

# ESTIMACIÓN DE LOS ERRORES COMETIDOS EN LA MEDICIÓN DE ALTURAS MEDIANTE VERTEX® EN MASAS NATURALES DE *Pinus sylvestris* L. y *Pinus pinaster* Ait. DE LOS SISTEMAS CENTRAL E IBÉRICO MERIDIONAL

Lizarralde, I.<sup>1,2</sup>; Rodriguez, F.<sup>3</sup>; Bravo, F.<sup>1</sup>; Ordóñez, C.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dept. de Producción Vegetal y Recursos Forestales  
E.T.S. de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid  
Avda. de Madrid, 44 34004 PALENCIA  
Tfno. 979 108432 Fax 979 108440 correo electrónico: [ilizarraldet@cesefor.com](mailto:ilizarraldet@cesefor.com)

<sup>2</sup> Dirección actual:  
CESEFOR  
Pol. Ind. Las Casas, Calle C, Parcela 4 42005 Soria

<sup>3</sup> Departamento de Producción Vegetal y Ciencia Forestal  
E.T.S. de Ingeniería Agraria. Universitat de Lleida

## Resumen

El desarrollo y utilización de nuevos instrumentos de medición de variables dasométricas en los inventarios forestales ha supuesto en los últimos años una importante mejora en la precisión y el tiempo utilizado en los trabajos de inventario. Este hecho se acentúa en masas naturales donde resulta muy complicado utilizar sistemas más antiguos (Blume-Leiss, Suunto...) debido a la dificultad de marcar una distancia exacta desde donde medir, unido a la necesidad de corregir las medidas con la pendiente de la parcela. En el presente trabajo se estudia la precisión obtenida en la medición de alturas mediante el sistema Vertex, sobre árboles en pie, en masas naturales de *Pinus sylvestris* L. y *Pinus pinaster* Ait. en los Sistemas Central e Ibérico Meridional. Para su comprobación, los pies fueron posteriormente apeados y medidos con cinta métrica. A través del análisis estadístico de los errores cometidos, se estima la precisión del instrumento utilizado.

**Palabras clave:** Vertex, masas naturales, alturas, error

## INTRODUCCIÓN

El uso de los hipsómetros tradicionales (Blume-Leiss, Suunto, etc.) para la estimación de alturas de árboles se ha sustentado en la determinación de la distancia al objeto medible a través de visor dióptrico o mediante cinta métrica (AUNÓS Y RODRÍGUEZ, 2002). Con el desarrollo de nuevos instrumentos de medición, esta realidad ha cambiado ya que en la actualidad no es necesario medir la distancia entre el aparato y el objeto a medir. Uno de estos aparatos que han permitido este avance es el Vertex, instrumento que gracias a un telémetro, calcula instantáneamente las distancias.

Ultimamente, el Vertex está siendo un aparato ampliamente utilizado en los inventarios forestales, y debido a sus ventajas, es probable que su utilización se haga aún más generalizada. Las características más interesantes del Vertex son las siguientes (AUNÓS Y RODRÍGUEZ, 2002):

- Permitir el emplazamiento del observador a cualquier distancia, y no a distancias prefijadas como en el caso de los hipsómetros convencionales provistos de visor dióptrico, y sin más condición de que desde el emisor se visualice el receptor
- La apreciación más diáfana del extremo o punta del árbol
- Alcanzar, presumiblemente, un mayor nivel de exactitud en las mediciones, tanto de la distancia, en especial cuando se trabaja sobre terrenos en pendiente puesto que el Vertex la corrige automáticamente, como de la altura a causa principalmente de la ausencia de error en la evaluación de la distancia
- Lograr una reducción notable en el tiempo de medición invertido

En el caso del presente trabajo, donde se trata de masas naturales, las ventajas pueden ser aún más claras, sobre todo respecto al tiempo empleado ya que en primer lugar, la irregularidad de la disposición de los pies haría mucho más costosa la necesidad de colocación del aparato a una distancia determinada. Por otro lado, el Vertex corrige la distancia con respecto a la pendiente en el mismo momento de realizarse la medida.

