

INFLUENCIA DE LOS ERRORES DE ESTIMACION DE LA ALTURA EN EL CALCULO DEL VOLUMEN

Víctor Barrena A¹
Carlos Llerena P.²

RESUMEN

La medición de la altura comercial en bosques tropicales densos es una actividad lenta y laboriosa, siendo práctica común el empleo de la simple estimación ocular, apoyada por controles instrumentales periódicos. Esta forma de medición puede inducir a cometer errores significativos. Se considera información de seis inventarios forestales y experiencias personales en varios otros. Se discuten las desviaciones potenciales en el cálculo del volumen comercial total, como consecuencia de errores en la toma de datos de altura.

SUMMARY

Measurement of merchantable tree height in dense tropical forests is both time consuming and laborious. Simple estimation supported by periodical instrumental control is the most common procedure. This mensuration technique may produce significant error. Tree height measurements in six forest inventories and personal experiences in several others In the Peruvian jungle are considered. Potential bias in the timber stock volume calculation as a result of mistaken tree height records is discussed.

INTRODUCCION

La altura del árbol es, después del diámetro, un parámetro fundamental a evaluar en inventarlos forestales. Su exacta medición es importante, puesto que ella es una de las tres variables junto con el diámetro y la forma del fuste, que se utilizan en la estimación del volumen de un árbol o de un rodal. Además, la altura refleja también la calidad del sitio.

Una de la principales dificultades que se presentan en los inventarlos forestales en bosques tropicales es la medición de la altura de los árboles. Hasta la fecha, en el Perú se ha recurrido a la estimación ocular de la altura, realizándose algunos controles instrumentales con el objeto de afinar esta estimación por parte del inventariador.

El objetivo del presente artículo es evaluar la Influencia de los errores de estimación de la altura en el cálculo del volumen.

REVISION DE LITERATURA

Con respecto a la definición de altura, FAO (1974) presente las siguientes definiciones:

Altura total: distancia vertical entre el nivel del suelo y la cima de un árbol.

¹ Profesor auxiliar, Facultad de Ciencias Forestales, UNALM

² Profesor asociado, Facultad de Ciencias Forestales, UNALM

Altura del fuste: distancia entre el nivel del suelo y el punto de inicio de la copa; expresa la altura del tronco limpio.

Altura comercial: distancia entre el nivel del suelo y la posición terminal de la última porción utilizable del árbol.

Altura del tocón: distancia entre el nivel del suelo y la posición basal del tronco principal cuando se corta el árbol.

Loetsch *et al* (1973) definen la altura comercial como la longitud del fuste desde el tocón hasta el extremo superior comercial. Generalmente no hay una definición para la altura del tocón que fluctúa, según las especies y el método de corta, desde 0.1 m hasta 0.5 m. En los trópicos, donde las raíces tablares o aletas son frecuentes, la altura comercial parte desde el extremo superior de éstas.

Por otro lado, Malleux (1974) define la altura comercial total como la altura del árbol desde el tocón hasta el extremo superior utilizable del fuste, y la altura aserrable como el número de trozas (generalmente de 3 m) que pueden salir de un árbol. En países tropicales, la altura comercial se establece frecuentemente hasta el punto que se encuentra justo debajo de la primera rama principal (Boon, 1976). Sin embargo, cuando en porciones inferiores del tronco hay irregularidades o defectos, tales como torceduras, hinchamientos o huecos, el extremo comercial se ubica debajo de estas irregularidades.

Malleux (1982) señala que la altura es probablemente uno de los parámetros menos estudiados y conocidos y, al mismo tiempo, uno de los más difíciles de medir y evaluar en los inventarios forestales, especialmente en bosques tropicales. A diferencia del diámetro, la altura requiere de mediciones indirectas ya sea con instrumentos o estimaciones, lo cual determina generalmente una menor exactitud.

A pesar de las limitaciones funcionales y prácticas en bosques tropicales, de los instrumentos de medición de alturas, Loetsch *et al* (1973) recomiendan los instrumentos simples basados en principios geométricos para la determinación de las alturas comerciales, las cuales raramente exceden los 25 m. Sin embargo, en el inventario de Jenaro Herrera (Montenegro *et al*, 1970) y en el de la SAIS Pampa (UNA, 1974), para el control de las estimaciones visuales y, en algunos casos, para el entrenamiento previo de las brigadas de trabajo, se usaron hipsómetros basados en principios trigonométricos (Suunto, Blume-Leiss, Haga), pues son de mayor precisión y más fácil manejo.

