

RELACION DIAMETRO DE COPA-DIAMETRO ALTURA DE PECHO
PARA *Pinus oocarpa*, SCHIEDE, EN SIGUATEPEQUE, HONDURAS¹ /

FROYLAN CASTAÑEDA*, CESAR ALVARADO**, RODOLFO DIAZ***,
CAROLINA DE ALVARADO***, CONRADO VALDEZ***

Summary

This report presents five regression equations that study the relationships of crown characteristics and diameter at breast height (DAP) for Pinus oocarpa, Schiede, en Siguatepeque, Honduras. The first two equations predict DAP, one using crown diameter (D. COPA) and total tree height (A), and the other using DAP only. A simple linear regression, having DAP as the only independent variable, was used to estimate D. COPA. The last two equations estimate crown length (L. COPA) using first DAP, A and length of clean bole (A. COPA), and then D. COPA, A. and A. COPA. All equations are significant at the 1.00%.

Introducción

El uso de la fotografía aérea en el campo forestal ha facilitado la labor del dasónomo de forma tal que ha reemplazado en gran parte su trabajo de campo. Diversas son las ventajas que la fotografía aérea ofrece, siendo la más notoria el poder tomar ciertas medidas con el fin de formarse una idea bastante clara y precisa de la realidad en el terreno.

A medida que su uso se ha popularizado, se han desarrollado, mejores fotografías aéreas. En la actualidad es común trabajar con fotos aéreas a escala grande (1:10 000), en las cuales se pueden tomar medidas como altura total (A) y estimar otras como lo es el diámetro a la altura de pecho (DAP) con el fin de obtener valores de volumen maderable de la zona.

1/ Recibido para su publicación el 11 de noviembre de 1981.

Los autores agradecen a la Facultad de Dasonomía de la Universidad de Idaho y a la ESNACIFOR por haber proveído parte de los fondos necesarios para llevar a cabo este estudio.

* Actualmente optando al título de Ph.D. en Aprovechamiento, Corta y Extracción de la madera en el College of Forestry, Wildlife and Range, University of Idaho, Moscow, Idaho 83843.

** Catedrático de Manejo Forestal y Fotogrametría en la ESNACIFOR.

*** Dasónomos, técnicos del Departamento de Manejo Forestal en la ESNACIFOR.

El objetivo de este estudio fue el de desarrollar modelos de predicción de DAP, diámetro de la copa (D. COPA) y longitud de la copa (L. COPA) para *Pinus oocarpa*, Schiede, en Siguatepeque, Honduras. Mediante el uso de las ecuaciones y cuadros que aquí se presentan, se podrá obtener una estimación del DAP utilizando fotos aéreas con fines de inventario. La longitud de la copa, junto con su diámetro, es información vital en una aproximación conservadora del volumen bruto de combustible disponible para incendios forestales, una vez que el bosque ha sido explotado. Es importante que al realizar estas estimaciones se asuma que la forma de la copa en esta especie se aproxima a un cono, especialmente en árboles jóvenes.

Material y método

Los datos de campo fueron tomados en el bosque de la ESNACIFOR, el cual se encuentra en la zona central de Honduras a una altura promedio sobre el nivel del mar de 1140 metros. los árboles muestra se encontraron en rodales jóvenes y densos, con crecimiento libre de copa y sin contacto con otras copas vecinas.

Para determinar el D. COPA se tomaron a cada árbol dos medidas de la copa: de norte a sur y de este a oeste. Estas dos mediciones se sumaron y luego se promediaron considerando de esta forma la base de la copa del árbol como la base de un cono. Las medidas se tomaron en dirección norte sur y este-oeste con el fin de mantener una uniformidad en las mediciones.

Los límites de la copa se consideraron hasta donde se extendía la primera rama viva "gruesa" (10 centímetros o más de diámetro al peque del fuste, ya que se observó que ramas de menos de 10 cm en esta especie, generalmente no se extienden o no crecen tanto como para definir los límites de la copa) más distante del centro del fuste siempre en dirección de los puntos cardinales. La proyección perpendicular-horizontal de las ramas hacia el suelo se tomó como los límites del D. COPA. Además, a cada árbol se le midió el DAP a 1.30 metros del suelo, altura total y altura del fuste hasta el comienzo de la copa (A. COPA). Esta altura, A. COPA, se consideró del suelo hasta la primera rama viva "gruesa".