No se ha realizado un estudio de comparación de tiempos ya que el objetivo del trabajo no ha sido su comparación con otros hipsómetros, pero parece lógico pensar que gracias a las características antes mencionadas, el ahorro de tiempo puede ser muy importante, más incluso que en su utilización en plantaciones coetáneas ya que en masas naturales, los casos en los que exista cierta pendiente son muy abundantes.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Datos**

Los datos utilizados han sido extraídos de la base de datos de la red de parcelas del Grupo de Manejo Forestal Sostenible de la Universidad de Valladolid (Campus de Palencia). En concreto se utilizaron un total de 328 árboles dispuestos en 72 parcelas de pino silvestre situadas en las provincias de Burgos, Segovia y Soria y 273 árboles en 64 parcelas situadas en las provincias de Cuenca, Soria y Teruel. En la tabla 1 se expone un resumen descriptivo de cada una de las muestras.

El inventario de estas parcelas se realizó entre los años 2002 y 2004. En él, se midieron, además de otras variables tanto de árbol como de masa, la altura de todos los pies mediante Vertex. Una vez finalizado el inventario, se procedió a apeaar entre 3 y 6 árboles de cada parcela. Así, se midió la altura del árbol apeado con cinta métrica. Esta última se consideró como dato real, y se comparó con la altura medida en pie mediante Vertex.

### **Análisis estadístico**

El análisis estadístico de los datos se basó en el cálculo de errores cometidos con la utilización del Vertex. Se calculó el sesgo (media aritmética de los errores individuales) y el error absoluto medio (media aritmética del valor absoluto del error) para cada especie y se relacionaron con una serie de variables de masa. El posterior análisis de los errores y las correlaciones se llevó con el procedimiento CORR del paquete estadístico SAS/STAT (SAS INS., 2000).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A continuación, se exponen los resultados obtenidos en el trabajo. Para una mejor comprensión, se exponen los resultados separados por especies.

Para pino silvestre, se puede ver el resumen de los errores cometidos en la tabla 2. El error medio absoluto es de 111,5 cm, lo que da una idea de la precisión que puede obtenerse con el Vertex. Sin embargo, si se tiene en cuenta el error medio, se observa que los errores se compensan entre árboles, dando unos muy buenos resultados a nivel de rodal.

Además, en la tabla 3 se expone el análisis de correlaciones entre los errores y las variables de masa analizadas. En dicha tabla se observa que cuanto mayor es el diámetro cuadrático medio ( $D_g$ ), el diámetro dominante ( $D_o$ ), la altura dominante ( $H_o$ ) y la altura total ( $H_T$ ), mayor es el error absoluto, por lo que existe una correlación positiva. Por el contrario, cuanto mayor es el Índice de Sitio ( $SI$ ) y la densidad ( $N$ ), menor es este error absoluto.

Respecto al error medio, cuanto mayor es la altura total ( $H_T$ ) real, el área basimétrica ( $SBA$ ) y el Índice de Reineke ( $SDI$ ), mayor es el error. Esto se traduce en que en árboles grandes, los errores

son positivos, es decir, que el Vertex subestima la altura. Estas relaciones deben tomarse con cautela ya que las correlaciones entre errores y variable son muy bajas en todos los casos.

El resumen de los errores para pino negral y el análisis de correlaciones entre los errores cometidos y las variables de masa están descritos en las tablas 4 y 5. En la tabla 4 se observa que el error medio absoluto es de 67,1 cm mientras que el error medio es de -5,1 cm. El error medio absoluto es bastante menor en pino negral que en pino silvestre. Esto podría explicarse por la menor altura del pino negral, y por lo tanto, la mayor facilidad para su correcta medición. Con el error medio también se comprueba que los errores se compensan entre ellos, si bien no en la medida en la que ocurre con el pino silvestre.

En la tabla 5 se muestra como cuanto menor es el diámetro cuadrático medio, la altura dominante y el Índice de Sitio, mayor es el error absoluto, por lo que la correlación es negativa. Sin embargo, cuanto mayor es la densidad, mayor es el error absoluto del aparato. Por otro lado, con el error medio ocurre igual que con el pino silvestre, es decir, cuanto mayor es la altura total real, mayor es el error, lo que se traduce en que el Vertex subestima la altura total. Al igual que en pino silvestre, las correlaciones son muy bajas, por lo que estas relaciones deben tenerse en cuenta en su medida.

