forestales de uso más frecuente

Variable	Aparato	Precio	Precisión	Compacidad	Rapidez de medición
Diámetro	Criterion RD1000	6	8	5	6
	Lem 300-Geo	3	6	2	6
	Forcípula Tradicional	8	10	8	7
	Forcípula electrónica	5	10	8	9
	DendroFlexómetro©	10	9	10	8
Altura	Blume Leiss	8	4	5	5
	Criterion RD1000	6	8	5	8
	Forest Pro	5	8	6	8
	Haga	8	4	5	5
	Lem 300-Geo	3	6	2	8
	LHP-1	6	8	7	8

	Relascopio	6	4	7	4
	Suunto	8	4	8	3
	Vertex III	6	8	8	7
	DendroFlexómetro©	10	4	8	5
Área basimétrica	Criterion RD1000	6	7	5	8
	Relascopio	6	7	7	8
	Kramer	9	6	10	8
	DendroFlexómetro©	10	6	10	8

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

Como se desprende de la Tabla 1, el DendroFlexómetro© es bastante más económico y compacto que el resto de aparatos forestales, sin que eso merme ni su precisión ni su velocidad de medición.

7. Desarrollo y construcción del DendroFlexómetro©

El desarrollo inicial del DendroFlexómetro© fue como herramienta docente en Selvicultura, con la que se buscaba que todos los estudiantes pudieran realizar todas las mediciones necesarias para el desarrollo de las prácticas de monte. La experiencia venía demostrando que, ante la escasez de aparatos de medición, únicamente se podía distribuir un instrumento (hipsómetro, relascopio, forcípula, etc.) por grupo de 4 alumnos. Esta asignación de material llevaba a que no todos los alumnos realizaran las mediciones con la misma dedicación e interés ya que es muy común en cualquier práctica que siempre haya un alumno más aventajado en el manejo del instrumental, que es el que al final acaba utilizándolo quedando el resto relegado.

Por otro lado, se valoró que para unas prácticas de Selvicultura tampoco era trascendente alcanzar los niveles de precisión que permiten los modernos hipsómetros. ¿Era necesario alcanzar errores del 2% en la medición de alturas para hacer un plan de claras, o era válido un error de medio metro en un bajo fustal? Esta reflexión nos llevó a consultar trabajos forestales basados en principios básicos de geometría y trigonometría; olvidados incunables en la era del laser y el ultrasonido. Y así llegamos hasta el dendrómetro de GROSSBAUER (1864) que acoplado a un bastón excursionista daba errores del 5% en la medición de altura. ¡Había que hacer algo parecido!

Siguiendo con el planteamiento de diseñar un aparato que pudiera ser utilizado por todos los alumnos, buscamos la manera de integrar todas las mediciones en un solo aparato, y acabamos desarrollando un dendrómetro “hágaselo usted mismo”, lo cual además presentaba la ventaja de que obligaba al estudiante a dominar el principio geométrico que iba a aplicar. Y al utilizar una cinta métrica medíamos con el mismo aparato el perímetro del árbol sin necesidad de forcípulas.

El ámbito de aplicación del DendroFlexómetro© entendemos que supera al docente y cubre con sencillez las necesidades del selvicultor en aquellos escenarios de gestión en los que la obtención de gran precisión en las mediciones no sea un requisito, o en casos en los que por falta de recursos económicos no se pueda disponer de instrumental de medición preciso.

La construcción del DendroFlexómetro© es sencilla y puede ser hecho por uno mismo, pegando sobre una sencilla cinta métrica comercial las distintas escalas (realizadas p.ej. sobre papel milimetrado). El péndulo para la medición de pendientes puede consistir en una simple



256 aguja de reloj despertador o en un sencillo cordel de nylon con plomada de pesca con caña.
 257 Guiados por el ideario de contribuir a la libre difusión de conocimientos e innovaciones, las
 258 diferentes reglas y escalas graduadas pueden también ser descargadas directamente en el
 259 portal de CESEFOR (<http://www.cesefor.com/dendroflexometro>).
 260