Fitje (1967), al referirse a estos instrumentos, indica que, en general, pueden sufrir los efectos de las condiciones del trópico; en especial la alta y permanente humedad atmosférica. El deterioro y pérdida de precisión son acelerados, por lo que no se debe descuidar su diario mantenimiento en el campo. Refiere, además, que por sus características de construcción, probablemente sea el Suunto el que dé mejores resultados.

Bruce y Schumacher (1965) expresan que como la medición de alturas con cualquier hipsómetro preciso es muy lenta, y por consiguiente costosa, se acostumbra sustituirla con un sencillo cálculo ocular cuando no es indispensable la precisión. Ellos señalan que con experiencia pueden obtenerse resultados sorprendentemente exactos con este método. No obstante, el cálculo ocular es muy engañoso, y a menudo produce errores considerables.

Por otro lado, Llerena (1979) indica que la estimación ocular debe ser considerada como una actividad llevada a cabo con instrumentos en la cual la vista actúa como tal y, por lo tanto, precisa la elección de una distancia adecuada, de un punto de observación de donde no se tengan problemas

para ubicar los extremos de la longitud a medir, y de un tiempo mínimo, de operación para su buen funcionamiento. Philip (1983) concuerda con esta apreciación y recomienda una distancia de medición que sea por lo menos igual a la altura del árbol.

Finalmente Malleux (1982), refiriéndose a bosques tropicales, indica que la medición de altura es un aspecto que requiere de gran dedicación y esfuerzo. Por lo general, en estos bosques no se realizan mediciones directas sino estimaciones oculares, comprobadas instrumentalmente cada cierto número de árboles. Señala, asimismo, que medir las alturas de cada árbol con instrumentos significaría, por lo menos, quintuplicar el tiempo que normalmente se requiere con el sistema de estimaciones, el que si es realizado cuidadosamente no debe tener diferencias significativas con las mediciones.

En cuanto a los errores de medición, Loetsch *et al* (1973), luego de citar a varios autores que hicieron estudios sobre los errores en las mediciones de alturas, clasificados en errores por el objeto de la medición, errores por el instrumento usado y errores relacionados con el observador, concluyen que la causa principal de error en la medición de alturas es la imposibilidad de determinar la posición exacta del extremo superior del árbol.

Para las condiciones de trabajo en bosques tropicales, Llerena (1979) explica que generalmente en la labor de campo del inventarlo se calcula el rendimiento que debe tener la brigada de trabajo en el avance del muestreo, y con base en este cálculo se asigne una tarea diaria. Cuando el trabajo presente dificultades y el tiempo se hace escaso para cumplir con la tarea encomendada, la brigada, aún sin proponérselo, puede apresurar el paso y por lo tanto disminuir el tiempo dedicado a las mediciones. En estos casos, la actividad básica más afectada es la de estimación de alturas, por ser la que requiere más tiempo, detenimiento y cuidado en su aplicación.

Una forma de compensar los eventuales errores resultantes de la estimación ocular en el cálculo del volumen serle que, para cada inventarlo forestal y según sus objetivos se siga un procedimiento prefijado, con normas de trabajo y definiciones teóricas adecuadas y precisas, complementadas con un entrenamiento práctico en el campo (Llerena, 1979).

Husch (1982) añade que se pueden lograr buenas estimaciones oculares de la altura empleando personal experimentado. Por su lado Lótsch *et al* (1973) dicen que las desviaciones debidas a defectos en el instrumento pueden limitarse con el entrenamiento y control de colaboradores dignos de confianza.

METODOLOGIA

Los datos utilizados en este trabajo provienen de los siguientes inventarlos forestales:

- Inventario forestal de los bosques de Jenaro Herrera (JH) (Montenegro *et al*, 1970).
- Inventario forestal de los bosques de Nueva Italia (ND) (Malleux, 1971).
- Inventario exploratorio de los bosques de U.T.C.F. (UTCF) (Galván y Montenegro, 1966).
- Inventario forestal de la SAIS Pampa (SP) (UNA, 1974).
- Inventario semidetallado del Bosque Nacional Alexander von Humboldt (VH) (Forestal, 1975 y Guerra, 1971).
- Inventario forestal del Bosque Nacional de Iparía (Ip) (Guerra, 1967).