El DAP fue medido con cinta diamétrica a la décima de centímetro más próximo y el D. COPA en metros al cuarto de metro más próximo. Las alturas se tomaron con un hipsómetro Blume-Leiss; la altura total se midió al medio metro más próximo. La longitud de la copa se determinó por la diferencia entre A y A. COPA. Todas las mediciones fueron tomadas por dasónomos con experiencia en el uso del equipo mencionado.

El tamaño de la muestra consistió en 250 árboles con las siguientes estadísticas:

	DAP (cm)	D. COPA (m)	L. COPA (cm)	A. COPA (m)	A (m)
Rango	11.1-42.0	2.34-11.65	5.20-17.04	6.80-10.00	11.00-27.00
Promedio	25.53	6.18	10.62	8.58	19.50

Una revisión de literatura indicó que los modelos de regresión más utilizados e indicados para la relación DAP/D. COPA son (2, 3, 4, 6):

$$DAP = a + b_1 \cdot A + b_2 \cdot D. COPA + b_3 (A \cdot D. COPA)$$

$$DAP = a + b_1 \cdot D. COPA$$

Para poder estimar L. COPA se analizaron varios modelos y los más indicados tomaron las formas siguientes:

$$L. COPA = a + b_1 \cdot DAP + b_2 \cdot A + b_3 (A \cdot COPA/A)$$

$$L. COPA = a + b_1 \cdot DAP + b_2 \cdot D. COPA + b_3 (A \cdot COPA/A)$$

$$L. COPA = a + b_1 \cdot DAP + b_2 (A \cdot COPA/A)$$

$$L. COPA = a + b_1 \cdot D. COPA + b_2 (A \cdot COPA/A)$$

Finalmente se analizó la relación D. COPA/DAP y el modelo que registró el coeficiente de regresión más alto fue el siguiente:

$$D. COPA = a + b_1 \cdot DAP$$

Barney *et al* (1) desarrollaron ecuaciones de predicción de D. COPA usando diámetro a la altura del tocón, o diámetro basal, en vez de DAP. Este método no se adaptó en este trabajo por carecer de este diámetro basal y por lo impráctico que es su medición en el bosque.

Resultados y conclusiones

El resultado de las regresiones más confiables aparece en el Cuadro 1. Todas las ecuaciones son significativas al 1.00%. El rango de los errores estandares resultantes fue de 0.24 a 11.0 centímetros.

DAP Y DIAMETRO COPA

De las ecuaciones 1 y 2 (Cuadro 1) que se presentan para estimar el DAP, la 2 es la más fácil y más práctica de usar, especialmente cuando se utilizan fotos aéreas. Sin embargo, en la mayoría de los inventarios forestales usualmente se toma la altura total

Cuadro 1. Ecuaciones de predicción del DAP, D. COPA, y L. COPA para *Pinus oocarpa*. Schiede, en Siguatepeque, Honduras.

Ecuación No.	Ecuación de Predicción ^a	r ²	S _{x̄} ^b
1	DAP = -3 0921 + 0.6504 A + 3.2556 D COPA - 0.032 (A · D COPA)	0.6724	0.24 cm
2	DAP = 7.7123 + 2.8824 D COPA	0.6293	0.26 cm
3	D COPA = 0.6079 + 0.2183 DAP	0.6293	0.26 cm
4	L COPA = 7.8053 + 0.0045 DAP + 0.5684 A - 18.4233 ($\frac{A \cdot \text{COPA}}{A}$)	0.9860	0.03 m
5	L COPA = 15.7578 + 0.3633 D COPA - 16.9126 ($\frac{A \cdot \text{COPA}}{A}$)	0.7738	0.11 m

a De donde: DAP = Diámetro altura de pecho, a 1.30 m del suelo (en centímetro); A = Altura total (en metros); D COPA = Diámetro de la copa (en metros); L COPA = Longitud de la copa (en metros); A COPA = Altura desde el suelo hasta el comienzo de la copa (en metros); y todas las ecuaciones son significativas al 1.00%.

b S_{x̄} = Error estándar del promedio

promedio, recomendándose en este caso utilizar la ecuación 1. Esta ecuación da un valor de r² más elevado y un error estándar de lo estimado más bajo.

