

COMPARACIÓN DE LA EXACTITUD RELATIVA Y REQUERIMIENTO DE TIEMPO ENTRE MÉTODOS DE MEDICIÓN DE ALTURAS DE ÁRBOLES QUE NO REQUIEREN LA MEDICIÓN DE LA DISTANCIA AL ÁRBOL Y AQUELLOS QUE LA EMPLEAN.

ACCURACY AND PRODUCTIVITY COMPARISON BETWEEN METHODS OF TREE HEIGHT MEASUREMENT THAT DO NOT REQUIRE TREE DISTANCE MEASUREMENT AND THOSE THAT USE IT.

**Vicente Ramiro Andrés
Wabö Enrique**

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales - UNLP Calle 113 N° 469 La Plata, Argentina.
C.P.: 1900 - C.C.:33 Tel: 0221-4236616. rvicente@ceres.agro.unlp.edu.ar

SUMMARY

Tree height measurement is a valuable element for stand characterisation. Volume, site quality and management practices expose the importance of height measurement quality and the methods to obtain it. The main objective of this work is to compare accuracy and time requirements for different tree height measurement methods. Three methods were used: clinometer and three angular readings (SMA), clinometer and distance measurement using a metric tape (SCM) and Blume Leiss method, measuring distance by means of a telemeter (BMA). Height was measured on a *Eucalyptus viminalis* Labill. stand, ranging from 15,9 m to 41,1 m (Average 30,9 m). ANOVA test on method accuracy showed no differences, but significative differences were registered in time consumption. SMA is faster than SCM (+7.3% in average), but there were no differences between BMA and SMA (+1.5% in average).

Key words: Relative Accuracy, Productivity, Hipsometer, Metric Tape.

RESUMEN

La medición de alturas de árboles es una pieza valiosa para caracterizar un rodal en términos de volumen, de calidad de sitio y de prácticas de manejo, lo que pone de manifiesto la importancia de la calidad de su medición y de los métodos para llevarla a cabo. El objetivo del presente trabajo fue comparar la exactitud relativa y los requerimientos de tiempo del método de medición de alturas con el clinómetro SUUNTO y tres lecturas angulares (SMA), con el clinómetro SUUNTO y medición de distancia con cinta métrica (SCM), y con el método del Blume-Leiss con medición de distancia mediante telémetro (BMA). Se midió la altura total de árboles de la especie *Eucalyptus viminalis* Labill. pertenecientes a un rodal puro, con alturas entre 15,9 m y 41,1 m (promedio de 30,9 m). El test ANOVA no mostró diferencias en la estimación del parámetro altura entre las tres metodologías evaluadas; por lo tanto si es utilizado este criterio para la selección de una u otra metodología cualquiera de las tres es apta. En cuanto a productividad el método SMA es significativamente mas rápido que el método SCM (7.3% en promedio) y no es significativa la misma diferencia contra el método BMA (1,6% en promedio).

Palabras clave: Exactitud relativa, productividad, hipsómetro, cinta métrica.

