



Foto 1.- Emisor y receptor del Hipsómetro Vertex III

Foto 2.- Hipsómetro Suunto

Alvaro Aunós y Francisco Rodríguez
 Dept. Producción Vegetal y Ciencia
 Forestal. ETSEA. Universitat de Lleida

PRECISIÓN Y RENDIMIENTOS COMPARATIVOS DE DOS TIPOS DE HIPSÓMETROS EN LA MEDICIÓN DE ALTURAS EN CHOPERAS

R E S U M E N

Se ha contrastado la fiabilidad y rendimientos de un hipsómetro Vertex dotado de telémetro y un Suunto provisto de visor dióptrico, para la medición de alturas en una chopera en terreno llano y con 278 pies/ha, y cuyos pies alcanzaban los 23 m. La estimación de la altura total de los árboles con el primer aparato aportó diferencias individuales del orden de $\pm 0,50$ cm, notablemente inferiores a las obtenidas con el Suunto, que tiende a sobrestimar el valor de esa variable. Respecto a los rendimientos, el tiempo invertido con el Vertex resulta casi la mitad que con el otro aparato.

Palabras clave: precisión, rendimientos, hipsómetros, chopera.

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. La reciente aparición en el mercado del hipsómetro Vertex, dotado de telémetro que calcula instantáneamente la distancia del observador al objeto, tanto sobre el terreno como en términos de distancia reducida, facilita la estimación rápida y aparentemente mucho más exacta de la altura de los árboles en el seno de una masa forestal, y con ello una ganancia sustancial en los tiempos de medición y consiguientes rendimientos. Su única desventaja comparativa reside en su precio diez veces mayor al de los hipsómetros convencionales.

Así, las prestaciones más relevantes que ofrece el Vertex son:

- 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
- apreciar más diáfano el 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, supuestamente, una reducción notable en el tiempo de medición invertido.

Parece oportuno, por consiguiente, determinar el grado de fiabilidad que ofrecen las mediciones con ese instrumento, evaluando, tanto las desviaciones respecto a los valores reales, así como las eventuales diferencias con respecto a las estimaciones obtenidas con los otros hipsómetros y la supuesta mejora en rendimiento que representa.

MATERIAL Y MÉTODOS

El material de estudio se tomó de una masa de *Populus x euramericana* de ocho años de edad, integrada por dos rodales de los clones Luisa Avanzo e I-MC, localizada en el término municipal de Alcolea de Cinca (Huesca) y perteneciente a la Diputación General de Aragón. El marco de plantación es de 6 x 6 m y se riega a manta, de lo que se desprende que la fisiografía del terreno es absolutamente llana.

El diseño del muestreo se hizo por bloques completos al azar de dos factores, replanteando 3 bloques para cada clon y cada uno de ellos constituido por 4 parcelas de 4 árboles cada una, y con las parcelas separadas 18 m. Sobre ese dispositivo, en el que se desecharon dos árboles rotos, se midieron un total de 94 pies, correspondiendo la mitad a cada clon.

La altura real se tomó mediante una pértiga telescópica de 9,5 m de longitud máxima, montada sobre una plataforma autoelevadora y que alcanzaba una altura de 13,6 m desde el suelo. El procedimiento permitía, apoyando la pértiga al fuste del árbol, obtener su altura real (altura de la plataforma más la correspondiente a la pértiga extendida) con ajustes de ± 10 cm. La altura media obtenida fue de $21,19 \pm 1,27$ m.

La estimación de la altura con hipsómetros desde el suelo se hizo mediante un Vertex III (Foto 1) y un Suunto dotado de lente o visor dióptrico (Foto 2), y con dos observadores distintos para evitar sesgos en las medidas. El equipo operador constaba de un anotador, que se situaba junto al árbol para disponer el receptor en el caso del Vertex o la mira en el caso del hipsómetro convencional, y el medidor, que se localizaba sobre la dirección que él considerara ortogonal al plano que presuntamente formaba el fuste del árbol con su guía inclinada, y a la distancia, en la práctica inferior a los 25 m, desde la que pudiera apreciar nítidamente el extremo del árbol. Dicha distancia podía ser indiferente para el Vertex, aunque el fabricante no garantiza la recepción de la señal por encima de 30 m, y múltiplo de 15 m o 20 m en el segundo caso.