Como se puede notar en el Cuadro 1, los valores del r² para las ecuaciones 2 y 3 son iguales. Esto era de esperar ya que lo único que se hizo en cada caso fue invertir la variable dependiente.

Si con la ecuación 2 se estima el DAP incluyendo un valor de D. COPA de 7 metros, el DAP equivalente sería de 27.9 centímetros. Si con la ecuación 3 se estima el D. COPA incluyendo un DAP de 27.9 centímetros, el D. COPA resultante sería de 6.69 metros. Si por el contrario, con la ecuación 3 se estima el D. COPA dándole un valor al DAP de 25 centímetros, el valor equivalente del D. COPA calculado sería de 6.06 metros. Incluyendo este mismo valor de 6.06 metros en la ecuación 2, el DAP sería de 25.19 centímetros. Estas diferencias en las predicciones se deben a varias asunciones en el sistema de cuadrados mínimos (5):

1. Cuando se estudia la relación DAP/D. COPA por ejemplo, el sistema de cuadrados mínimos asume que la variable independiente, D. COPA, ha sido medida sin error. Esto no es cierto en este caso ya que en algún error se incurrió al medir el D. COPA como la proyección perpendicular-horizantal al suelo.

2. Sin embargo, al estudiar la relación D. COPA/DAP, se asume que la variable independiente, DAP, se midió sin error, lo cual es más valedero puesto que el DAP se midió directamente a 1.30 metros con la cinta diamétrica. Por consiguiente la ecuación 3, que explica la relación D. COPA/DAP, es la más correcta.

3. Las diferencias existentes a las cuales se hace mención, también se deben a que a pesar de que el mismo método de cuadrados mínimos se aplicó para desarrollar ambas ecuaciones, las diferencias mínimas al cuadrado son distintas.

Si se usa la ecuación 2 con fines de determinar el D. COPA correspondiente a cierto DAP y evitarse así las diferencias, entonces la solución es algebraica:

$$\begin{aligned} \text{DAP} &= 7.7123 + 2.8824 \cdot \text{D. COPA} \\ \text{D. COPA} &= \frac{\text{DAP} - 7.7123}{2.8824} \end{aligned}$$

4. Sin embargo, las ecuaciones 2 y 3 pueden intercambiarse solamente cuando se trabaje alrededor o cerca de los promedios correspondientes de la muestra usada en este estudio.

De las dos ecuaciones principalmente discutidas, la 2 será de gran aplicación en inventarios forestales aéreos. La aplicación de la ecuación 3 es más que

Cuadro 2. Capacidad "física" del sitio en número de árboles por hectárea, según el diámetro de la copa para *Pinus oocarpa* Schiede, en Siguatepeque, Honduras.

DAP Centímetros	D. COPA ^a Metros	Superficie Copa Metros Cuadrados	Arboles por Hectárea
10	2.79	6.11	1637
15	3.88	11.84	845
20	4.97	19.43	515
25	6.06	28.89	346
30	7.16	40.23	249
35	8.25	53.43	187
40	9.34	68.51	146

