

# ECUACIONES EDAD-DIAMETRO NORMAL ALTURA TOTAL PARA *PINUS OOCARPA* EN HONDURAS

O. FERREIRA

Centro Nacional de Investigación Forestal Aplicada (CENIFA),  
Honduras

## RESUMEN

*Pinus oocarpa* Schiede es la especie conífera más común en Honduras y la de mayor importancia económica. Para el manejo de estos bosques la edad es una medida indispensable, y en un inventario forestal los rodales deben clasificarse o estratificarse en clases de edad que indiquen su grado de madurez.

La determinación de la edad puede hacerse directamente contando los anillos en un tarugo extraído con un barreno de incremento. Sin embargo, este método tiene algunos inconvenientes.

Una alternativa práctica en lugar del conteo de anillos es la aplicación de una fórmula que relacione la edad con otros parámetros de fácil determinación como el diámetro y la altura.

En el estudio se probaron y compararon diferentes modelos matemáticos, todos de forma lineal. Las ecuaciones fueron elaboradas en base a 351 datos de parcelas permanentes de muestreo ubicadas en la región de Comayagua. Se probaron 6 modelos matemáticos diferentes y se eligieron los mejores usando como índice de comparación, la desviación estándar residual.

A partir de la ecuación seleccionada se elaboró una tabla que indica clases de edades de 5 años con sus correspondientes rangos de diámetro. La tabla entrega valores para diferentes calidades de sitio. Los resultados son aplicables a bosques de *P. oocarpa* que crece en forma natural con autoraleo. Los raleos artificiales al cambiar el diámetro promedio harán cambiar también las relaciones obtenidas.

**PALABRAS CLAVE:** Ecuaciones edad-Diámetro normal-Altura total  
*Pinus oocarpa*  
Honduras

## INTRODUCCION

En el manejo de los bosques la edad es una medida indispensable para los cálculos del crecimiento y producción de árboles y rodales, de ahí que en un inventario para Plan de Manejo los rodales se clasifican o estratifican en clases de edad que indiquen su grado de madurez.

Cuando no se conoce el año de la plantación o del establecimiento de la regeneración natural, la edad puede estimarse con un barreno de incremento, con la condición que la especie presente anillos visibles y que estos sean anuales.

La determinación o estimación de la edad con un barreno es una medición problemática por diversas razones:

— Se necesita de un barreno de incremento que generalmente en nuestra realidad no está disponible en las unidades de manejo por ser caro y muy fácil de arruinarse.

- El conteo de los anillos es una medición que lleva bastante tiempo en comparación con la medición de otros parámetros como el diámetro y la altura.
- La lectura de los anillos no es fácil y existe cierto error en el conteo porque a veces los anillos no aparecen con suficiente claridad.
- Una última razón es que se causa daño al árbol al barrenarlo para extraer el tarugo.

Una alternativa práctica para resolver el problema de la determinación de la edad es la aplicación de una fórmula que relacione la edad (variable dependiente) con otros parámetros de fácil determinación como son el diámetro y la altura (variable independiente).

Este método es una adecuada solución alternativa para especies con anillos anuales visibles y para especies que no presentan anillos visibles, como son la mayoría de las especies tropicales, es la única solución.

En este estudio se probaron y compararon diferentes modelos matemáticos que obedecen a la forma general:

$$EDAD = f(DAP, ALTURA)$$

Un método de clasificación por edad usado en el país con fines de manejo es el propuesto en el «Manual de Inventario y Prescripción de Compartimientos» (Troensegaard, 1978). Esta clasificación, usada en el bosque de pino, estratifica los rodales según la tabla siguiente:

ESTRATO	DAP (cm)	EDAD (años)	
		Manejo Intensivo	Manejo Extensivo
P I	—	0-2	0-4
P II	—	3-10	4-12
P III	10-25	11-17	12-30
P IV	25-35	18-24	30-46
P V	> 35	25-40	46-60

Este sistema es práctico pues la clase de edad o estrato resulta de la estimación del diámetro promedio de los árboles dominantes y codominantes del rodal y se aplica a bosques naturales coetáneos.