INTRODUCCION

La medición de alturas de árboles es una pieza valiosa para caracterizar un rodal en términos de volumen, de calidad de sitio y de prácticas de manejo, lo que pone de manifiesto la importancia de la calidad de su medición y de los métodos para llevarla a cabo. La altura de árboles bajos se suele medir mediante los métodos directos, reservándose los métodos indirectos para los árboles altos. Los métodos indirectos recurren al empleo de instrumentos de medición denominados hipsómetros, cuyo funcionamiento está basado en la construcción de triángulos semejantes o en la lectura de tangentes de ángulos (Husch et al, 1982). El método más moderno es el de las tangentes (Avery and Burkhart, 1994), cuyo mecanismo se basa en registrar la distancia entre el observador y el árbol, y en determinar la tangente del ángulo formado por la horizontal y dos visuales: una dirigida al límite superior de la altura a medir y otra dirigida a su límite inferior. Con estos valores se calcula la altura buscada (Curtis and Bruce, 1968; Husch *et al.*, 1982). Existen diferentes instrumentos para hacer las lecturas angulares, entre los cuales se destacan el clinómetro SUUNTO y el hipsómetro Blume-Leiss. Por otro lado, estos instrumentos se pueden usar con distintos mecanismos de medición de la distancia entre el árbol y el observador. Uno de estos mecanismos es la cinta métrica, cuyo funcionamiento se ve influenciado por la densidad del rodal, la presencia de sotobosque y la topografía del terreno (Cieszewski, 2000; Curtis and Bruce, 1968). Para eliminar el uso de la cinta se han ideado mecanismos que prescinden de ella, entre lo cuales se destaca el telémetro. Otra alternativa para determinar la distancia entre el árbol y el observador sin utilizar la cinta métrica es un mecanismo indirecto basado en la medición de un tercer ángulo vertical, que es el formado por la horizontal y la visual que pasa por el extremo superior de una vara de longitud conocida que está apoyada sobre el árbol (Curtis and Bruce, 1968; Bell and Gourley, 1980). En este caso, la fórmula de cálculo utiliza las tangentes de los tres ángulos expresadas en por ciento de pendiente (Husch *et al.*, 1982). Por lo tanto, el clinómetro SUUNTO que contiene la escala en por ciento de pendiente es un instrumento apropiado para utilizar el método de las tres lecturas en reemplazo del mecanismo clásico donde la distancia al árbol se mide con cinta métrica. El hipsómetro Blume-Leiss posee modelos que traen incorporado un telémetro y su correspondiente mira, lo que también le permite prescindir de la medición de la distancia al árbol con cinta métrica.

El objetivo del presente trabajo fue comparar la exactitud relativa y los requerimientos de tiempo del método de medición de alturas con el clinómetro SUUNTO y tres lecturas angulares, con el clinómetro SUUNTO y medición de distancia con cinta métrica, y con el método del Blume-Leiss con medición de distancia mediante telémetro.

MATERIALES Y METODOS

Se midió la altura total de árboles de la especie *Eucalyptus viminalis* Labill. pertenecientes a un rodal puro de 40 años de edad y una densidad promedio de 900 plantas por hectárea. El rodal presentó relieve plano sin presencia de sotobosque. De la combinación de hipsómetro con mecanismo de medición de la distancia árbol/observador surgen los tres tratamientos considerados:

- Medición de ángulos verticales con clinómetro SUUNTO y medición de distancia con cinta métrica, tratamiento identificado con las siglas **SCM** (SUUNTO Cinta Métrica).
- Medición de ángulos verticales con clinómetro SUUNTO y medición de distancia por mecanismo angular usando la vara y la lectura del tercer ángulo vertical, tratamiento identificado con las siglas **SMA** (SUUNTO Mecanismo Angular).

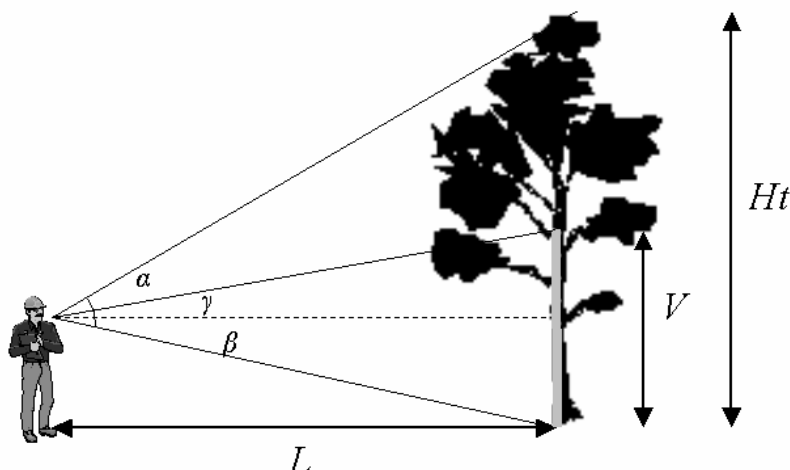
- Medición de ángulos verticales con Blume-Leiss y medición de distancia por mecanismo angular usando el telémetro incorporado, tratamiento identificado con las siglas **BMA** (Blume-Leiss Mecanismo Angular)

En el tratamiento SMA se utilizó una vara de 3 m de alto y se hicieron tres lecturas de ángulos verticales (Figura 1); la altura total se calculó con la siguiente fórmula (Husch *et al.*, 1982):

$$H = V \times \frac{(a\% - \beta\%)}{(\gamma\% - \beta\%)}$$

siendo H la altura total del árbol; V la altura alcanzada por la vara; a% la tangente del ángulo dirigido al extremo superior del árbol; β% la tangente del ángulo dirigido a la base del árbol; y γ% la tangente del ángulo entre la horizontal y el extremo superior de la vara. Todas las tangentes fueron registradas en por ciento de pendiente.