a D COPA según la ecuación 3

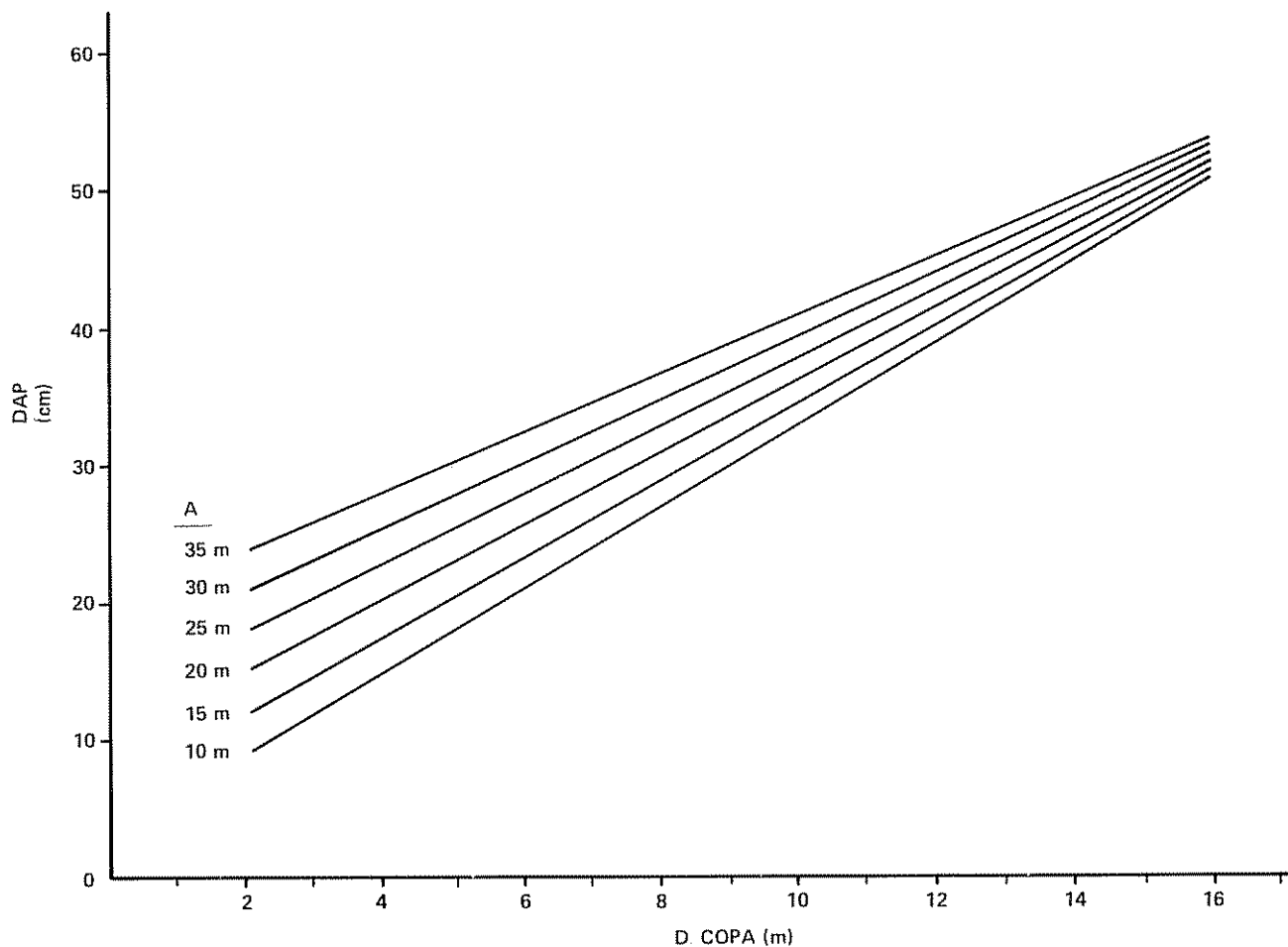


Fig. 1. Relación DAP/D. COPA a varias alturas para *Pinus oocarpa* S en Siguatepeque, Honduras, C. A. (Según ecuación 1).

todo de uso silvicultural ya que de ella se puede inferir, por ejemplo, una idea aproximada de la capacidad “física” razonable del sitio en cuanto a cantidad de fustes según DAP por unidad de superficie (Cuadro 2) y con la cual pueden sentarse normas de intensidad de raleo en una determinada zona. No se hace mención de la capacidad “biológica”, la cual será distinta a la capacidad “física” ya que su determinación requiere un estudio mucho más intenso

Finalmente, se dan las ecuaciones 4 y 5 para calcular L. COPA, dato importante de obtener para la estimación del volumen bruto de combustible dejado en el bosque después de una tala. Las dos ecuaciones tendrán mayor aplicación en aquellos sitios de corta donde la práctica es la de aprovechar el fuste limpio solamente, o como se le refiere, hasta la primera rama viva “gruesa”. Teniendo como información básica el D. COPA o el DAP, se podrá estimar, por medio

Cuadro 3. Diámetro altura de pecho según diámetro de la copa y altura total para *Pinus oocarpa*. Schiede, en Siguatepeque, Honduras, C. A.