El objetivo del estudio es elaborar ecuaciones que cumplan la misma función de la tabla mencionada, pero para diferentes calidades de sitio, y de éstas derivar una tabla para cada calidad de sitio.

## MATERIAL Y METODOS

### Selección de la muestra

Las ecuaciones fueron elaboradas en base a 351 datos de parcelas permanentes de muestreo, ubicadas en la Región de Comayagua, Honduras. Estos fueron obtenidos de los archivos del Proyecto de Parcelas Permanente. Los diámetros de los árboles usados estuvieron entre 3,3 cm y 42 cm con una media de 15,3 cm, la altura entre 4,7 m y 25 m, con una media de 12,9 m y las edades entre 3 y 40 años con una media de 14 años.

**Medición de los árboles muestra**

Los árboles están distribuidos en 45 parcelas permanentes. En cada parcela se midió una muestra de árboles, la altura de los árboles en m con un hipsómetro JAL, el dap en cm con una cinta métrica y la edad (a la altura del dap) con un barreno de incremento.

**Metodología**

El método usado para procesar los datos de campo y obtener las ecuaciones de EDAD-DAP-ALTURA considera básicamente los pasos siguientes:

1. Creación de la base de datos en una computadora.
2. Análisis de regresión para obtener los coeficientes de las ecuaciones.
3. Análisis de los errores residuales de las ecuaciones.
4. Comparación entre las diferentes ecuaciones.

**Comparación de los modelos de ecuación**

Para juzgar la calidad del ajuste de una regresión existen una cantidad grande de criterios y se pueden mencionar los siguientes: análisis de varianza, coeficiente de correlación, desviación estándar residual, índice de Furnival, diferencia agregada (desviación global) y desviación media.

Es importante señalar que no se debe juzgar la calidad de una regresión, solamente por el valor numérico del coeficiente de correlación (R) pues el ajuste puede ser malo y el valor de R elevado, o viceversa, el ajuste puede ser bueno y el valor de R bajo (Caillez, 1980).

El índice usual es la desviación estándar residual y el coeficiente de variación residual. También puede usarse la diferencia agregada o la desviación media. Lo que se dijo para el coeficiente de correlación puede repetirse para cualquiera de estos índices; no permiten por sí solos apreciar por completo la calidad del ajuste (Caillez, 1980).

En este estudio las ecuaciones se comparan para elegir la mejor a través de la desviación estándar residual y la desviación global.

**Ecuaciones usadas para la relación EDAD-DAP-ALTURA**

Modelo	Ecuación
(1)	$E = (DH)/(a + b DH)^2$
(2)	$\log E = \log a + b \log DH - cDH$ $E = A DH^b e^{-cDH}$
(3)	$E = (DH)^2 / (a + b DH + c(DH)^2)$
(4)	$E = a + b / DH$
(5)	$\log E = \log a + b \log DH$ $E = A DH^b$
(6)	$E = a + b DH + C(DH)^2$

donde:

E = edad en años.

D = diámetro a la altura del pecho en cm (DAP = DN).

H = altura total en metros.

a, b, c = constantes.

La ecuación entre paréntesis corresponde a la forma exponencial de la ecuación logarítmica.  
Fórmulas y símbolos usados:

R = Coeficiente de correlación.

DA = Diferencia agregada.

Eo = Edad observada.

Ee = Edad estimada.

$\bar{E}o$  = Edad media.

Syx = Error estándar residual.

$Syx = \sqrt{\Sigma(Eo - Ee)^2 / (n - k)}$

$DA = ((\Sigma Eo - \Sigma Ee) / \Sigma Ee) \times 100$

$R = \sqrt{\Sigma(Ee - \bar{E}o)^2 / \Sigma(Eo - Ee)^2}$

K = grados de libertad

## RESULTADOS

Las estimaciones de los coeficientes de las distintas regresiones y sus respectivos índices de exactitud se presentan en las Tablas 1 a 7. Los resultados se presentan para el conjunto de todos los datos, en la llamada ecuación general (Tabla 1) y para los índices de sitio 2 (Tabla 2), índice de sitio 3 (Tabla 3) e índice de sitio 4 (Tabla 4).