La ubicación de cada uno de ellos se muestra en la Figura 1. Se seleccionaron estos inventarios porque contaban con información de campo suficiente y, además, porque las estimaciones de las alturas se habían realizado con criterios similares.

Los inventarios de los bosques nacionales de Iparía y von Humboldt presentan la información más abundante y la mayor diversidad de zonas de vida (Holdridge, 1982). Por lo tanto se les dividió en dos (IP1 e IP2) y en cuatro (VH1, VH2, VH3 y VH4), respectivamente, y fueron tratados como inventarios independientes.

Las principales características de las áreas inventariadas se muestran en el Cuadro 1.

Los árboles considerados tienen un dap mínimo de 25 cm, a excepción de los inventarios de von Humboldt o Iparía en donde el dap mínimo es 30 cm. Las alturas fueron tomadas por clases diamétricas de 5cm

Entre estos inventarios se notaron diferencias en la preparación del personal y en la planificación del trabajo de campo.

Cuadro 1. Características de los Inventarios forestales considerados.

Inventario	Fecha	Instituciones	Area muestreada (ha)	Zona(s) de vida (ONERN, 1976)
JH	1970	UNA-DMF	100	bh-T bh-T (*), bmh-T
NI	1971	COTESU	120	T
UTCF	1966	UNA-DMF	45	UA- I S bh-T, bmh-T
SP	1974	UA- I S	154	bmh-PT, bh - T
VH1	1973	UNA-MA	96	bh-T
VH2	1973	MA-DGFC	34	bmh-PT, bh-T
VH3	1973	MA-DGFC	100	bmh-T
VH4	1973	MA-DGFC	100	bp-PT, bmh-T
IP ₁	1974	MA-DGFC	165	bh-T bmh-PT, bht -
IP ₂	1974	MA-DGFC	116	T
T O T A L			1 080	

* Transicional

Para realizar el presente trabajo se consideró el diámetro a la altura del pecho (dap) y la altura comercial total por clase diamétrica. Los valores máximos y mínimos de los promedios de altura por clase diamétrica, por especie y por Inventario forestal se muestran en el Cuadro 2, donde se puede apreciar que las alturas comerciales totales mínimas fluctúan entre 6.00 y 9.26 m y las máximas entre 18.33 y 25.00 m.

Para evaluar la importancia de los errores de estimación de la altura en la estimación de; volumen se consideraron los valores máximos y mínimos de la altura comercial total por clase diamétrica. El volumen se calcula a partir de la siguiente expresión general:

$$V=AB \times h \times f \quad (I)$$

Donde:

V = Volumen del árbol

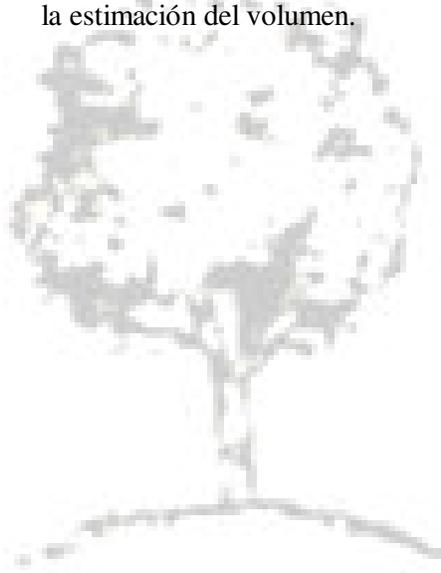
AB = Area basal

h = Altura comercial total

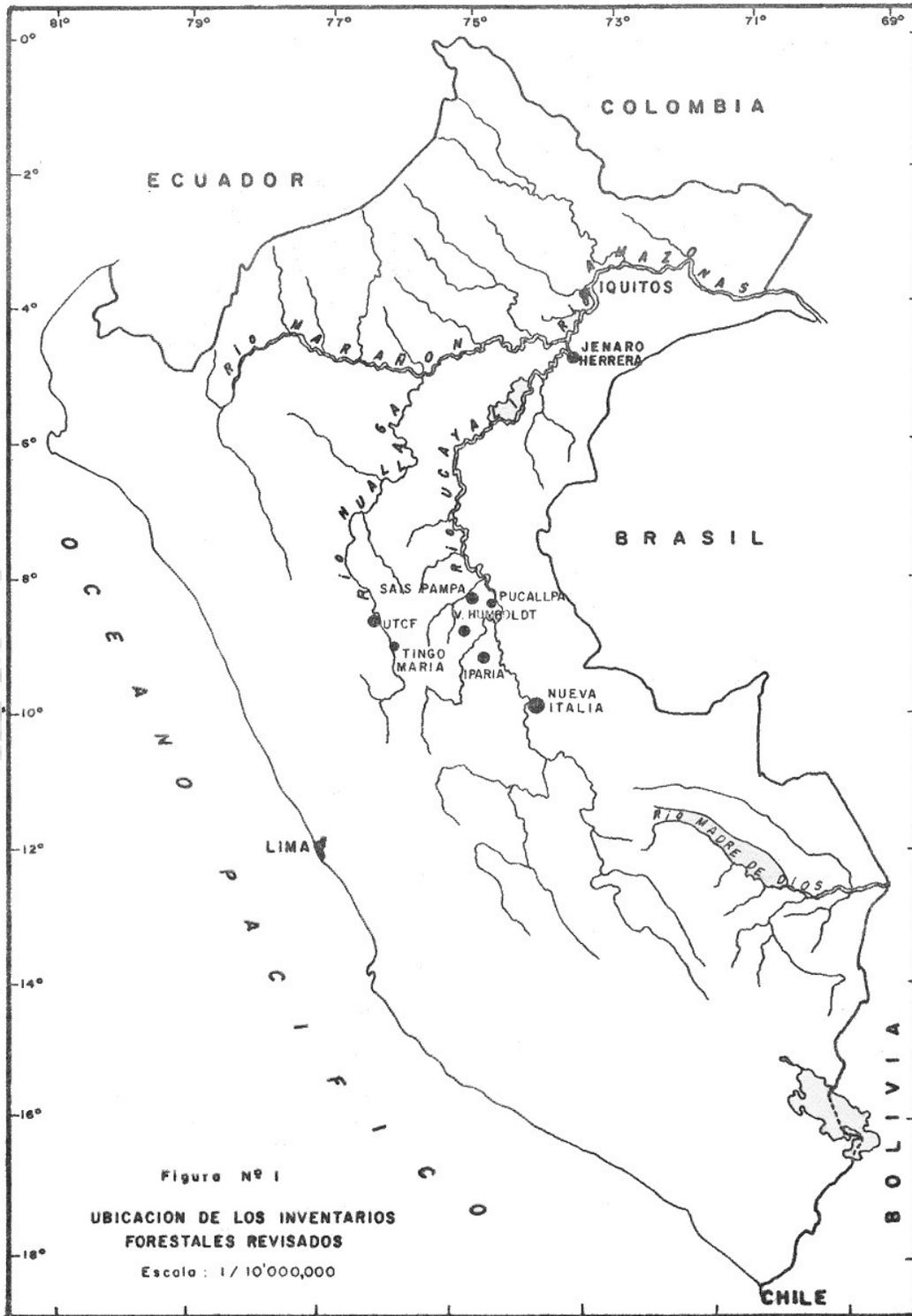
f = Factor de forma

siendo el factor de forma (f) Igual a 0.7, considerado en la literatura como un valor promedio para los bosques tropicales húmedos del Perú.

Se planteó también observar cómo varía el cálculo del volumen con los errores de estimación de la altura en función de la forma de árbol. Para ello se utilizaron los valores correspondientes a las clases diamétricas máxima y mínima de los inventarios considerados. Para el cálculo del volumen se utilizó la ecuación (I), haciendo variar el factor mórfo (f) entre 0.6 y 0.8, para observar las variaciones de la estimación del volumen.



Publisor



RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de aplicar la expresión (I) a los valores máximos y mínimos por cada clase diamétrica se muestran gráficamente en la Figura 2 donde se puede observar cómo varía el volumen de acuerdo con la variación de las alturas comerciales totales, para cada clase diamétrica.

La mayor variación del volumen se presenta en las clases diamétricas altas, debido a que un incremento relativo en volumen es aproximadamente igual al doble del incremento relativo del diámetro, más el incremento relativo de la altura, más el incremento relativo del factor de forma (Philip, 1983).