Diámetro copa (D. COPA) (metros)	Altura total (A) en metros					
	10	15	20	25	30	35
Diámetro altura de pecho (DAP), en centímetros						
2.0	9.3	12.2	15.1	18.1	21.0	23.9
2.5	10.8	13.6	16.5	19.3	22.2	25.0
3.0	12.2	15.0	17.8	20.5	23.3	26.1
3.5	13.7	16.4	19.1	21.8	24.5	27.1
4.0	15.2	17.8	20.4	23.0	25.6	28.2
4.5	16.6	19.2	21.7	24.2	26.6	29.3
5.0	18.1	20.5	23.0	25.4	27.9	30.3
5.5	19.6	21.9	24.3	26.7	29.0	31.4
6.0	21.0	23.3	25.6	27.9	30.2	32.5
6.5	22.5	24.7	26.9	29.1	31.3	33.6
7.0	24.0	26.1	28.2	30.4	32.5	34.6
7.5	25.4	27.5	29.5	31.6	33.6	35.7
8.0	26.9	28.9	30.8	32.8	34.8	36.8
8.5	28.4	30.3	32.1	34.0	35.9	37.8
9.0	29.8	31.6	33.5	35.3	37.1	38.9
9.5	31.3	33.0	34.8	36.5	38.2	40.0
10.0	32.8	34.4	36.1	37.7	39.4	41.0
10.5	34.2	35.8	37.4	39.0	40.5	42.1
11.0	35.7	37.2	38.7	40.2	41.7	43.2
11.5	37.2	38.6	40.0	41.4	42.8	44.2
12.0	38.6	40.0	41.3	42.6	44.0	45.3
12.5	40.1	41.4	42.6	43.9	45.1	46.4
13.0	41.6	42.7	43.9	45.1	46.3	47.4
13.5	43.0	44.1	45.2	46.3	47.4	48.5
14.0	44.5	45.5	46.5	47.5	48.6	49.6
14.5	46.0	46.9	47.8	48.8	49.7	50.6
15.0	47.4	48.3	49.1	50.0	50.9	51.7

ECUACION DE PREDICCIÓN:

$$DAP = -3.0921 + 0.6504 A + 3.2556 D \text{ COPA} - 0.032 (A \cdot D \text{ COPA})$$

