

RELACION DAP-ALTURA COMERCIAL EN BOSQUES TROPICALES DEL PERU (*)

Por: **Carlos Llerena P.**¹
Jorge Malleux²

RESUMEN

En el presente trabajo se busca el tipo de ecuación que defina mejor la correlación existente entre el Dap y la altura comercial en bosques tropicales de la selva peruana, utilizando información seleccionada proveniente de unos 80,000 árboles evaluados en seis inventarios forestales, con un área de muestreo de 1,080 hectáreas distribuidas sobre 10 zonas de vida. En el procesamiento de datos se emplea el método "Stepwise", el cual permite definir la mejor precisión estadística entre las alternativas de ajuste lineal y parabólico. Se concluye que la función de mayor correlación, sentido biológico y utilidad práctica es la expresada por la ecuación parabólica $y = a + bx - cx^2$, para la relación Dap (x) - Altura Comercial Total (y) (longitud desde el punto de corte hasta el punto de copa).

SUMMARY

The mathematical function which best fits the merchantable length diameter relationships in the Peruvian tropical forests is the parabolic equation $y = a + bx - cx^2$. The merchantable length (distance between cutting and crown points) was estimated visually and the diameter was measured at breast height using calipers. These basic data were taken from 80,000 trees surveyed in six forest inventories, on a sampling area of 1,080 hectares, including 10 life zones (Holdridge Ecological classification, 21.). The Stepwise test procedure was used in the statistical data processing.

INTRODUCCION

Una de las principales dificultades que se debe vencer al realizar la evaluación de bosques tropicales, es la medición de las alturas de los árboles, ya que aún no se ha logrado desarrollar un método práctico, rápido y confiable para la obtención de estos datos.

Hasta la fecha, en los numerosos inventarios forestales realizados en el Perú se han empleado sistemas de toma de datos más o menos similares recurriendo siempre, como única alternativa posible, a la estimación ocular de las alturas con el apoyo, en mayor o menor medida, de controles instrumentales periódicos.

En el presente trabajo se aprovecha parte de la gran cantidad de información acumulada para analizar estadísticamente el comportamiento de las alturas estimadas en correlación con los Dap. medidos con instrumentos, con la finalidad de conocer en una primera aproximación el grado de asociación entre estos dos parámetros, y de lograr la posterior aplicación de este conocimiento en las labores de evaluación y manejo del bosque.

Una de las posibles aplicaciones de este tipo de correlaciones podría ser precisamente la estimación confiable de las alturas de los árboles, utilizando la medición del diámetro, por medio de curvas Dap

(*) Artículo en base a la Tesis de Grado presentada en la Bibliografía con el No. 13.

¹ Profesor Auxiliar, Dpto. de Manejo Forestal, UNA La Molina.

² Profesor Principal, Dpto. de Manejo Forestal, UNA La Molina.

Aceptado para su publicación el 20-11-84

-altura, trazadas por especies o por grupos de especies, con el apoyo de controles hipsométricos mínimos en el campo.

REVISION DE LITERATURA

La revisión efectuada muestra que hay mucha investigación desarrollada sobre la relación estudiada en bosques templados, en donde se usa el término de "height-diameter curves" o "h/d", en base a la altura total. En bosques tropicales existen también referencias, pero en mucho menor cantidad.

Refiriéndose a bosques templados, Chapman y Meyer (6), indican que esta relación no tiene significancia biológica; Prodam (23), refiere que es solamente una relación estocástica, gobernada por la teoría de probabilidades. Curtis (5), señala que las curvas h/d pueden ser útiles para describir el desarrollo de los rodales, para estimar las alturas, para apoyar la evaluación de calidades de sitio y para estimar crecimientos. Palotay (19), para condiciones de Hungría, considera que pueden ahorrar hasta un 20% de tiempo en la estimación de volúmenes.