En los gráficos 1 y 2 se muestran la distribución de los errores mediante histogramas y diagramas de cajas. Ambas especies, aunque más claramente el pino silvestre siguen una distribución normal en sus errores, con una media muy cercana al cero. No se ven tendencias de subestimación o sobrestimación claras. Por lo que muestran los diagramas de cajas, los mayores errores cometidos son casi siempre negativos para el pino silvestre, es decir, en los valores extremos, tiende a sobrestimar. Por el contrario, para pino negral, los mayores errores son positivos, por lo tanto, subestimando las alturas. Esto podría explicarse por las alturas medias de cada especie. Si la distancia entre el emisor y el receptor es similar en ambas especies, parece lógico que sobrestime las mayores alturas por encontrarse más próximo al árbol.

## CONCLUSIONES

A pesar de que los resultados obtenidos no permiten extraer unas conclusiones definidas y claras, se denotan ciertas tendencias en la utilización del Vertex:

Los errores cometidos son relativamente bajos y se compensan en gran medida entre árboles, por lo que los resultados a nivel de rodal son excelentes.

En un primer análisis parece ser que no existen correlaciones entre los errores y las distintas variables de masa, por lo que los errores puede que estén más relacionados con el operario o con características propias del aparato.

El Vertex es un aparato cada vez más utilizado en los inventarios y se comprueba que además de las ventajas propias del aparato (cálculo automático de las distancias, corrección de pendientes...) tiene una alta fiabilidad, quedando esta más patente aún en masas naturales.

## BIBLIOGRAFÍA

AUNÓS, A Y RODRÍGUEZ, F.; 2002. Precisión y rendimientos comparativos de dos tipos de hipsómetros en la medición de alturas en choperas. *Montes*, 68:21-24  
SAS INST. INC. Cary, NC.; 2000. *SAS/STAT User's guide versión 8*. 3884 pp.

## Agradecimientos

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la ayuda del Ministerio de Ciencia y Tecnología con el proyecto 'Dinámica de rodales de pino negral (*Pinus pinaster* Ait.) en el Sistema Ibérico Meridional: Estructura genética, regeneración y dinámica forestal' (código: AGL2001-1780) y

La Consejería del Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León mediante un convenio con la UVa para el desarrollo de modelos de crecimiento y producción para pino silvestre.

Tabla 1: Principales estadísticos descriptivos de cada una de las muestras empleadas.

	H real	H Vertex	N	SBA	Dg	Ho	Do	SDI	SI
<i>Pinus sylvestris</i>									
<b>Promedio</b>	1913,96	1913,21	872,58	52,87	309,96	204,81	407,53	1027,95	23,56
<b>Desv. Std</b>	475,72	473,52	606,47	12,41	82,37	44,40	78,57	231,92	5,03
<b>Max</b>	3240,00	3150,00	3462,50	82,15	511,19	313,68	583,26	1515,17	36,40
<b>Min</b>	461,45	458,29	212,21	12,05	80,70	42,96	75,63	224,20	4,93
<i>Pinus pinaster</i>									
<b>Promedio</b>	1974,24	1948,56	911,75	54,56	309,93	209,24	406,54	1059,68	24,29
<b>Desv. Std</b>	497,51	498,08	646,32	12,88	87,49	47,75	87,35	238,83	4,93
<b>Max</b>	3240,00	3150,00	3462,50	82,15	511,19	313,68	583,26	1515,17	36,40
<b>Min</b>	461,45	458,29	212,21	12,05	80,70	42,96	75,63	224,20	4,93

Tabla 2: Resumen de los errores cometidos en pino silvestre, donde el error absoluto medio (eam) es la media aritmética del valor absoluto de los errores y el sesgo es la media aritmética de los errores individuales.