La Tabla 5 es una tabla de EDAD-DAP-ALTURA que indica la altura y edad promedio en función del DAP promedio y según la calidad de sitio.

La Tabla 6 indica el DAP promedio del rodal en función de la edad y según la calidad del sitio.

La Tabla 7 indica el intervalo del DAP por clase de edad, según la calidad de sitio.

La Tabla 8 muestra el rango de edades (EDAD) por estrato, según calidad de sitio.

La Figura 1 presenta las ecuaciones graficadas.

TABLA 1  
COEFICIENTES Y EXACTITUD DE LAS ECUACIONES PARA TODOS LOS SITIOS  
NUMERO DE DATOS: 351 ARBOLES

*Equation coefficients and accuracy indexes for all the studied stands.  
Number of data: 351 trees*

MODELO	COEFICIENTES			INDICES DE EXACTITUD		
	a	b	c	R	DA	Syx
(1)	14,39750	0,19187	—	0,962	4,96 %	4,13
(2)	-0,11220 (0,8938)*	0,50794	-0,0000126	0,818	3,63 %	3,97
(3)	-560,70000	15,06800	0,020667	0,958	7,14 %	8,74
(4)	17,72680	-503,39000	—	0,600	0,00 %	5,09
(5)	-0,10244 (0,9026)*	0,50549	—	0,818	3,62 %	3,97
(6)	5,02050	0,047101	-0,0000266	0,782	0,00 %	3,97

\* = antilogaritmo.

donde:

a, b, c = constantes.

R = coeficiente de correlación.

DA = diferencia agregada.

Syx = desviación estandard de la regresión (error residual).

**TABLA 2**  
**COEFICIENTES Y EXACTITUD DE LAS ECUACIONES PARA EL SITIO 2**  
**(21,6 METROS A LOS 20 AÑOS)**  
**NUMERO DE DATOS: 82 ARBOLES**

*Equation coefficients and accuracy indexes for Site Index 2 stands.*  
*Number of data: 82 trees*

MODELO	COEFICIENTES			INDICES DE EXACTITUD		
	a	b	c	R	DA	Syx
(1)	20.2550	0,1348	—	0,971	2,6 %	2,98
(2)	-0,3235 (0,7236)*	0,5016	0,000153	0,879	8,41 %	2,85
(3)	-1198,2000	24.2890	—	0,645	0,00 %	7,52
(4)	15,6179	-490.2900	—	0,645	0,00 %	4,18
(5)	-0,4619 (0,6301)*	0,5354	—	0,879	2,40 %	2,59
(6)	4,7446	0,0305	0,000070	0,881	0,00 %	2,60

\* = antilogaritmo.

**TABLA 3**  
**COEFICIENTES Y EXACTITUD DE LAS ECUACIONES PARA EL SITIO 3**  
**(18,4 METROS A LOS 20 AÑOS)**  
**NUMERO DE DATOS: 108 ARBOLES**

*Equation coefficients and accuracy indexes for Site Index 3 stands.*  
*Number of data: 108 trees*

MODELO	COEFICIENTES			INDICES DE EXACTITUD		
	a	b	c	R	DA	Syx
(1)	15,23300	0,185714	—	0,965	3,62 %	3,92
(2)	(1,94390)*	0,303960	0,0010815	0,877	2,62 %	3,29
(3)	572,70000	17.790000	0,0119900	0,966	1,71 %	8,05
(4)	17,21040	454,440000	—	0,630	0,00 %	5,45
(5)	-0,09030 (0,91365)*	0,500850	—	0,865	3,64 %	3,42
(6)	4,85500	0,040917	-0,0001060	0,900	0,00 %	3,19

\* = antilogaritmo.