Existen muchos autores europeos y americanos que presentan diferentes tipos de funciones matemáticas para la curva h/d. Stoffels y Van Soest (27), presentan la fórmula de Henriksen: $h = a \log d + b$; Myers (18) indica que la ecuación $h = a + b \log d$, es la mejor para rodales coetáneos de *Pinus contorta* en las Rocky Mountains; Rymer-Dudzinska (24), prefiere la hipérbola como el tipo de curva de mejor ajuste para Pino Scot en Polonia; Schmidt (25) en Suiza opta por la función de Korsun: $\log_e h = a + b \log_e d + c \log_e d$ para Abetos y Pinos; Curtis (5) citando a Pordan menciona que de una decena de funciones usadas en los EE.UU la preferida por su precisión es la polinomial $h = a + bd - cd^2$; Ker y Smith (9), emplean la misma relación para Canadá pero definiendo **la constante a = 4.5**. Korsun (10) en Praga, Loetsch (11) en Austria, PitaCarpenter (22), en España y Bruchwald (1) en Polonia, coinciden también en similares funciones parabólicas.

Sobre bosques tropicales y considerando la altura comercial, (h_c), Loetsch (11), opina que esta sólo está débilmente correlacionada con el diámetro. Malleux (15) defiende la utilidad de la relación $Dap-h_c$, en inventarios forestales, en la preparación de tablas de volumen y de planes de manejo, y afirma que su utilización podría significar un ahorro considerable de tiempo en las labores de campo.

Malleux y Montenegro (16), sugieren que el mejor ajuste, en condiciones del Trópico peruano puede ser logrado con la fórmula $h = a + bd - cd^2$; Veiga et al (28) utiliza similar ecuación para plantaciones de *Eucalyptus saligna* en Brasil; Loján (12), en Colombia usa también la misma función; Caballero y Zerecero (3), seleccionan para una plantación de coníferas en México la función: $h = ad^b$; y Bueno (2), obtiene buenos ajustes con una relación de la forma lineal para áreas reforestadas con *Eucalyptus globulus* en Perú.

METODOLOGIA

1. Inventarios Forestales Considerados:

- Inventario Forestal de los Bosques de Jenaro Herrera (17).
- Inventario Forestal de los Bosques de Nueva Italia (14)