Cuadro 2. Promedios máximo y mínimo de alturas en los inventarios considerados				
Inventario	Altura Comercial Total.			
	Mínimo		Máximo	
	dap (cm)	alt (m)	dap (cm)	alt (m)
JH	tahuari		balata	
	25	8	65	18.33
NI	requia		tornillo	
	25	7.95	80	19.5
UTCF	cumalas		cumalas	
	25	7.80	80	20
SP	catahua		caraña	
	45	8	80	24.20
VHI	caraña		yacushapana	
	30	8.5	60	19.25
VH2	catahua		cumalas	
	30	8	80	21
VH3	huimba		tahuari	
	30	8	75	25
VH4	uchumullaca		machimango	
	30	9.26	80	24
IP _i	lupuna		cumalas	
	35	6.00	75	20
Ip ₂	pashaco		huayruro	
	30	8.25	80	25

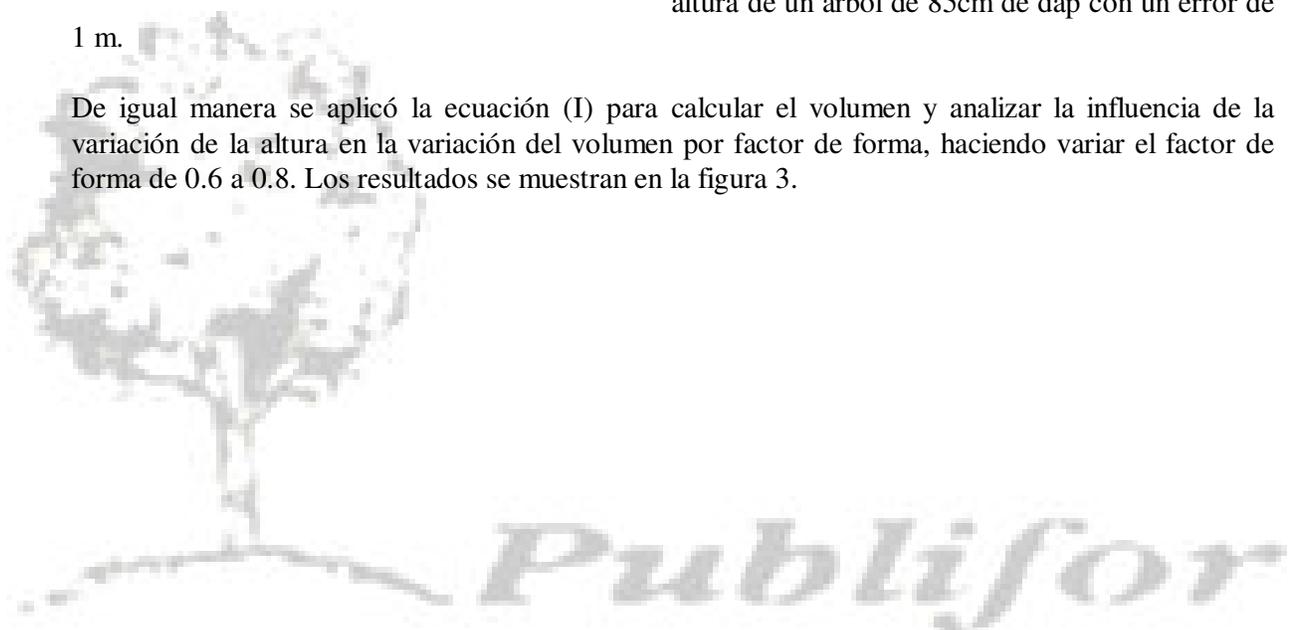
Esto no quiere decir que la variación en altura no sea importante en la variación del volumen, sino que la variación en altura es más significativa en la variación del volumen cuanto mayor es el diámetro, como se observa en la Figura 2. Dicho de otro modo, los errores en la medición de altura tendrán mayor significación en el cálculo del volumen cuanto mayor sea el diámetro.

Para sustentar esta afirmación, se han simulado errores de ± 1 m en la medición de alturas para cada clase diamétrica y se ha vuelto a aplicar la ecuación (I) para el cálculo del volumen. Luego se ha comparado este volumen con el calculado anteriormente para elaborar el rango de error. Los resultados se muestran en el Cuadro 3.