Tamaño de la muestra = 250 árboles

Error estándar de la estimación = ± 0.24 centímetros

Ecuación significativa al 1.00%

Coefficiente de determinación, r² = 0.6724

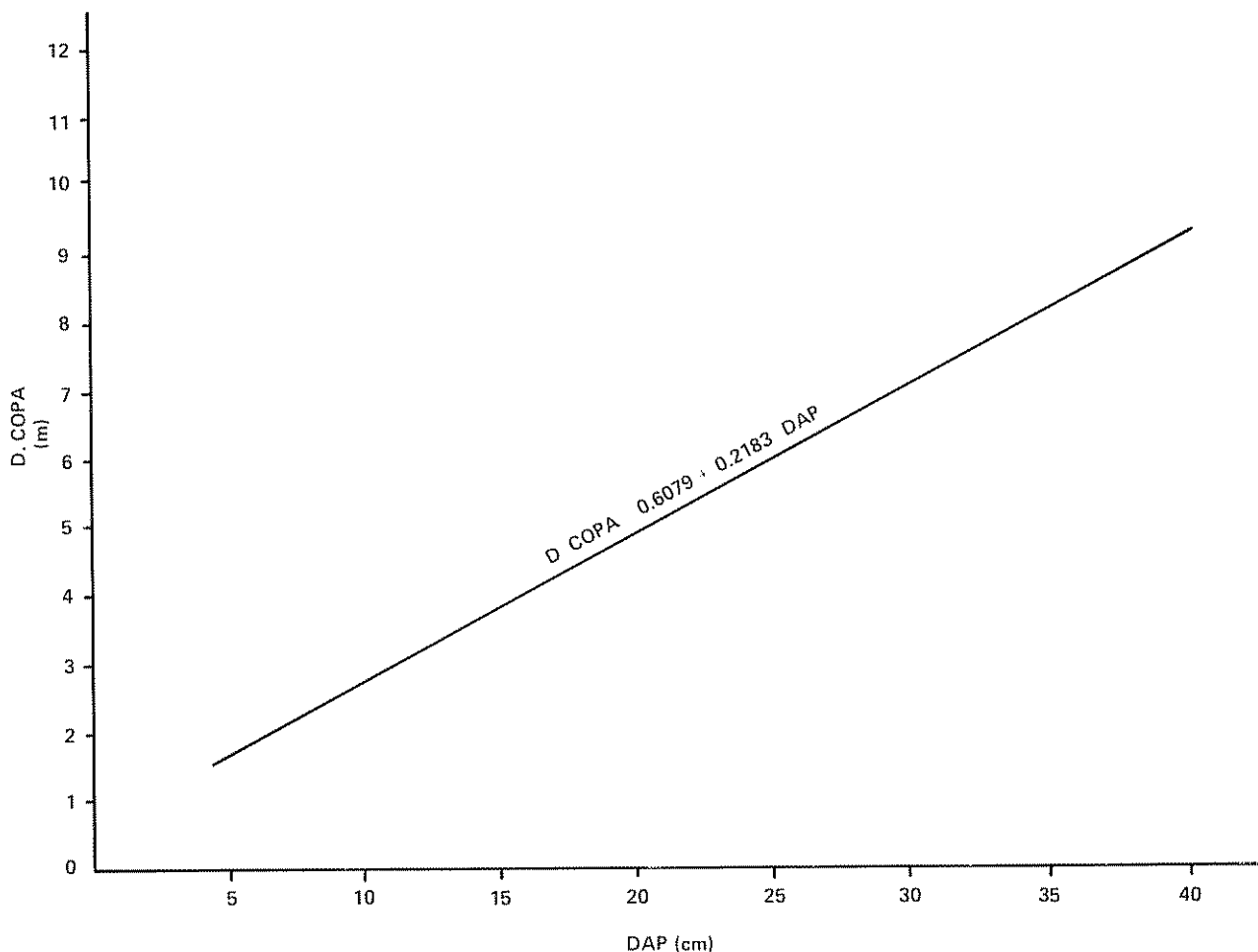


Fig. 2. Relación lineal D. COPA/DAP para *Pinus oocarpa* S. en Siguatepeque, Honduras. C. A.

de las ecuaciones dadas, la longitud de la copa. La relación $A. \text{ COPA}/A$ es un dato fácil de obtener, ya sea mediante una visita rápida a un bosque de características similares o simplemente con base en la experiencia.

La ecuación 4 es más aplicable en reconocimiento del bosque directamente en el terreno, mientras que la aplicación práctica de la ecuación 5 sería en reconocimiento aéreo.

En el Cuadro 3 se presentan las estimaciones del DAP a partir del D. COPA y A según la ecuación 1. Esta relación también se representa en la Figura 1 y se recomienda como la más correcta. Ello, sin embargo, implica la medición adicional de la variable altura total. La Figura 2 muestra la relación D. COPA/DAP.

Resumen

En este trabajo se presentan cinco ecuaciones de regresión que estudian las relaciones de características de la copa y diámetro altura de pecho (DAP) para *Pinus oocarpa*, Schiede, en Siguatepeque, Honduras. Las primeras dos estiman DAP usando diámetro de la copa (D. COPA) y altura total (A); y la segunda DAP solamente. Para estimar el D. COPA se aplicó regresión lineal usando DAP como la única variable independiente. Se dan dos últimas ecuaciones para estimar la longitud de la copa (L. COPA) en las cuales se emplearon las variables DAP, A y longitud libre del fuste (A. COPA) en una, y en la última D. COPA, A y A. COPA. Todas las ecuaciones son significativas al 1.00%.