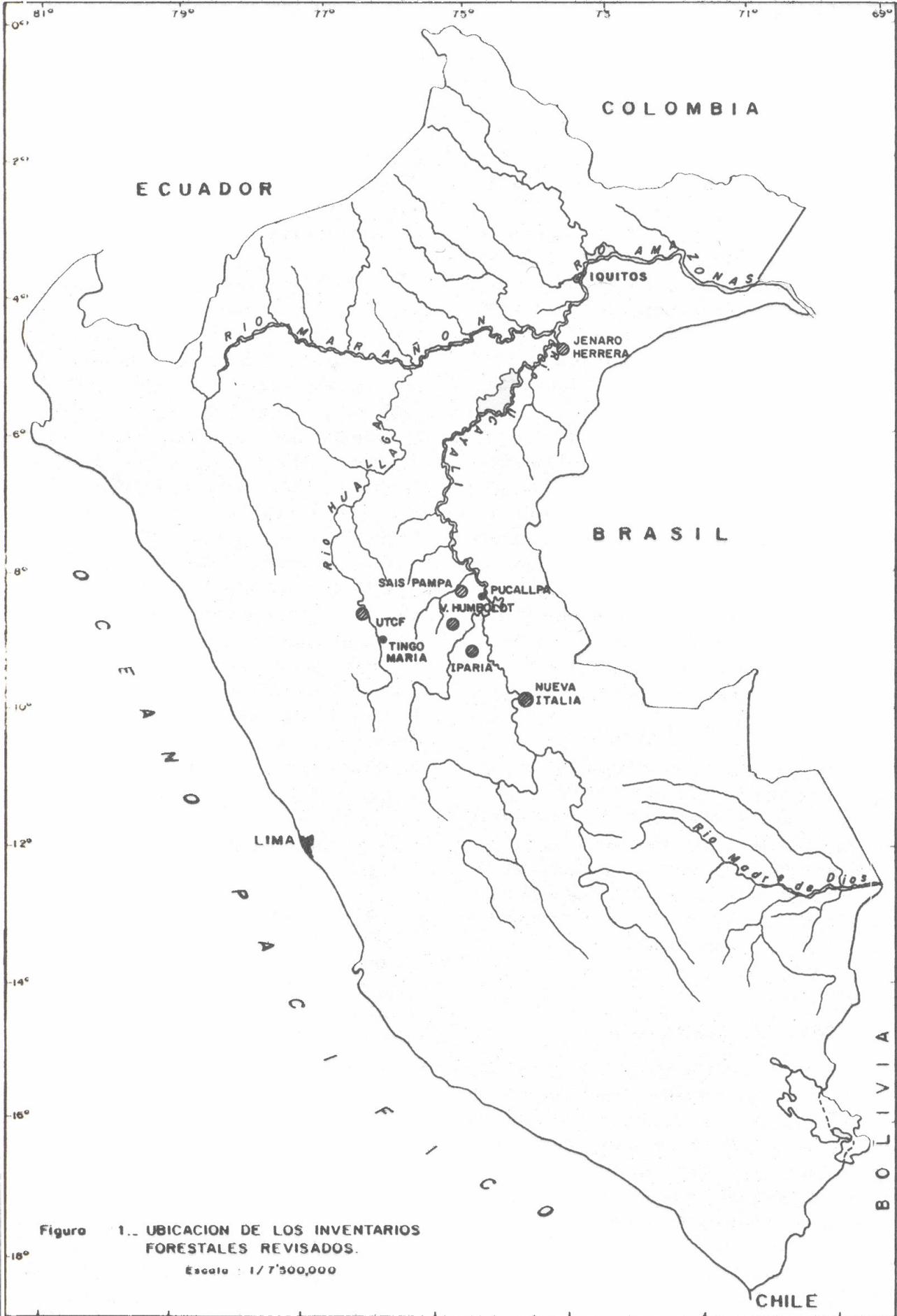


Figura 1.- UBICACION DE LOS INVENTARIOS FORESTALES REVISADOS.

Escala : 1/7'500,000

- Inventario Explotario de los Bosques de la U.T.C.F. (7)
- Inventario Forestal de la SAIS Pampa (20)
- Inventario Semidetallado del B.N.A von Humboldt.
- Inventario Forestal del B.N. de Iparía.

Estos seis inventarios fueron seleccionados ya que contaban con información de campo suficiente y disponible, y en todos ellos las estimaciones de las alturas se habían realizado con aproximadamente los mismos criterios.

Los inventarios de los B.N.A. Von Humboldt e Iparía, que presentan la mayor extensión y cantidad de información, fueron subdivididos en cuatro y dos unidades respectivamente, de acuerdo a las zonas de vida. Cada una de las subdivisiones fue tratada como si fuera un inventario independiente.

2. Características de la Información Recopilada

La información empleada provino directamente de las libretas de campo, de donde se obtuvieron los datos de alturas aserrable y comercial total y Dap. o clase diamétrica. Los Dap. mínimos fueron de 25 cm. con excepción de von Humboldt e Iparía en donde se tomó la información a partir de 30 cm.

Entre los inventarios empleados fue posible notar algunas variaciones en la preparación del personal y la planificación del trabajo de campo. Las condiciones medio-ambientales y de trabajo en general se consideraron similares.

Como se puede notar en el Cuadro 1, cada inventario utilizado tiene una zona de vida definida o transicional (21) característica. En los casos en donde el área estudiada abarcaba más de una zona de vida, los datos tomados corresponden solamente a la indicada.

3. Procedimientos y criterios para la selección y tratamiento de la información

La selección inicial de los datos fue realizada en base a la abundancia de las especies (m^3/Ha) en los inventarios revisados, quedando considerados de este modo las 80 especies más abundantes, de las cuales se procedió a eliminar aquellas con pocos datos o las especies en las cuales estos se concentraban en pocas clases diamétricas en contraposición a la distribución típica de número de árboles por clase diamétrica por especie en bosques tropicales.

El paso siguiente consistió en el ploteo de la información especie por especie, por inventario individual y luego por especie considerando todos los inventarios en conjunto con el fin de lograr una estimación preliminar de los tipos de curvas y descartar las especies con extrema dispersión. Por este procedimiento el número de especies se redujo a 54, cuyos datos ordenados para su procesamiento sumaban 378 regresiones.