A pesar de la poca importancia de los árboles delgados individualmente, las variaciones en el rodal o por unidad de superficie pueden ser significativas, puesto que estos árboles son los más abundantes en el bosque. En el Cuadro 3, podemos notar que el error acumulado en 8 árboles de 25cm, o en 4 de 45cm es igual, en términos absolutos, el error cometido al estimar la altura de un árbol de 85cm de dap con un error de

1 m.

De igual manera se aplicó la ecuación (I) para calcular el volumen y analizar la influencia de la variación de la altura en la variación del volumen por factor de forma, haciendo variar el factor de forma de 0.6 a 0.8. Los resultados se muestran en la figura 3.



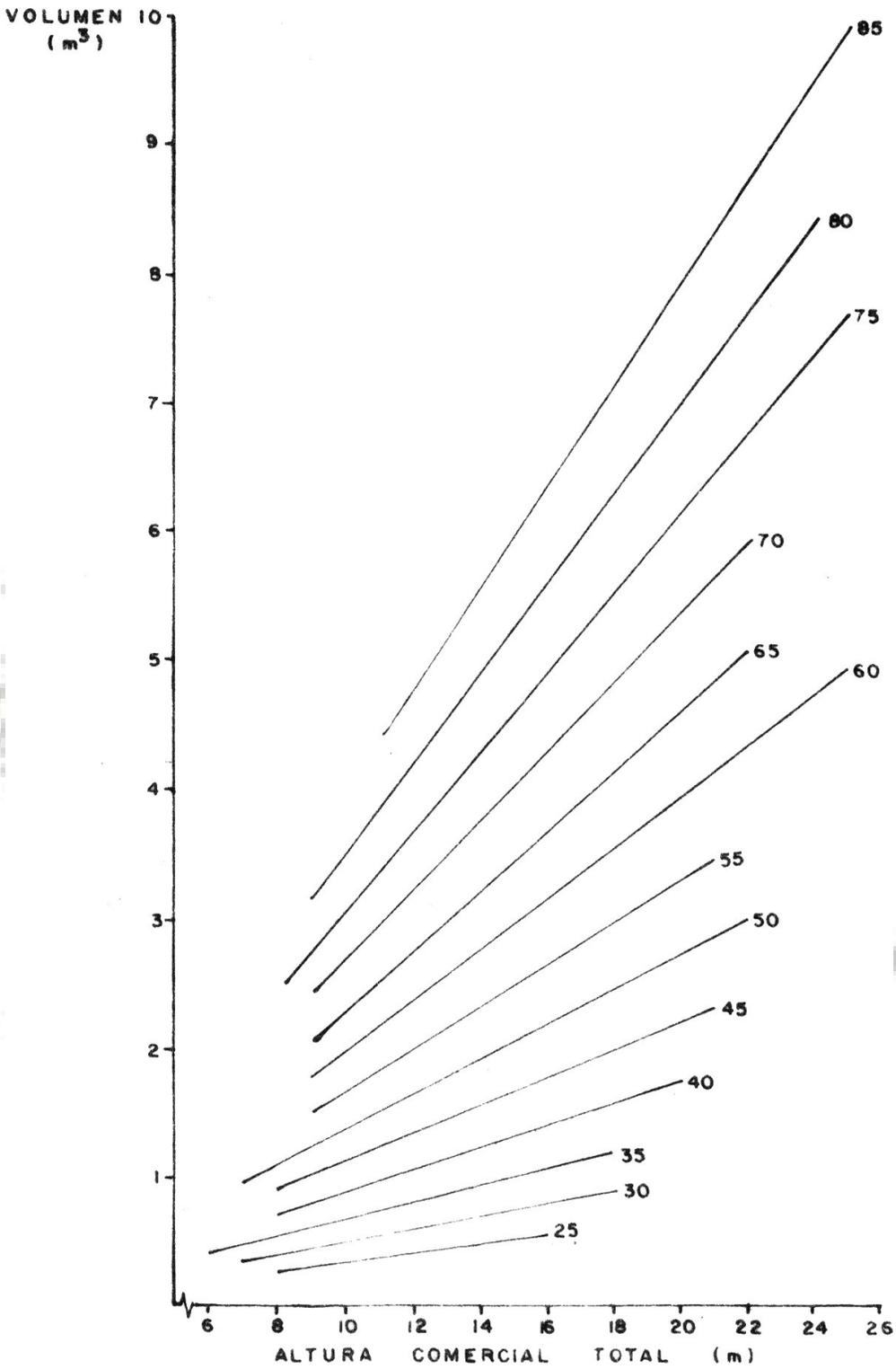


Figura. 2. Variación del volumen en función de la altura comercial total por clase diamétrica