Se tomaron también los tiempos reales para la evaluación de los ren-

dimientos con los dos aparatos. Para ello se adoptó una serie de tres tiempos distintos: (i) el tiempo de localización sobre la orientación que permitiera la mejor visualización del extremo del árbol, (ii) el tiempo de posicionamiento a la distancia correspondiente, con la visor dióptrico en el caso del Suunto y a la distancia elegida en el caso del Vertex, y (iii) el tiempo de medida de la altura total, realizando una sola lectura en el caso del Suunto y dos lecturas con el otro aparato. A su vez, se definieron dos tiempos de análisis: (j) el tiempo general (Tg), cómputo de todos los tiempos consumidos, y (jj) el tiempo base (Tb), expresión únicamente de la duración de la medición y evaluado como la suma del tiempo de posicionamiento (ii) y el tiempo de medida (iii).

La variable dependiente analizada fue la diferencia entre el valor real obtenido con la plataforma más la pértiga y la medida observada con el hipsómetro, mientras que los dos factores estudiados fueron el tipo de instrumento utilizado (dos hipsómetros) y el medidor que realizaba la estimación de la magnitud (dos observadores). Los 16 árboles (4 por parcela) que integraban cada uno de los 6 bloques se distribuyeron aleatoriamente por parcelas, al objeto de que éstas fueran medidas mitad a mitad por hipsómetro y observador, tal como se indica en la Figura 1, donde los trazos discontinuos o dobles señalan el tipo de hipsómetro empleado y la notación O_x el observador.

Para la evaluación de la fiabilidad de uno y otro instrumento se realizó un análisis de la varianza según el diseño anteriormente explicado con el paquete estadístico SAS/STAT®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del análisis de la varianza se deduce la existencia de diferencias significativas respecto a la fiabilidad de uno y otro aparato ($p < 0.0001$) con un nivel de confianza superior al uno por mil, mientras que no se detectaron diferencias ni entre observadores ($p > 0.7776$) ni entre bloques ($p > 0.5070$). Del análisis de separación de medias se obtiene un error

medio del Vertex de 2,55 cm, mientras que para el Suunto es de 89,32 cm. Estos errores son pequeños en ambos casos puesto que se compensan los valores por exceso con los de por defecto. Analizando la fiabilidad del aparato en términos absolutos (error medio del árbol individual), obtenemos un error medio de 50 cm para el Vertex y de 103 cm para el Suunto, lo que para árboles de 21,19 m de altura representa un error del 2,3% y 4,9% respectivamente.

Los resultados obtenidos con el Vertex para el cálculo de variables de masa (altura media o altura dominante) coinciden prácticamente con los valores reales (diferencias inferiores a 3 cm).

Respecto al cálculo del rendimiento obtenido con cada hipsómetro, volvemos a encontrar diferencias significativas, tanto para el análisis del tiempo base, como para el del tiempo general ($p < 0.0001$ en ambos casos). Realizando la separación de medias por el método de Bonferroni, obtenemos un tiempo base de 16,4 s para el Vertex y de aproximadamente el doble (32,8 s) para el Suunto. El comportamiento del tiempo general es análogo, con valores de 26,5 s para el primer instrumento y de 44,6 s para el segundo. Los estadísticos descriptivos de los resultados se presentan en la Tabla 1.

Se analizó también la fiabilidad en el uso del visor dióptrico del Suunto con la escala de 20 m, obteniéndose un error medio de 11 cm por defecto. De ello se deduce que, *ceteris paribus*, el empleo de la lente tiende a subestimar ligeramente la distancia real.

En la Figura 2 se pueden observar los histogramas comparados de los dos factores estudiados respecto al error de medición.

Los resultados del Vertex se asemejan a una distribución normal de media prácticamente nula, mientras que los resultados del Suunto denotan una clara asimetría, tendiendo casi siempre a sobrestimar la altura del árbol. Respecto a los observadores, los dos histogramas son sensiblemente análogos, no detectándose en consecuencia diferencias entre uno y otro.