En el procesamiento se eliminaron las especies que presentaban valores de F por debajo de los niveles de tolerancia programados (0.500); y en el análisis de los datos procesados con la aplicación de la prueba de hipótesis usando la distribución de F (Calzada (4), tabla IV), sólo se aceptaron las regresiones que se encontraban sobre el nivel α 0.05.

CUADRO 1
CARACTERÍSTICAS DE LOS INVENTARIOS CONSIDERADOS

Inventario		Ubicación	Fecha	Institución(es)	Area Muestreada	Zona(s) de Vida (21)
1	JH	Dist. Sapuenb Prov. Requena Dept. Loreto	1970	UNA-DIMF COTESU	100 Ha	bh - T bh - T(*) bmh-T
2	Ni	Dist. Bolognesi Prov. C. Portillo Dep. Loreto	1971	UNA - DMF	120 Ha	bh - T
3	UTCF	Prov. L. Prado Dep. Huánuco	1966	UA-IS	45 Ha.	bh-T- - - bmh-T bhm - PT -- b1n - T
4	SP	Prov. C. Portillo Dep. Loreto	1974	UNA - MA	154 Ha	bh - T
5	VH1	Prov. C. Portillo Dep. Loreto	1973	MA-DGFC	96 Ha	bh - T
6	VH2	Prov. C. Portillo Dep. Loreto	1973	MA-DGFC	34 Ha	bmh-PT -- bh-T
7	VH3	Prov. C. Portillo Dep. Loreto	1973	MA-DGFC	100 Ha.	bmh - T
8	VH4	Prov. Pachitea Dep. Huánuco	1973	. MA-DGFC	100 Ha	bp - PT -- bmh-T
9	I1	Prov. Pachitea Dep. Huánuco	1974	MA-DGFC	165 Ha	bh - T
10	I2	Prov. C. Portillo Dep. Loreto	1974	MA-DGFC	116 Ha.	bmh-PT-bh-T
TOTAL					1,080 Ha.	

(*) Transicional

El último paso en la depuración de las relaciones encontradas fue la prueba de hipótesis para los coeficientes r y R calculados en comparación con sus correspondientes valores tabulares (Steel y Torrie (26) siendo considerados los que presentaban significación para $\alpha = 0.05$.

La aplicación de estos procedimientos selectivos redujo a 44 el número de especies y a 284 el número de ecuaciones h/d.

4. Determinación del tipo de análisis estadístico a emplearse

El análisis estadístico utilizado se seleccionó en base a los siguientes criterios:

- La predominancia encontrada en la revisión bibliográfica de las ecuaciones del tipo parabólico y lineal.
- Las tendencias predominantes insinuadas en la distribución de puntos y en el trazo de curvas a mano alzada sobre los datos ploteados.
- La intención de seleccionar las relaciones consideradas "más bio-lógicas", dentro de las posibilidades a ajuste matemático de las curvas, sin descartar aquellas relaciones de tipos especiales que presentaban buen sustento informático y gráfico.

5. Procesamiento de los datos por el método "Stepwise"

Luego de tener los formularios correspondientes correctamente codificados y con una variación final, se llevó la información al Centro de Cómputo de la UNA (CEPDA), que contaba con una máquina IBM 1130, donde se realizó su procesamiento, obteniéndose la siguiente información por especie:

- a) Resumen estadístico de los datos proporcionados conteniendo: el número de pares observados, los valores mínimos y máximos, los promedios aritméticos, las desviaciones estándares y las variaciones de las variables empleadas:

Dap. (x); Altura (y) y Dap. al cuadrado (x^2).

- b) Matriz de coeficientes de correlación por pares para las variables analizadas: x, y, x^2 .

- c) Análisis de regresión y análisis de variancia de la regresión utilizando el método Stepwise para analizar:

$$y = f(x) \text{ ó } y = f(x_2) \text{ ó } y = f(x, x_2)$$

y determinar cuál es la mejor relación funcional para explicar y, evaluando en forma secuencial la ganancia significativa de precisión, por la inclusión adicional de las variables disponibles:

(x), (x_2), y (x, x_2).

