

# MODELOS DE CRECIMIENTO PARA UNA PLANTACIÓN DE CAOBA (*Swietenia macrophylla* King).

Cuevas García Xavier \*  
Parraguirre Lezama Conrado \*  
Rodríguez Santiago Bartolo \*

## RESUMEN.

La caoba (*Swietenia macrophylla* King), es la principal especie nativa utilizada en la industria en las zonas tropicales de México.

A pesar de su importancia económica, hay poca o nula información cuantitativa sobre el crecimiento y desarrollo de la especie, imprescindible para llevar a cabo programas de manejo. Una de las alternativas para obtener dicha información es mediante el estudio de plantaciones, tanto las establecidas en las estaciones experimentales, como las existentes en el área de influencia de la distribución natural de la especie.

Con base en datos del Campo Experimental Forestal (C E F), "San Felipe-Bacalar", situado en el estado de Quintana Roo, México, se probaron diferentes modelos para la predicción del crecimiento promedio en altura total y diámetro normal en una plantación de caoba de 28 años de edad.

Se determinó que, en estas condiciones, las ecuaciones que mejor se ajustan al desarrollo del crecimiento en la etapa de la juventud de la especie son las funciones exponenciales.

Palabras clave: Modelos de crecimiento, caoba, plantaciones forestales, Quintana Roo.

## ABSTRACT.

Mahogany (*Swietenia macrophylla* King), is the main native species used in the industry in tropical areas in Mexico.

\* Investigadores del Campo Experimental Forestal "San Felipe-Bacalar" Quintana Roo. CIR-Sureste. INIFAP-SARH.

In spite of its economic significance, there is little or no quantitative information on the species growth and development; this is essential to develop management programs.

One of the alternatives to drive this information is by studying established plantations in experimental or other stations available in areas influencing the species natural distribution.

By using data available at "San Felipe-Bacalar", Campo Experimental Forestal (C E F), in Quintana Roo, Mexico, several models were tested for average growth prediction in terms of total height and normal diameter for a 28 year old mahogany plantations.

It was found that, under these conditions, the equations best suited for growth development during the species young stage are exponential functions.

Key words: Growth models, mahogany, forest plantations, Quintana Roo.

## **INTRODUCCIÓN.**

Los estudios de crecimiento de árboles y masas forestales son una herramienta de gran utilidad en la correcta toma de decisiones sobre tratamientos silvícolas y aprovechamiento de los bosques, ya que además facilitan la cuantificación de sus respuestas.

Aunque los estudios de crecimiento tengan como objetivo primordial cuantificar la producción forestal, tienen una estrecha relación con la silvicultura de las especies en particular o con grupos de especies con requerimientos ecológicos similares.

Los modelos de predicción por lo general proporcionan información cuantitativa, pero también llevan intrínseca información de tipo ecológico y de planificación ambiental.

El uso de modelos matemáticos en el manejo forestal, permite describir en forma cuantitativa algunas relaciones de crecimiento, mediante funciones continuas de tipo sigmoideal, que proporcionan una valiosa ayuda en la toma de decisiones de manejo forestal, para la obtención de una producción sostenida y constante de las masas arboladas, preservándolas y fomentándolas para futuras generaciones.

Esta necesidad nos conduce a tratar de generar modelos aproximados, pero que, con cierto grado de precisión, nos permitan predecir las tasas de crecimiento de los árboles o masas forestales en un momento dado y para una condición específica.

## OBJETIVO.

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo es:

- Determinar ecuaciones para predecir crecimiento e incremento en altura total y diámetro normal promedio de una plantación de caoba en el C E F "San Felipe-Bacalar".

## ANTECEDENTES.

Las plantaciones forestales generalmente forman bosques uniformes, de estructuras homogéneas y composición uniespecífica o de pocas especies de requerimientos ecológicos similares.

Por definición son de edad conocida y se manejan bajo un sistema de corta total, con o sin aclareos intermedios. La regeneración puede ser por plantación, siembra artificial, natural o por brotes<sup>1</sup>.

Para la predicción del crecimiento hay una amplia variedad de modelos posibles a utilizar, aunque para generarlos, el principal factor limitante de la efectividad de los mismos, es la disponibilidad de datos acerca de las plantaciones en cuestión, que cubran una amplia gama de sitios, edades y densidades de los rodales, Alder *op. cit.*

Palmer, *cit. pos.* Rose en 1989, señaló que un requerimiento esencial para el desarrollo de modelos es el control de calidad en la recolección y manejo de datos, para evitar el aumento de las variaciones inexplicables, debido a que esos modelos alterados podrían ser poco útiles para diseñar sistemas de manejo y para cuantificar las opciones en la toma de decisiones forestales<sup>2</sup>.