Figura 1. Geometría básica de la estimación de alturas mediante el uso de Clinómetro. Ht: altura total del árbol; V: altura de la vara; α: ángulo al extremo superior del árbol; β: ángulo al extremo inferior del árbol, γ: ángulo al extremo superior de la vara.



En las mediciones angulares hechas con clinómetro SUUNTO no se utilizó una distancia prefijada al árbol, aunque se trató de lograr una distancia equivalente a la altura del árbol. En las mediciones angulares hechas con Blume-Leiss la distancia al árbol fue prefijada para cada árbol muestra y correspondió a alguna de las cuatro escalas del instrumento (15, 20, 30 ó 40 m). En cada árbol, la posición desde la cual el operador hacía las mediciones se estableció en forma aproximada al comienzo de la operación.

En las tareas de campo participaron dos personas. Una de esas personas fue el responsable del procedimiento de medición; la otra persona fue un asistente cuya función fue registrar los valores de las lecturas angulares, medir y registrar los tiempos utilizados en el proceso.

Para determinar los tiempos de medición correspondiente a cada tratamiento se trabajó con grupos de tres árboles a la vez, registrándose el tiempo requerido para medir las alturas del grupo, que incluyó el tiempo de traslado de un árbol a otro. El responsable de las mediciones se colocaba junto al árbol cuya altura iba a medir y comenzaba el proceso de instalar el extremo de la cinta, colgar la mira del telémetro o apoyar la vara según el caso; el momento de inicio de esta tarea era el momento en que se comenzaba a medir el tiempo. El proceso finalizaba cuando el responsable indicaba al asistente la última lectura hecha.

La exactitud relativa se analizó mediante el mecanismo del análisis de la varianza (ANOVA) a través de un diseño en bloques completos al azar, con el test unilateral de F (Pimentel Gomes, 1978). Cada bloque contó con los tres tratamientos y se analizaron tantos bloques como árboles participaron en la muestra. Se llevaron a cabo contrastes por descomposición de las sumas de cuadrados del ANOVA para un nivel de significación del 5 por ciento (Ostle, 1974; Lison, 1976). Las comparaciones fueron las siguientes: a) clinómetro SUUNTO con mecanismo angular versus clinómetro SUUNTO con cinta métrica; y b) clinómetro SUUNTO con mecanismo angular versus Blume-Leiss con telémetro. De los datos del ANOVA se determinó el Coeficiente de Correlación Intraclase, como medida de asociación entre las lecturas correspondientes a un mismo individuo (Ostle, 1974); se determinó el grado de significación del valor estimado del coeficiente.

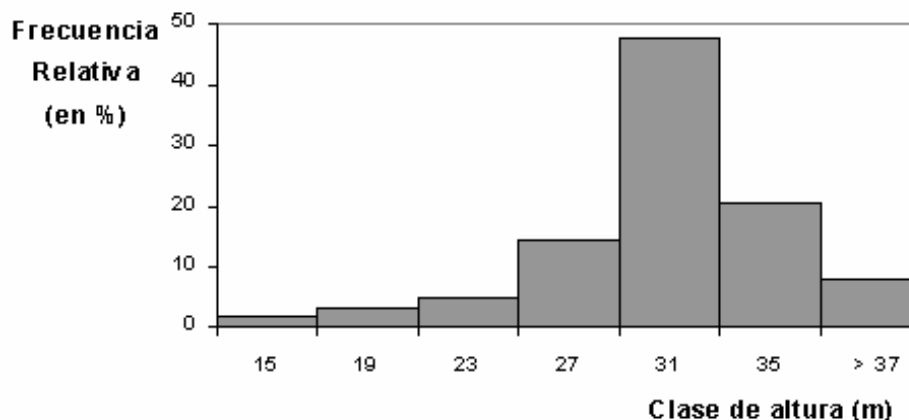
La productividad se analizó usando el procedimiento de ANOVA, los contrastes y el Coeficiente de Correlación Intraclase indicados en la evaluación de la exactitud relativa. El número de bloques fue en este caso la tercera parte de los existentes en el análisis de la exactitud relativa.