Se muestran además la desviación estándar residual, el error estándar de la media, el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación, los valores estimados de los parámetros α' , β'_1 , β'_2 con sus respectivos errores estándares, y la tabla de análisis de variancia de la regresión para cada paso del análisis estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se obtuvieron las relaciones Dap- altura aserrable (relación tipo I) y Dap- altura comercial total (relación tipo II) por medio de 294 ecuaciones y cinco tipos de curva, para 44 especies.

Las curvas obtenidas son las siguientes: (Figura 2)

$$Y = a + bx - cx_2 \quad (\text{A})$$

$$Y = -a + bx - cx_2 \quad (\text{B})$$

$$Y = a - bx + cx_2 \quad (\text{D})$$

$$Y = a + bx_2 \quad (\text{E})$$

$$Y = \pm a + bx \quad (\text{L})$$

De estas, A y B; y D y E, se analizan agrupadas por presentar características comunes.

Curvas Tipo A y B

Estas dos curvas son las que presentan el trazo "más bio-lógico". La variación esperada de las alturas con el incremento diamétrico, pone en evidencia la existencia de una ley natural que rige la relación entre estos parámetros a través del tiempo, que responde en cada árbol a causas inherentes

al árbol mismo y a sus condicionamientos ambientales. Las semejanzas de las curvas A y B se dan en estos términos.