**TABLA 4**  
**COEFICIENTES Y EXACTITUD DE LAS ECUACIONES PARA EL SITIO 4**  
**(15,2 METROS A LOS 20 AÑOS)**  
**NUMERO DE DATOS: 103 ARBOLES**

*Equation coefficients and accuracy indexes for Site Index 4 stands.*  
*Number of data: 103 trees*

MODELO	COEFICIENTES			INDICES DE EXACTITUD		
	a	b	c	R	DA	Syx
(1)	13,17500	0,181579	—	0,964	3,67 %	4,44
(2)	-0,59860 (0,5496)*	0,662700	-0,000702	0,810	2,57 %	4,39
(3)	-601,70000	12,705000	0,018527	0,955	0,47 %	6,18
(4)	22,76710	-1037,100000	—	0,662	0,00 %	4,73
(5)	0,01000 (1,01005)*	0,518650	—	0,806	1,52 %	4,33
(6)	6,28700	0,054444	-0,000032	0,723	0,00 %	4,38

\* = antilogaritmo.

**TABLA 5**  
**EDAD-DAP-ALTURA**

*Age-DBH-Height*

DAP cm	GENERAL		SITIO 2		SITIO 3		SITIO 4	
	Altura	Edad	Altura	Edad	Altura	Edad	Altura	Edad
5	6,1	5,1	7,3	4,3	5,2	4,7	5,1	5,4
10	10,1	9,3	11,4	7,9	9,6	9,0	9,2	10,5
15	13,1	13,0	14,4	11,2	12,9	12,3	12,2	15,0
20	15,1	16,3	16,6	14,1	15,3	16,1	14,4	19,1
25	16,9	19,2	18,2	16,7	17,1	19,0	16,1	22,7
30	18,1	21,3	19,5	19,5	18,5	21,6	17,3	26,0
35	19,0	24,1	20,4	21,2	19,5	24,0	13,2	29,0
40	19,7	26,2	21,0	23,2	20,2	26,1	18,9	31,7

La Tabla anterior se obtuvo a partir de las siguientes ecuaciones:  
 Sitio General:

$$H = 21,580 - (20,9405/e^{0,06D}) \quad E = 0,90263(DH)^{0,50549}$$

Sitio: 2

$$H = 22,930 - (21,0480/e^{0,06D}) \quad E = 0,63010(DH)^{0,53540}$$

Sitio: 3

$$H = 22,880 - (22,086/e^{0,06D}) \quad E = 0,91360(DH)^{0,50085}$$

Sitio: 4

$$H = 20,787 - (21,096/e^{0,06D}) \quad E = 0,97326(DH)^{0,52555}$$

Las ecuaciones de altura que se usaron resultaron de ajustar las alturas y diámetros a la ecuación mencionada.

PINUS OOCARPA EN HONDURAS

Donde:

H = altura total en metros.

D = DAP en centímetros

E = edad en años.

**TABLA 6**  
**DAP-EDAD**  
*DBH-Age*

EDAD Años	General	DAP (cm)		
		Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
5	4,8	5,9	5,2	4,6
10	10,8	13,0	11,2	7,4
15	17,8	21,7	18,3	15,0
20	26,8	32,0	26,7	21,2
25	36,8	44,8	37,2	28,4
30	50,0	60,4	50,0	36,8
35	—	79,4	66,2	46,8

La Tabla 6 fue obtenida del gráfico de la curva EDAD-ALTURA-DAP correspondiente a cada sitio.

**TABLA 7**  
**INTERVALO DEL DAP POR CLASE DE EDAD**  
*DBH Intervals/Age Classes*

ESTRATO EDAD	General	DAP (cm)		
		Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
0-5	< 5	< 5	< 5	< 5
6-10	6-10	6-13	6-11	6-7
11-15	11-18	14-21	12-18	8-15
16-20	19-26	22-32	19-26	16-21
21-25	27-36	33-45	27-37	22-28
26-30	37-50	46-60	38-50	29-36

**TABLA 8**  
**INTERVALO DE LA EDAD POR DAP**  
*Age intervals for DBH*

ESTRATO		General	EDAD		
			Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
P	I	0-2	0-2	0-2	0-2
P	II	3-9	3-8	3-9	3-10
P	III	10-19	9-16	10-19	11-22
P	IV	20-24	17-21	20-24	23-29
P	V	25-40	22-40	25-40	30-40