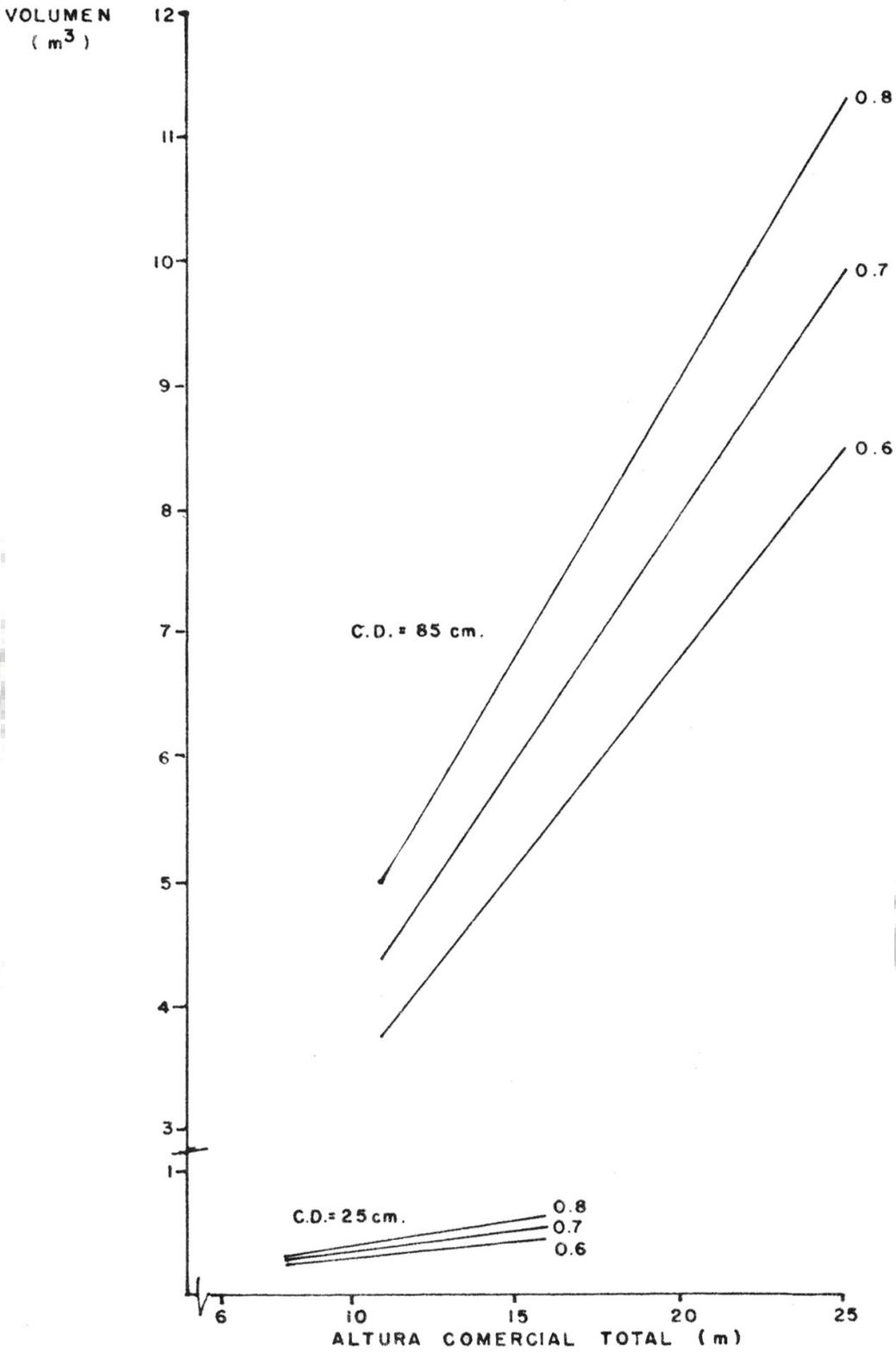


Fig. 3. Variación del volumen en función de la altura comercial total por factor de forma y clase diamétrica.