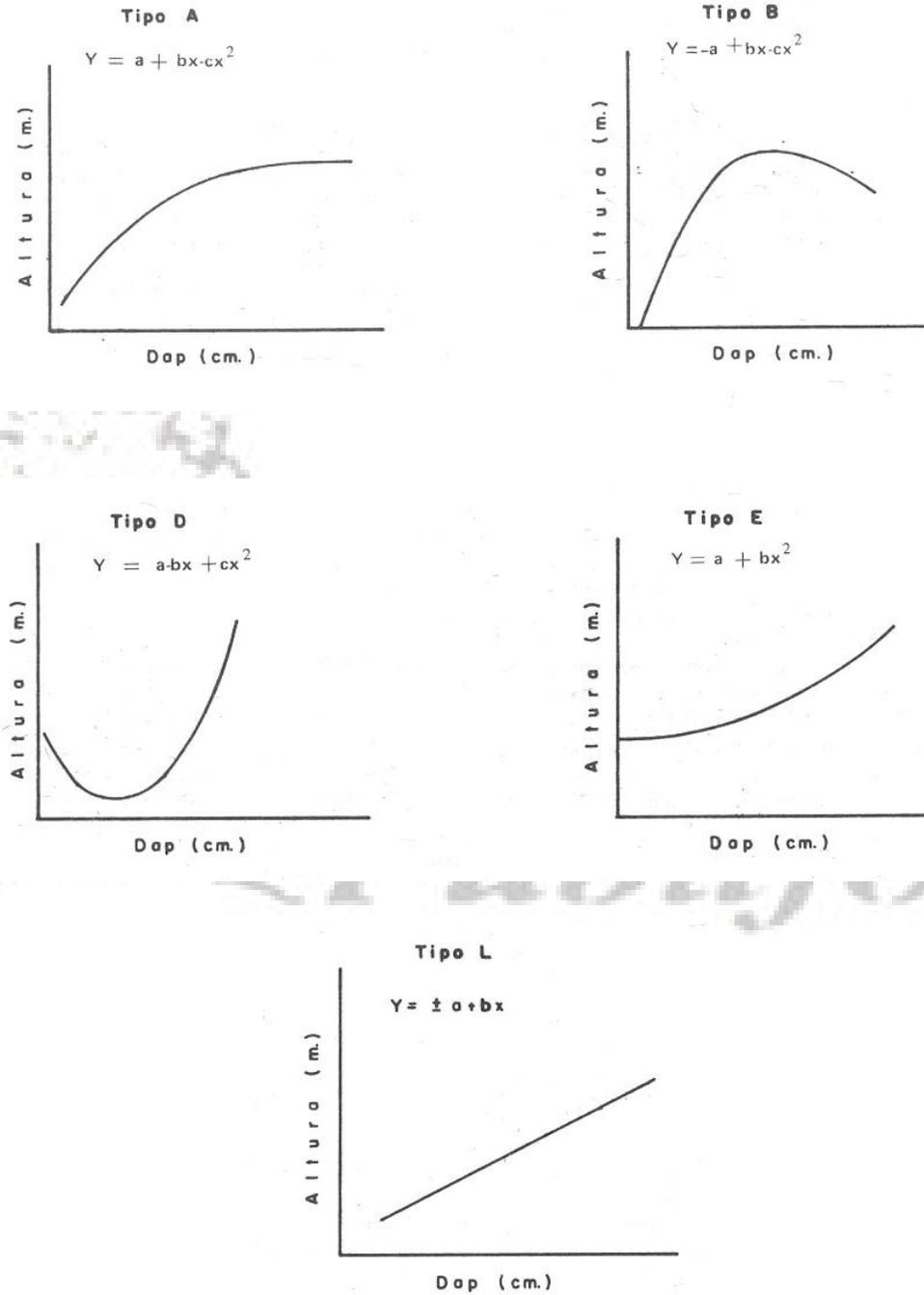


Figure 2... TIPOS DE CURVAS

Dap.. Altura oserrable
 Dap.. Altura comercial total

Las diferencias entre estas curvas se notan mayormente en su extremo superior, observándose una declinación más brusca en la curva B.

Los resultados que muestran una marcada predominancia de la curva B para las relaciones tipo I (Cuadro 2), podrían explicarse en función de la mayor calidad de fuste exigida por la altura aserrable por su forma de medición, generalmente en base a trozas de 5 m. con aproximación a la media troza, y por la mayor probabilidad de encontrar defectos en los árboles maduros o sobremaduros de las clases diamétricas superiores.

En la relación tipo II la curva A es la segunda más frecuente después de la relación L, que no está muy distante en porcentaje.

CUADRO 2

Número, y porcentaje de tipos de curvas obtenidas para las relaciones Dap - Altura Aserrable y Dap - Altura Comercial Total

Tipo de Curva	I		II	
	Dap. No.	Alt. Aserrable %	Dap. No.	Alt. Comercial Total %
A	15	9,80	37	26,1
B	78	51,30	21	14,8
D	3	2,00	6	4,2
E	15	9,80	30	21,3
L	41	27,00	48	33,6
	152	100,00	142	100,0

Regresión Tipo L.

Esta función lineal manifiesta también una relación coherente entre alturas y diámetros (a mayor Dap., mayor altura) para el rango de clases diamétricas estudiadas, y es después de las curvas A y B, el tipo de ajuste más mencionado en la literatura revisada.

Se presenta en buen número y parecidas proporciones en los tipos de relación I y II, siendo la función más frecuente en la relación tipo II, sin ser muy superior a la curva A.

Es importante indicar que en muchos casos la presencia final de la función lineal se ha decidido por estrecho margen, descartando algunas curvas A y B en el final del proceso estadístico de la selección, por haber alcanzado mayores niveles en las pruebas de F y del coeficiente de correlación o por no ser significativa la ganancia de precisión en la regresión por el uso de una curva en vez de una recta. De esta forma 16 funciones L han reemplazado a la curva A en la relación II y 5 a la curva 8 en la relación I.

Curvas D y E

Estas curvas en principio aparentemente ilógicas o incoherentes con la relación estudiada, pueden mostrarse adecuadas y aproximadas a la forma lineal si las apreciamos en su trazo de mayor pendiente.

La semejanza y el perfil especial de ambas curvas podría estar ocasionado por la sobreestimación de las alturas en las clases diamétricas inferiores y en el caso de la curva D, la presencia de árboles de gran altura (o también sobreestimaciones) en las clases de mayor diámetro.

En toda la muestra estudiada este par de curvas en conjunto se presenta con menos frecuencia que las anteriormente descritas tanto en las relaciones tipo I como en las tipo II, siendo mucho más

frecuente en ambos casos la curva tipo E que es la de menos pendiente y se aproxima más a la línea recta en todo su trazo.

En el procesamiento de los datos hay una relación de continuidad entre estas dos ecuaciones, presentándose la D frecuentemente, luego de la E en el caso siguiente de la selección de la función de mejor ajuste.