	eam	Sesgo
<b>n</b>	328	328
<b>Media</b>	111,46	-1,1
<b>Varianza</b>	12742,3	25202,4
<b>Desviación standard</b>	112,88	158,75
<b>Minimo</b>	0,0	-924,0
<b>Maximo</b>	924,0	560,0
<b>Rango</b>	924,0	1484,0
<b>Std. skewness</b>	19,99	-6,30
<b>Std. kurtosis</b>	42,13	19,10

Tabla 3: Correlaciones de los errores con las principales variables de masa en pino silvestre

	Dg	Do	FCC	Ho	Hreal	N	SBA	SDI	SI
<b>Eam</b>	0,181	0,146	-0,064	0,193	0,133	-0,142	0,020	-0,033	-0,124
<b>p</b>	0,001	0,008	0,245	0,000	0,016	0,010	0,712	0,550	0,024
<b>sesgo</b>	-0,032	-0,036	-0,037	0,033	0,192	0,081	0,194	0,211	-0,024
<b>p</b>	0,001	0,516	0,509	0,551	0,000	0,144	0,000	0,000	0,661

Tabla 4: Resumen de los errores cometidos en pino negral, donde el error absoluto medio (eam) es la media aritmética del valor absoluto de los errores y el sesgo es la media aritmética de los errores individuales.

	eam	Sesgo
<b>n</b>	272	272
<b>Media</b>	67,11	-5,06
<b>Varianza</b>	3869,9	8364,8
<b>Desviación standard</b>	62,21	91,46
<b>Minimo</b>	0,0	-331,0
<b>Maximo</b>	402,0	402,0
<b>Rango</b>	402,0	733,0
<b>Std. skewness</b>	10,64	1,40
<b>Std. kurtosis</b>	12,90	5,96

Tabla 5: Correlaciones de los errores con las variables de masa para pino negro

	Dg	Do	FCC	Ho	Hreal	N	SBA	SDI	SI
<b>Eam</b>	-0,120	-0,087	0,085	-0262	-0,075	0,136	-0,009	0,058	-0,311
<b>p</b>	0,047	0,153	0,162	0,000	0,215	0,024	0,888	0,341	0,000
<b>sesgo</b>	0,101	0,080	0,072	0,101	0,144	-0,053	0,047	-0,003	0,014
<b>p</b>	0,095	0,188	0,234	0,097	0,017	0,387	0,435	0,966	0,822

Gráfico 1: Histograma de sesgo por especie

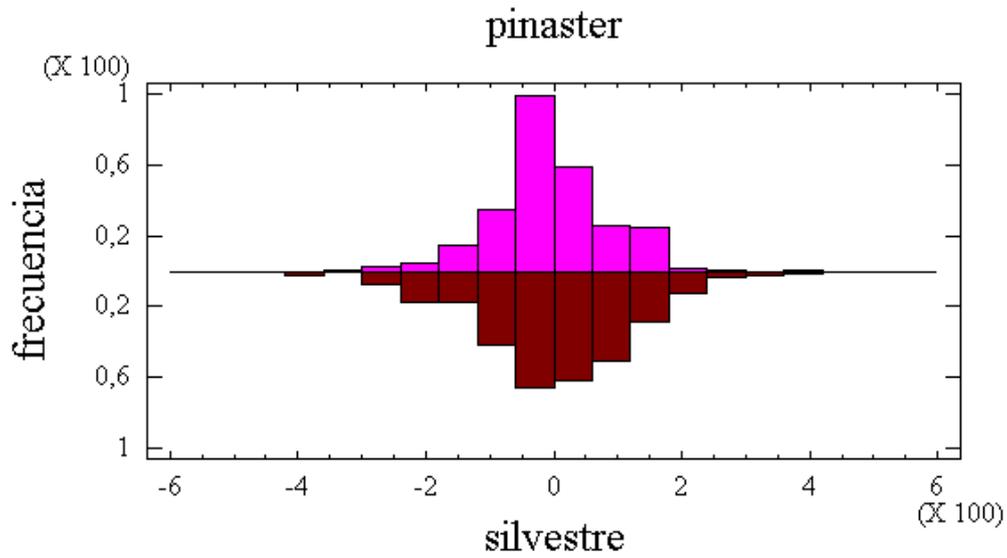


Gráfico 2: Diagramas de cajas del sesgo por especie