Literatura citada

1. BARNEY, R. J., VANCLEVE and SCHLEUTER. Biomass distribution and crown characteristics in two Alaskan *Picea mariana* ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research*, 8(1):36-41. 1978.
2. BONNOR, G. M. Stem diameter estimates from crown width and tree height. *Commonwealth Forestry Review*, 47(1):8-13. 1968.
3. MINOR, C. O. Stem-crown diameter relations in Southern pine. *Journal Forestry*, 49(7):490-493. 1951.
4. SANTANDER, C. y ALBERTIN W. *Carapa guianensis*, Aubl., posible alternativa para el barrenador de las Meliaceae de los trópicos. *Turrialba* 28(3):179-186. 1978.
5. STEEL, R. G. y TORRIE J. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York. p. 1960. 480 p.
6. WILE, B. C. Crown size and stem diameter in red spruce and balsam fir. Department of Forestry, Canada; Forest Research Branch. Publication No. 1056. 1-9. 1964.

LIBROS DISPONIBLES

- ADMINISTRACION DE EMPRESAS ASOCIATIVAS DE PRODUCCION AGROPECUARIA. Héctor Murcia. 2a. reimp. 1982. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 232 p. Precio US\$ 7.00.
- ADMINISTRACION DE ORGANIZACIONES AGROPECUARIAS. A. T. Mosher. 1979. Serie Desarrollo Institucional No. 6. Un volumen de 65 p. Precio US\$ 3.50.
- COMPENDIO DE MERCADEO DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS. Gilberto Mendoza. 1a. reimp. 1982. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 288 p. Precio US\$ 9.00.
- COMUNICACION ESCRITA. Alejandro Mc Lean, 1a. reimp. 1979. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 135 p. Precio US\$ 3.00.
- CONSERVACION DE SUELOS. Fernando Suárez de Castro. 3a. edición, 1a. reimpresión, 1980. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 335 p. Precio US\$ 6.00.
- CULTIVO DE CITRICOS. Charles Morin. 2a. ed. 1980. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 610 p. Precio US\$ 14.00.
- FACTORES AGRICOLAS EN PLANIFICACION Y DESARROLLO REGIONAL. Isaac Arnon. 1979. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 422 p. Precio US\$ 10.00.
- FISICA DE SUELOS. Warren Forsythe. 1a. reimp. 1980. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 212 p. Precio US\$ 4.00.
- INTRODUCCION A LA FITOPATOLOGIA. Luis Carlos González. 3a. reimp. 1981. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 148 p. Precio US\$ 3.00.
- LA BATATA O CAMOTE. Fausto Folquer. 1978. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 144 p. Precio US\$ 4.00.
- LA INFORMACION COMO MATERIA PRIMA DEL DESARROLLO RURAL. José Emilio G. Araujo. 1978. Publicación Miscelánea 180. Un volumen de 349 p. Precio US\$ 3.00.
- LA YUCA O MANDIOCA. Alvaro Montaldo, con la colab. de J. J. Montilla, A. E. Reverón, S. Pérez y T. Gunz. 1979. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 404 p. Precio US\$ 12.00.
- MANUAL DE ADMINISTRACION DE EMPRESAS AGROPECUARIAS. Guillermo Guerra. 4a. reimp. 1982. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 352 p. Precio US\$ 7.00.
- METODOS DE INVESTIGACION FITOPATOLOGICA. Edward French y Teddy T. Hebert. 1a. reimp. 1982. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 315 p. Precio US\$ 6.50.
- MOTORES DE COMBUSTION INTERNA. Jaime Gilardi. 1a. reimp. 1982. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 133 p. Precio US\$ 4.00.
- ORGANIZACION Y ADMINISTRACION DE LA INVESTIGACION AGRICOLA. Isaac Arnon. 2a. ed. 1978. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 433 p. Precio US\$ 9.00.
- PRODUCCION DE HORTALIZAS. Ernesto Cásseres. 4a. ed. 1a. reimp. 1981. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 409 p. US\$ 7.50.
- QUIMICA DE SUELOS CON ENFASIS EN SUELOS DE AMERICA LATINA. Hans W. Fassbender, 3a. reimp. 1982. Serie de Libros y Materiales Educativos. Un volumen de 398 p. Precio US\$ 7.00.