RESULTADOS

Descripción de la muestra

Para la evaluación de la exactitud relativa, la muestra estuvo conformada por 63 árboles de *Eucalyptus viminalis* Labill. Tomando como valores de referencia los correspondientes al tratamiento SCM, la altura mínima y máxima observada fue de 15,9 m y 41,1 m respectivamente; con una altura promedio de 30,9 m (Figura 2).

Figura 2. Distribución por clases de altura.



Para la evaluación de la productividad, la muestra provino de 21 grupos de 3 árboles cada uno, proveniente de la agrupación de los 63 árboles seleccionados en la muestra.

Exactitud relativa

Las alturas medias y su dispersión fue muy similar en los tres tratamientos ensayados, con valores medios entre 30,6 m y 30,9 m de altura (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estadísticos obtenidos para los tratamientos

Indicador	SCM	SMA	BMA
Promedio (m)	30,9	30,6	30,7
D. Estándar (m)	4,7	4,8	4,9
Valor mínimo (m)	15,9	16,7	12,9
Valor máximo (m)	41,1	41,6	40,0

El ANOVA mostró diferencias muy significativas entre los bloques, pero no mostró diferencias significativas entre tratamientos para un nivel de significación de 0,05; los contrastes entre tratamientos tampoco indicaron la presencia de diferencias significativas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza de la medición de alturas.

F.V.	F	Probabilidad	F tabla
Bloques	28,76 *	5,2086E-51	F(62, 124) (0,05) = 1.31
Tratamientos	0,77 ns	0,46542419	F(2, 124) (0,05) = 2.35
SMA VS. SCM	1,42 ns		F(1, 124) (0,05) = 2.746
SMA VS. BMA	0.09ns		

El cuadrado medio entre y dentro de los bloques fue 63,78 y 2,21 respectivamente, determinando un coeficiente de correlación intraclase estimado del 90,3 por ciento. El cociente de ambos cuadrados medios dio un valor $F = 28,86$ que comparado con el valor tabular $F(62,126)(0,01) = 1,639$ indica que el coeficiente de correlación intraclase estimado es muy significativo.

Productividad

Los resultados de la medición de tiempos fueron expresados en segundos. Los promedios por árbol se ubicaron entre 77,8 y 71,3 segundos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estadísticos de los tres tratamientos para su productividad.

Indicador	SCM	SMA	BMA
Promedio (seg)	77.8	72.4	71.3
D. Estándar (seg)	17.0	12.1	14.8
Valor mínimo (seg)	61.3	60.3	55.7
Valor máximo (seg)	124.3	108.7	104.7

El ANOVA mostró diferencias muy significativas entre los bloques y entre los tratamientos. También mostró diferencias muy significativas en los tiempos correspondientes a los tratamientos con clinómetro SUUNTO; no así entre clinómetro SUUNTO y Blume-Leiss cuando ambos usaron el mecanismo angular para definir la distancia entre árbol y observador (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza de la medición de productividad.

F.V.	F	Probabilidad	F tabla
Bloques	15.60*	2,3211E-14	F(20, 40) (0,05) = 1.61
Tratamientos	6.68*	9,3683E-05	F(2, 40) (0,05) = 2,44
SMA vs. SCM	8.00*		F(1, 40) (0,05) = 2,835
SMA vs. BMA	0.35ns		

El cuadrado medio entre y dentro de los bloques fue 579 y 37,1 respectivamente, determinando un coeficiente de correlación intraclase estimado del 78,9 por ciento. El cociente de ambos cuadrados medios dio un valor $F = 15,6$ que comparado con el valor tabular $F(20, 42)(0,01) = 2,121$ indica que el coeficiente de correlación intraclase estimado es muy significativo.

DISCUSION

Exactitud relativa

Al no encontrarse diferencias tanto en el análisis de varianza entre los tratamientos, como en ambos contrastes evaluados se puede decir que no existen diferencias relativas en cuanto a la estimación del parámetro altura entre las tres metodologías evaluadas; por lo tanto si es utilizado este criterio para la selección de una u otra metodología cualquiera de las tres es apta.