## RELACION EDAD-DNcc-ALTURA

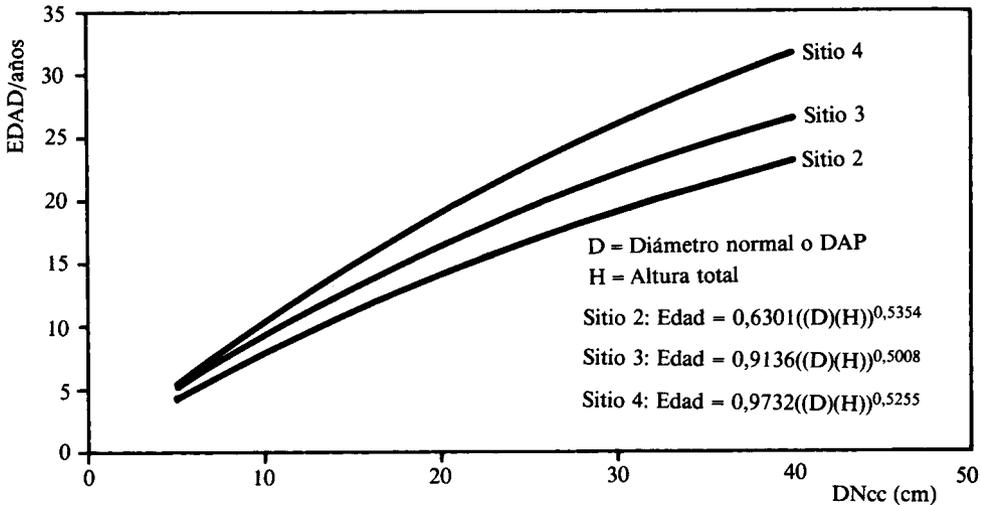


Fig. 1

## DISCUSION DE RESULTADOS

Según el error estándar residual (Syx) y la diferencia agregada (DA) las ecuaciones que presentaron el mejor ajuste fueron:

$$\text{Modelo (5)} \quad E = a(DH)$$

$$\text{Modelo (6)} \quad E = A + bDH + C(DH)^2$$

$$\text{Modelo (2)} \quad E = a(DH) e^{-cDH}$$

El modelo (3) fue la ecuación que mostró el mayor error estándar residual, sin embargo, su coeficiente de correlación fue siempre uno de los mayores. El modelo (2) y el modelo (5) son muy similares en su forma y resultados. En el ajuste de todos los datos (ecuación general), estas dos ecuaciones coinciden plenamente en sus resultados (Figura 1 y Anexo 1). El modelo (2) que se diferencia del modelo (5) por el factor  $c DH$  es más adecuado para una muestra de árboles de mayor edad, donde aparece la etapa de crecimiento decreciente. En bosques jóvenes como los de la muestra solamente aparece la etapa de crecimiento creciente y crecimiento constante.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados de este estudio se concluye que hay diferencia en los rangos de edad obtenidos para el sitio general y los rangos de edad en cada sitio.

La Tabla 8 permite además conocer los rangos de edad para diferentes calidades de sitio.

Los rangos de edad por estrato son los mismos para el sitio general (sitio promedio) y para el sitio 3, esto permite concluir que cuando no se hace diferenciación de sitio en la estratificación, el sitio promedio corresponde al sitio 3.