Consideraciones sobre todas las funciones

Luego del examen de los grupos de curvas similares y de la función L, podemos apreciar que a nivel global existe entre ellas un determinado grado de interrelación y consistencia.

Las curvas A y B son indudablemente las de mayor valor en este estudio en especial para las relaciones tipo II y I respectivamente y luego están las ecuaciones lineales (L) que se dan tanto para las relaciones I como para la II, siendo destacable la mayor abundancia absoluta de la función L para la relación II.

Esta mayor abundancia de L en la relación II podría, sin embargo, significar un apoyo a las curvas A ya que, como se mencionó anteriormente, en 16 casos la curva A fue desplazada por la L por mínimas diferencias durante la selección estadística y dado que la A ocupa el segundo lugar en frecuencia en esta relación.

Adicionalmente podríamos considerar también que el conjunto de curvas D y E, que forman algo más de la cuarta parte en la relación tipo II, en su sección de mayor tendencia recta para los rangos de 35 a 60 cm de diámetro (de abundantes datos), estarían reforzando el tipo de curva A, en especial si dejamos de lado los escasos datos de mayor diámetro con los cuales se dan las mayores discrepancias.

Tomando en cuenta las combinaciones entre las curvas obtenidas para las relaciones I y II, lo arriba expuesto sobre la curva A y su posible refuerzo en las funciones L, D y E, podríamos obtener que para toda la información se tendría casi un 40% de combinaciones B-A, que se da como la más lógica.

Una interpretación de las combinaciones entre estas curvas para una misma especie y las distintas formas de medición de las relaciones I y II podría asimismo llevarnos a la conclusión de que una combinación A-A indicaría que estamos frente a una especie que presenta fustes libres de defectos y sin ramificaciones bajas que disminuyan la calidad de la madera en su extremo superior; y una combinación B-B podría sugerirnos que la especie considerada presenta defectos. y por tanto tiene fuste de menor valer.

Evidentemente sería, muy difícil llegar a este tipo de definiciones en un análisis simple y especulativo como éste. Es notable además la variabilidad de las combinaciones a nivel de especie y son los datos básicos estimaciones de diversas procedencias. Sin embargo se puede notar que de las 44 especies estudiadas algunas presentan una tendencia, destacable hacia la combinación B-A; estas especies son: Chamicua (Código 14); Machimango (20); Moena (25); Pashaco (29); Shiringa (36); Yacushapana (42); y Yutubanco (43). En todos los casos mencionados la relación tipo I es definida por una curva B y la -tipo II por las curvas A o L.

CONCLUSIONES

1. La función de mejor ajuste y de mejores posibilidades de aplicación práctica, encontrada por la relación Dap-altura comercial es la forma $y=a + bx-cx^2$.
2. La altura comercial total, definida desde el punto de corte hasta el punto de copa, es el parámetro más adecuado para la evaluación del volumen, de acuerdo con el principio de máxima utilización del fuste.
3. El procedimiento Stepwise da excelentes resultados en la selección de las funciones de mejor ajuste.