Productividad

Las diferencias entre tratamientos demuestran que no es lo mismo medir la altura de un árbol con uno u otro método en cuanto a productividad del trabajo de campo (Cuadro 4).

De los contrastes surge que el método SMA es significativamente mas rápido en la medición que el método SCM y no es significativa la misma diferencia contra el método BMA.

La ganancia en tiempo de medición (productividad) de la metodología SMA respecto de SCM es de 14,4% para el máximo valor encontrado y de 7,3% para el promedio de tiempos de medición. Por otra parte la metodología SMA es mas rápida que BMA en 3,8% y 1,6%, respectivamente, aunque aquí la mayor diferencia se reflejó en el mínimo valor encontrado que es 8,4% (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis comparativo entre metodologías en cuanto a la ganancia en productividad.

Tratamientos Comparados	SMA VS. SCM (seg.)	Dif. %	SMA VS. BMA (seg.)	Dif. %
Máx. Val.	15.7	14.4	4.0	3.8
Mín. Val.	1.0	1.7	4.7	8.4
Promedio	5.3	7.3	1.1	1.6

CONCLUSIONES

A nivel de exactitud relativa, no se detectaron diferencias entre los tres métodos ensayados, para la especie y el lugar de trabajo elegidos. Puede decirse, que es indiferente la utilización de uno u otro método. En particular, el método del clinómetro con el auxilio de la

vara no mostró diferencias con el método del clinómetro con medición de distancia mediante cinta métrica.

En cuanto a productividad, los dos métodos que recurrieron a un mecanismo angular no presentaron diferencias entre sí. Pero se observaron diferencias muy significativas entre ambos métodos con clinómetro SUUNTO, a favor de la variante con vara. Esto contrasta con lo mencionado por Curtis (1983), que sostiene que en terreno plano y libre de sotobosque, el método que utiliza la medición de distancia con cinta es tan rápido y preciso como el del ángulo y la vara.

Se encontró un aumento de productividad máximo de 14,4% utilizando clinómetro y vara respecto de la metodología en la que se utiliza la cinta métrica para el conocimiento de la distancia al árbol, valor cercano al presentado por Cieszewski (2000) quien obtuvo un aumento de la productividad del orden del 20 por ciento. Por otro lado, debe tenerse presente que el método de la cinta suele requerir de por lo menos dos personas para mantener tensa la cinta y hacer la lectura en forma correcta, mientras que el método de la vara puede llevarse a cabo con sólo una persona.

En cuanto a la relación entre la longitud de la vara y la altura del árbol, Curtis y Bruce (1968) sugieren una relación de 1/4 a 1/5. Sin embargo, en el presente ensayo no se observaron dificultades de exactitud al usarse una relación menor, del orden de 1 a 10.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Sr. Juan Vega, Dr. David Diván y la Srta. Mariana Boyeras por su desinteresada colaboración en el trabajo de campo.

BIBLIOGRAFIA

- Avery E. G. And. Burkhart H. E. 1994. Forest Measurements. McGraw-Hill Series in Forest Resources. 408pp.
- Bell J. F. and Gourley R., 1980. Assessing the accuracy of a sectional pole, Haga altimeter, and alti-level for determining total height of young coniferous stands. Southern Journal Applied Forestry 4: 136-138.
- Cieszewski C. J., 2000. Speedier height Measurements without taking horizontal distances. John Bell Inventory Newsletter.
- Curtis R. O. and Bruce D., 1968. Tree heights without a tape. Journal forestry 66 (1): 60-61.
- Curtis R. O., 1983. Procedures for establishing and maintaining permanent plots for silvicultural and yield research. Gen. Tech. Rep. PNW-155. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. 56 p.
- Husch B., Miller C. I. and Beers T. W., 1982. Forest Mensuration. 3rd Edition. John Wiley & Sons. 402 pp.
- Lison L., 1976. Estadística Aplicada a la Biología Experimental. Planificación de experiencias y análisis de resultados. Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA), Argentina. 357 pp.
- Ostle B., 1974. Estadística Aplicada. Editorial LIMUSA, México.. 629 pp.
- Pimentel Gomes F., 1978. Curso de Estadística Experimental. Trad. de la 6^{ta}. ed. en portugués por Rafael Boggio Ronceros. 1^{ra} ed. en español Ed. Hemisferio Sur, 323 pp.