261 8. Bibliografía

262
 263 BARRIO, M.; DIÉGUEZ, U.; CASTEDO, F.; ÁLVAREZ, M.F.; 2002. Nuevos aparatos para
 264 las mediciones forestales. *Revista Montes* 70:46-54
 265

266 BITTERLICH, W.; 1947. The angle count method. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 58: 94
 267 - 96.
 268

269 BRACK, C.; 1989. Forest Measurement and Modelling. *Descarga libre* en: [http://sres-](http://sres-associated.anu.edu.au/mensuration/)
 270 [associated.anu.edu.au/mensuration/](http://sres-associated.anu.edu.au/mensuration/) y en: [http://sres-associated.anu.edu.au/mensuration/](http://sres-associated.anu.edu.au/mensuration/BrackandWood1998/MENSHOME.HTM)
 271 [BrackandWood1998/MENSHOME.HTM](http://sres-associated.anu.edu.au/mensuration/BrackandWood1998/MENSHOME.HTM)
 272

273 DIEGUEZ, U.; BARRIO, M.; CASTEDO, F.; RUIZ, A.D.; ÁLVAREZ, M.F.; ÁLVAREZ,
 274 J.G., ROJO; A.; 2003. Dendrometría. Mundi-Prensa y Fundación Conde del Valle de Salazar,
 275 Madrid, 327 pp.
 276

277 ESPINEL, S.; 1995. Un sistema sencillo y rápido para calcular existencias en rodales
 278 regulares de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don.). *Montes* 42, 44 - 46. *Descarga libre* en:
 279 <http://www.revistamontes.net/Buscador.aspx>
 280

281 REQUE, J.A.; FERNÁNDEZ-MANSO, A.; 2003. Cinta métrica perfeccionada para la
 282 medición de magnitudes forestales. *Patente de invención Número: 2 182 688*. (Marca
 283 asociada, dendroflexómetro: nº 2390892, denominativa clase 09, Titular: Universidad de
 284 Valladolid).
 285

286 FOUNTAIN, M.; HUNT, E.; HASSLER, C.; 1983. Comparison of Five Metric Basal Area
 287 Factors. *Journal of Forestry*, Volume 81, Number 1, 1 January 1983 , pp. 26-27(2).
 288

289 GROSSBAUER, F.; 1864. Taschen-Dendrometer neuster konstruktion in seiner zur Baum
 290 und Bestandes-Schätzung und zu anderen in der forstlichen Praxis vorkommenden
 291 Messungsarbeiten. Wilhelm Braunmüller, Wien, 153 pp.
 292

293 HUNCH, B; BEERS, T.; KERSHAW, J.; 2002. Forest Mensuration. John Wiley and Sons,
 294

295 KRAMER, H.; AKÇA, A.; 1987. Leitfaden zur Waldmesslehre. (3. erweiterte Auflage)
 296 Sauerländer, Frankfurt am Main.
 297

298 MACKAY, E.; 1964. Dasometría. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes,
 299 Servicio de Publicaciones. 760 pp
 300

301 PARDÉ, J.; BOUCHON, J.; 1994. Dasometría. *Paraninfo*, Madrid.
 302

303 PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P.; 1997. Mensura Forestal. Inter-American
 304 Institute for Cooperation on Agriculture, Deutsche Gesellschaft für Technische
 305 Zusammenarbeit, Inter-American Institute of Agricultural Sciences. Agroamerica. San José.

306 Costa Rica. *Descarga libre* en: <http://books.google.es/> y en <http://books.google.es/books?id=fhL2Zrh7nmwC&pg=PP1&dq=prodan+mensura+forestal#PPP1,M1>

307
308
309
310
311

IV. <http://www.cesefor.com/dendroflexometro/>

DendroFlexómetro [cese for.]
Medición práctica de árboles y masas forestales



The diagram shows a vertical line on the left and a horizontal line on the right. The horizontal line has three circular components attached to it, each containing a stylized 'D' shape. Below the diagram is a row of five small images: a stylized 'D' on a dark background, a maple leaf, a pine needle, a forest scene, and a waterfall.

312
313
314