En la Figura 3 se representan los histogramas de los rendimientos al-

Tabla 1.- Resultados del error medio, error individual, tiempo base y tiempo general para cada uno de los hipsómetros, así como su valor máximo, mínimo y desviación estándar

	Vertex III				Suunto			
	Error (cm)	Error (s)	Tb (cm)	Tg (s)	Error	Error	Tb	Tg
Media	2.5	50.0	16.4	26.5	89.3	103.3	32.8	44.6
Dev. Estándar	61.5	35.0	2.7	4.3	74.5	52.8	7.9	8.2
Mínimo	-1.18	0.0	12.0	20.0	-1.19	0.18	18.0	28.0
Máximo	1.16	1.18	27.0	39.0	2.34	2.34	52.0	64.0

canzados con ambos instrumentos en términos de duración de la medición. En lo que respecta al tiempo base, que constituye el tiempo invertido solamente en la medición propiamente dicha (tiempo de posicionamiento más tiempo de medida), el Vertex ofrece muy poca variabilidad, todo lo contrario que el Suunto. La razón estriba en que, mientras con éste hay que buscar la distancia fija de 15 m o 20 m al árbol y colocarse en ella, en el Vertex esa distancia es indiferente y la proporciona directamente el aparato, con lo que, en la práctica, su tiempo de posicionamiento (ii) es muy reducido en todos los casos, puesto que solamente recoge el necesario para observar diáfano el extremo de la guía terminal del árbol. Del análisis del histograma correspondiente al tiempo general (T_g), donde ya se incluye el tiempo de localización (i), se desprende que la variabilidad del Vertex aumenta ligeramente en relación al caso anterior, debido precisamente a que el tiempo invertido en la búsqueda de la mejor orientación para visualizar con nitidez el ápice del árbol (i) entra en el cómputo de T_g con mayor ponderación relativa, representando así el tiempo más crítico para ese aparato.

Con objeto de situar los resultados en un contexto más general, debe recordarse que los de este trabajo proceden de una chopera, que se puede caracterizar, en lo que atañe a los aspectos de medición tratados, bajo dos notas diferenciales respecto a las condiciones más frecuentes de otras masas forestales. Así, la primera particularidad alude a las condiciones fisiográficas del terreno, absolutamente llano y con escaso sotobosque que no obstaculizaba el movimiento por la

superficie. Y la otra característica se refiere a la espesura incompleta y con los árboles podados en altura que presenta una chopera de 8 años de edad, lo que permite una visualización rápida y cómoda, tanto del emisor o del visor dióptrico situados en el árbol, como del extremo de la guía terminal.

Pues bien, si tanto en términos de precisión como de rendimientos, las mediciones con el Vertex suponen notables ventajas sobre el Suunto en la masa estudiada, es de esperar que éstas serán aun más apreciables cuanto más adversas sean las condiciones de trabajo. Así, las diferencias en la precisión conseguida serán mayores, tanto por la nitidez de la percepción, como sobre todo, por la exactitud en la distancia, toda vez que en terrenos en pendiente el Vertex incorpora la corrección a distancias reducidas de modo automático. Y por lo que respecta a los rendimientos, las mejoras todavía son más sustanciales, al no depender de distancias prefijadas o poder evitar la engorrosa colocación de cintas métricas para situarse a la distancia correcta, aspectos todos ellos que incrementan notablemente el tiempo base cuando se trabaja en terrenos en pendiente, y/o con abundante sotobosque, y/o con espesura de la masa elevada.

En suma, parece que el Vertex, al margen de su precio diez veces mayor, ofrece importantes ventajas sobre los hipsómetros convencionales.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro reconocimiento al Gobierno de Aragón por su inestimable apoyo humano y logístico. ■