BIBLIOGRAFIA

1. BRUCHWALD, A. (1970) Investigation on the relation between Height and DBH in Scots Pine Stands, Folia For. Polon (Lesn.) No. 16, 163-170. En Forestry Abstracts 32 (3) No. 4647.
2. BUENO, J. (1972) Postes de madera para líneas aéreas de conducción de energía. Convenio UNA-MEN-ITINTEC, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, 218 p.
3. CABALLERO, M. y ZERECERO, G. (1972) Estudio de una plantación comercial de coníferas. SAG. Sub-Secretaría Forestal y de la Fauna. México D.F. 109 p.
4. CALZADA, J (1964) Métodos estadísticos para la investigación. Sesator, Lima 494 p.
5. CURTIS, R. (1967) Height-Diameter and Height-Diameter-Age Equations for Second Growth Douglas Fir. Forest Science SAF, Washington DC 13 (4) 365-375.
6. CHAPMAN, H. y MEYER W. (1949) Forest Mensuration. Mc Graw Hill, N. Y. 522 p.
7. GALVAN, F. y MONTENEGRO, E. (1966) Inventario exploratorio de los bosques de la Unidad Técnica de Capacitación Forestal. Instituto de Selva. Universidad Agraria, La Molina, Lima, 36-46.
- 8.- GUERRA, W. (1971) Bosque Nacional Von Humboldt. Inventario Forestal Exploratorio. Vol. I-A Ministerio de Agricultura, Dirección General Forestal de Caza y Tierras. Lima, 40p.
9. KER, I.W. y SMITH, J.H.G. (1955) Advantages of the Parabolic Expression of Height-Diameter Relationships. Forestry Chronicle 31 (3) 236-246 En Forestry abstracts 17 (2) No. 1830.
10. KORSUN, P. (1948) The Height Curve, Lesn. Prace 27, 326-337. En Forestry Abstracts 12 (1) No. 790.
11. LOETSCH, F. ZOHRER, F. y HALLER K. E. (1973) Forest Inventory. Vol. 2, BLV, Munich 468 p.
12. LOJAN, L. (1966) Una fórmula para estimar volúmenes en un bosque tropical húmedo. Turrialba, Revista Interamericana de Ciencias Agrícolas, 16 (1) 67 - 72.
13. LLERENA, P.C. (1979) Estudio de la relación Dap-Altura comercial en bosques tropicales del Perú. Tesis para optar el Grado de Ingeniero Forestal. UNA, La Molina. Lima 112p.

14. MALLEUX, J. (1971) Inventario Forestal de los Bosques de Nueva Italia. Universidad Nacional Agraria, La Molina. Lima 66 p.
15. --- (1977) Inventarios Forestales en Bosques Tropicales (en publicación) Lima 450 p.
16. ---- y MONTENEGRO, E. (1971) Manual de Dasometría. Universidad Nacional Agraria, La Molina. Lima 216p.
17. MONTENEGRO, E., GONZALES, M. y LAURENT, J. (1970) Inventario Forestal de los Bosques de Jenaro Herrera. Universidad Nacional Agraria, La Molina, Lima 77 p.
18. MYERS, C.A. (1966) Height-Diameter Curves for tree Species Subject to Stagnation. US Forest Service, Res. Note Rocky Mountain For. Range Exp. Sta. No. RM 69.2 pags. En Forestry Abstracts 28 (3) No. 4283
19. PALOTAY, I. (1962) Standardizing Tree Height Curves. Erdo 11 (7), 305-10. En Forestry Abstracts, 24 (2) No. 2512.
20. PERU, UNA-MA. Convenio de Asistencia Técnica (1974) Evaluación de los Recursos Forestales de SAIS Pampa, Pucallpa. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima 98p
21. PERU. ONERN (1976) Mapa Ecológico del Perú. Guía Explicativa. Lima 146 p;
22. PITA CARPENTER, P.A. (1969) La relación entre la altura total y el Dap. Montes, 25 (149), 403 - 411. En Forestry Abstracts 32 (3) No. 4655.
23. PRODAN, M. (1968) Forest Biometrics, Pergamon Press Oxford 447 p.
24. RYMER-DUDZINSKA (1974) The Relation between Tree Height and Diameter as Dependent upon Various Stand Factors and Characteristics. Folia Forestalia Polonica. No. 21 155 - 172. En Forestry Abstracts 1975, 36 (11) No. 7131.
25. SCHMIDT, A. (1967) The Mathematical Smoothing of Height Curves Forstwiss. Cbl. 86 (6) 370-332 P. En Forestry Abstracts 29 (4) No. 6080.
26. STEEL, R.G.D. y TORRI E.J. H. (1960) Principles and Procedures of Statistics with Special Reference to the Biological Sciences, Mc. Graw Hill Co. Inc. 481 p.
27. STOFFELS, A. y SOEST, J. VAN (1953) The Main Problems in Sample Plots: 3) Height Regression, Ned. Boschb Tijdschr 25 (7/8) 190-199. En Forestry Abstracts 15 (1) No. 528.
28. VEIGA, R.A. de A., CARVALHO, C.M. de BRASIL, M.A.M. (1974) Relacoes Hipsométricas Altura-Diámetro en Pavoamentos de Eucaliptos, Floresta, Revista de Centro de Pesquisas Florestais do Setor de Ciencias Agrarias, Paraná 64-78.