Se observa que la mayor variación de volumen se presenta cuando el factor de forma es elevado, es decir cuando más cilíndrico es el fuste.

Para comprobar esta última afirmación, se procedió a obtener la variación del volumen correspondiente a una variación de ± 1 m de altura para los factores de forma considerados; los resultados se presentan en el Cuadro 4.

Si tenemos en cuenta la observación de Larson. (1963) de que, para árboles de una misma clase diamétrica, el ahusamiento disminuye (o el factor de forma aumenta) con el aumento en altura, nos damos cuenta de la importancia que tiene la buena estimación de las alturas.

dap(cm)	Factor de forma (f)	Error en volumen *(m ³)
25	0.60	0.03
	0.70	0.02

dap(cm)	Error en volumen*(m ³)
25 - 45	+ 0.03-- + 0.10
50 - 65	+ 0.15 - + 0.20

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los errores en la estimación de la altura afectan significativamente el cálculo del volumen de los árboles, lo cual puede conducir a resultados inexactos en inventarios forestales y, por ende, a erróneas decisiones económicas y financieras.
- El error en el cálculo del volumen será mayor en los árboles de mayores dimensiones y en los de forma más cilíndrica.
- Se recomienda entrenar debidamente al personal de campo en la estimación ocular de la altura de los árboles, así como realizar controles periódicos con un hipsómetro.

BIBLIOGRAFIA

BOON, D. 1968. Forest Inventory. Delft, Holanda, ITC. 54 p.

BRUCE,D.; SCHUMACHER,F.1965.Medición Forestal. México, Centro Regional de Ayuda Técnica AID. 476 p.

FAO. 1974. Manual de Inventarlo forestal con especial referencia a los bosques tropicales mixtos. Roma. 195 p.

FITJE, A. 1967. Errors in the Height Measurement of Individual Trees. Medd. Norske Skogforsorksy 22(84): 103-107. In Forestry Abstracts 29(3). N° 4301.

FORESTAL, U.L. 1975. Inventario Forestal del Bosque Nacional Alexander von Humboldt. Lima, FAO, 45 p.

GALVAN, F.; MONTENEGRO, E. 1966. Inventario exploratorio de los bosques de la Unidad Técnica de Capacitación Forestal. Lima. Instituto de Selva. Universidad Nacional Agraria La Molina. 46 p.

GUERRA, W. 1967. Estudio preliminar sobre las asociaciones forestales del Bosque Nacional de Iparía. Lima. Servicio Forestal y de Caza. 67 p.

_____. 1971. Bosque Nacional Alexander von Humboldt. Inventario forestal exploratorio. Vol. I-A. Lima, Dirección General Forestal de Caza y Tierras. 40 p.

HOLDRIDGE, L. 1982. Ecología basada en zonas de vida. San José. Costa Rica, EUNED. 216 p.

HUSCH, B.; MILLER, CH.; BEERS, T. 1982. Forest Inventory. New York. John Willey and Sons. 402 p.

LARSON, P. 1963. Stem Form Development of Forest Trees. Forest Science Monograph N° 5 41 p.

LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K.E. 1973. Forest Inventory Vol. 2. Munich, BLV. 469 p.

LLERENA, C. 1979. Estudio de la relación dap-altura comercial en bosques tropicales del Perú. Tesis de Ingeniero Forestal. Lima, UNA La Molina. 112 p.

MALLEUX, J. 1971. Inventario forestal de los bosques de Nueva Italia. Lima, UNA La Molina. 66p.

_____. 1974. Planeamiento de Inventarios forestales. Lima, UNA La Molina. 87 p.

_____. 1982. Inventarios forestales en bosques tropicales. Lima, UNA La Molina. 414 p.

MONTENEGRO, E.; GONZALES M.; LAURENT, J. 1970. Inventario forestal de los bosques de Jenaro Herrera. Lima, UNA La Molina. 77 p.

ONERN. 1976. Mapa Ecológico del Perú; guía explicativa. Lima. 146 p.

PHILIP, M. S. 1983. Measuring Trees and Forests. Tanzania, University of Dar es Salam. 338 p.

UNA. 1974. Evaluación de los recursos forestales de la SAIS Pampa, Pucallpa. Lima, UNA La Molina. 98p.