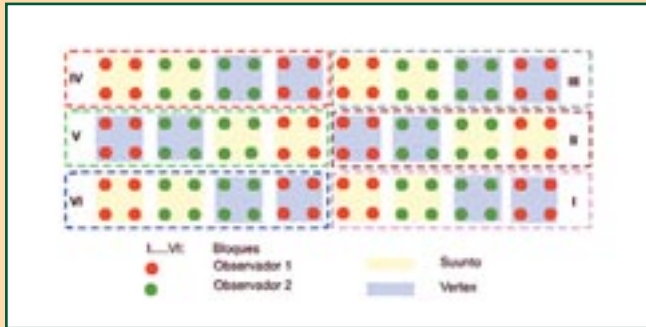


Figura 1.- Diseño para la realización de las medidas

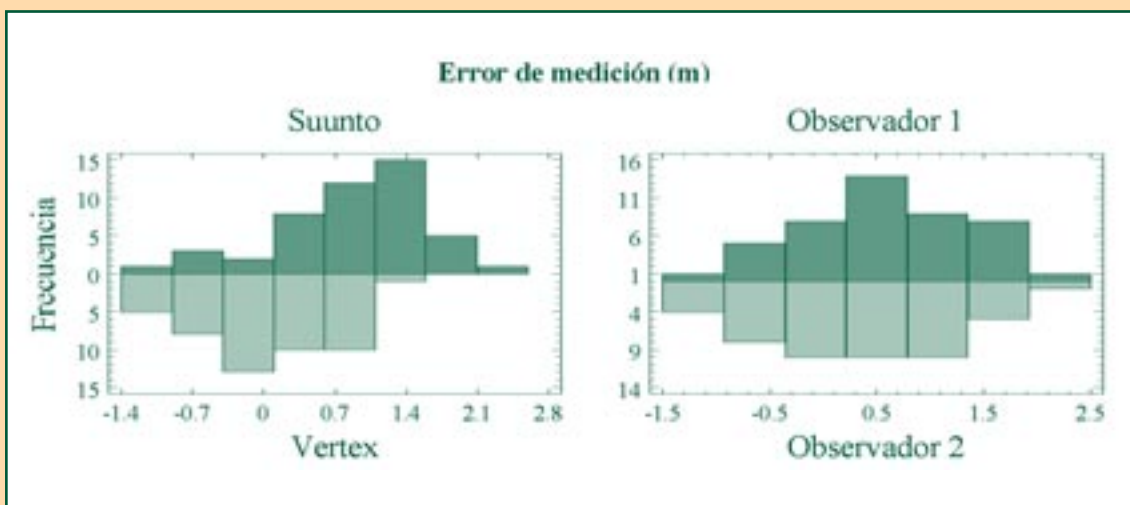


Figura 2.- Histograma del error de los distintos aparatos (izquierda) e histograma del error de los observadores (derecha)

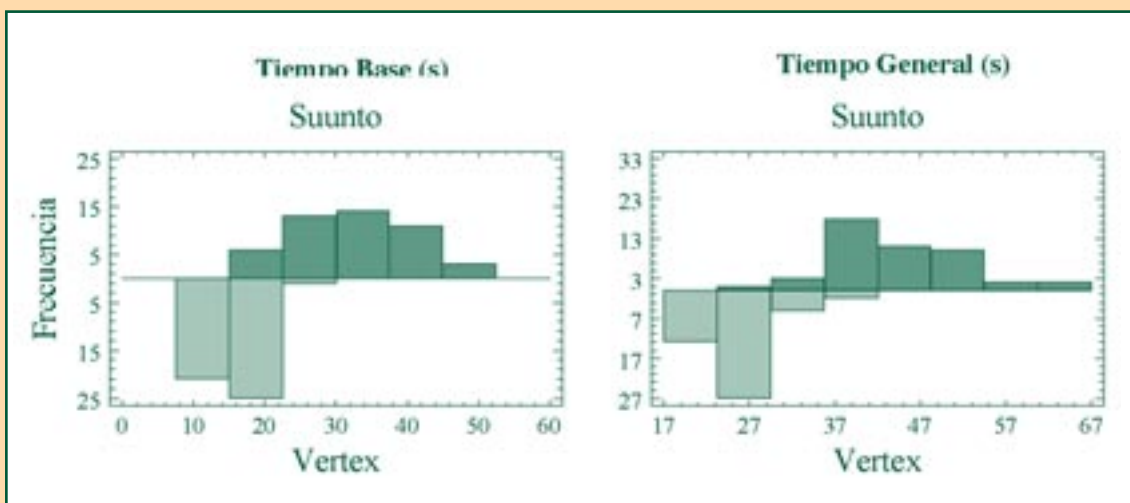


Figura 3.- Histograma del Tiempo Base (izquierda) y Tiempo General (derecha) de los dos hipsómetros