## ANEXO 1

## EDADES ESTIMADAS POR LAS DIFERENTES ECUACIONES PARA TODOS LOS SITIOS

DAP cm	ALT. m	N.º de árbol.	Edad real	Edad estimada (años)					
				Ecuaciones					
				(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
4	5,1	4	5,8	1,2	4,1	—	—	4,1	6,0
6	7,0	11	6,0	3,3	6,0	16,6	5,7	6,0	6,9
8	8,6	39	7,8	6,0	7,7	8,2	10,4	7,7	8,1
10	10,1	45	8,6	8,7	9,3	8,7	12,7	9,3	9,5
12	11,4	45	12,2	11,0	10,8	9,9	14,0	10,8	11,0
14	12,5	27	12,4	13,1	12,3	11,3	14,9	12,3	12,5
16	13,6	38	15,0	14,7	13,7	12,8	15,4	13,7	14,0
18	14,5	33	15,7	16,1	15,0	14,2	15,8	15,0	15,5
20	15,3	22	16,1	17,3	16,3	15,6	16,1	16,3	16,9
22	16,0	21	15,8	18,2	17,5	17,0	16,3	17,5	18,3
24	16,6	18	19,6	19,0	18,6	18,2	16,5	18,6	19,6
26	17,2	14	19,6	19,7	19,7	19,4	16,6	19,7	20,7
28	17,7	14	23,0	20,3	20,8	20,5	16,7	20,8	21,8
30	18,1	5	18,0	20,8	21,8	21,5	16,8	21,8	22,7
32	18,5	4	26,5	21,2	22,7	22,5	16,9	22,8	23,6
34	18,9	5	23,8	21,6	23,6	23,4	16,9	23,7	24,3
36	19,2	2	25,5	21,9	24,5	24,2	17,0	24,6	24,8
38	19,4	2	27,5	22,2	25,4	25,0	17,0	25,4	25,3
40	19,7	1	26,0	22,5	26,2	25,7	17,1	26,3	25,6
42	19,9	1	24,0	22,7	27,0	26,4	17,1	27,1	25,8

En la Tabla 7 se propone una ampliación de los estratos de los 5 estratos originales a 8 estratos con clases de edades de 5 años.

Las calidades de sitio 1 y 5 no fueron consideradas en el estudio debido a que la cantidad de datos en éstos no era suficiente.

Las ecuaciones de EDAD-DAP-ALTURA permiten estimar la edad, conociendo el DAP y altura promedio del rodal.

Para concluir es importante señalar que los resultados son aplicables a bosques de *Pinus oocarpa* que crecen en forma natural, y que éstos cambiarán según el tipo y la intensidad del manejo, especialmente la frecuencia y la intensidad de los raleos harán cambiar el diámetro promedio.

## SUMMARY

Age-DBH-Total Height equations for *Pinus oocarpa* in Honduras

*Pinus oocarpa* is the most frequent conifer species in Honduras and the one with the highest economical value. Age is an essential parameter for forest inventory and management purposes provided that any stand must be stratified directly by counting tree rings in the core after boring. However, this method has some disadvantages. A practical alternative to boring is the use of mathematical equations relating age and other parameters that are easier to determine, such as diameter and height.

Several mathematical linear models were tested in this study. The equations were obtained with data from 341 permanent sample plots established in the region of Comayagua. Six mathematical models were tested and then the best ones were selected using their residual error as an index. Age/DBH tables of the selected model were built for each site index class. The results are only applicable to *Pinus*

*ocarpa* native stands under selfthinning treatments. Artificial thinning practices would result in changes in the mean stand diameter and consequently in changes in the other relationships.

**KEY WORDS:** Age-DBM-Total Height equations  
*Pinus oocarpa*  
Honduras

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ADLARD P., 1982. Clases de modelos de crecimiento de masas forestales y tipos de variables necesarias para su calibración. En reunión sobre Modelos de Crecimientos de Arboles y Masas Forestales, Septiembre 2 al 5, 1982, Uruapan, Mich. México, p. 47-53.
- LOJAN L., 1967. Cálculo de la edad en árboles sin anillos anuales. *Turrialba* 17(4):419-429. Costa Rica.
- PRODAM M., 1968. *Forest Biometrics*. Tr. por Sabine H. Gardiner Pergamon Press, New York, p. 341-394.
- TROENSEGAARD I., 1978. Manual de Investigación, de Inventario y Prescripción de Compartimiento. Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal. Nota Técnica, 33 p. Tegucigalpa, Honduras.
- VINCENT A. J., 1961. The value of periodic girth measurement taken of individual trees of single species from tropical evergreen rain forest, Malaya. En *Proceedings Thirteenth International Union of Forest Research Organizations*, September, 1961, Viena, Austria. V. /, p. 25/5-S/3.