Los modelos estáticos de predicción de rendimiento son aquéllos en los cuales el rendimiento se calcula como una función de variables independientes, tales como la edad, clase de sitio e historia de la densidad de los rodales<sup>3</sup>, Alder *op. cit.*

Los modelos que se usan para predecir la altura y el diámetro del rodal a partir de la edad

<sup>1</sup> Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento.

<sup>2</sup> Rose, D. 1990. "Importancia y limitaciones en el desarrollo y uso de modelos para el manejo de plantaciones tropicales con especies de uso múltiple". pp. 315-328.

<sup>3</sup> Ramírez M., H. y Fierros G., A. "Estimación del crecimiento y rendimiento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* a través de su distribución diamétrica". pp. 459-474.

y por medio de la estrecha relación entre estas variables y el volumen del rodal, pueden predecir el crecimiento volumétrico en sitios específicos, según lo señaló en 1984 Smith *cit pos.* Campos<sup>4</sup>.

También son útiles para desarrollar tablas de rendimiento para diferentes calidades de sitio, Campos *op. cit.*

De acuerdo a Castaño y Quiroga<sup>5</sup>, el modelo matemático más utilizado y validado para el crecimiento durante todo el ciclo de vida de los árboles (joven, adulto, maduro y viejo) es el modelo logístico cuya ecuación es:

$$y(x) = \frac{M}{1 + M C e^{-k M x}}$$

donde:

x = edad

y (x) = crecimiento a la edad x

M = cota de crecimiento (máximo crecimiento al que puede llegar un árbol de determinada especie).

k = tasa de crecimiento (%) que cumple con la siguiente condición:

$$\frac{\delta x}{\delta x} = k y (M - y) = f (y)$$

C = (1/y<sub>0</sub>)

e = exponente

Esto significa que el crecimiento absoluto del árbol por incrementos de edad, depende del crecimiento del árbol.

- De aquí que  $f(M) = 0$ .
- Si se tiene la condición inicial  $y(0) = y_0$  y  $c = (1/y_0) - 1/M$ , con  $0 < y < M$ .
- Se tienen entonces que  $c > 0$ .
- Por lo tanto, en la medida que x aumenta, pasado un cierto nivel de y.
- El crecimiento de acerca asintóticamente a la cota M.

<sup>4</sup> Campos A., J. J. 1989. "Curvas de índice de sitio para *Eucalyptus camaldulensis* en América Central". pp. 351-365.

<sup>5</sup> Castaño, F. y Quiroga, F. 1989. "Comparación de modelos de crecimiento en experimentos de adaptación de especies forestales en primera fase, realizados en la cuenca alta del río Cauca, zona andina colombiana". pp. 421-439.

- Si  $y(0)$  es pequeña y,
- $x$  no es muy grande,
- Entonces  $y(x)$  tiende a  $y(0)e^{kx}$ .
- O sea, en la etapa de la juventud, el crecimiento se puede modelar con una función exponencial.

Si la intensidad de la curvatura en los primeros periodos de la edad es pequeña, entonces el crecimiento, en la etapa de la juventud, se puede modelar con una función lineal simple de la forma:

$$y(x) = \beta_0 + \beta_1(x)$$

El crecimiento y rendimiento de los bosques uniformes puede ser modelado a nivel de rodal completo, por categorías diamétricas o por el árbol individual.

Los modelos a nivel de rodal son apropiados para la mayor parte de los propósitos y muchos más simples de construir, Alder, *op. cit.*

La relativa alta precisión que es posible lograr con los modelos de crecimiento y rendimiento para rodales uniformes, proviene en parte de la posibilidad de clasificar sitios.

Ésto es una consecuencia de la edad normalmente conocida y de que las dimensiones de los árboles pueden ser estimadas fácilmente, Alder *Ibidem.*

Los componentes del rendimiento de mayor interés para los administradores forestales son:

- Volumen.
- Diámetro promedio.

El número de árboles usualmente es la base para definir:

- Tratamientos de aclareo.
- Altura para la clasificación de sitio.

Y la combinación de ambas con el diámetro promedio para determinar la producción maderable, Alder, *idem.*

En la mayoría de los casos, el uso del diámetro promedio significa ciertas ventajas en términos de generar un modelo general, ya que si no se cuenta con él y se quiere predecir área basal o volumen por hectárea, es necesario desarrollar alguna función que permita obtener posteriormente el diámetro promedio.

Además, como el diámetro normal es poco sensible al efecto multiplicativo de las diferentes densidades, esta influencia desaparece, de manera que las relaciones resultantes reflejan efectos más reales, Alder *idem*.

La altura de un rodal uniforme a una edad dada es un buen indicador del potencial productivo del bosque y de ese sitio en particular. Es por eso que la construcción de curvas edad/altura para determinar clases de sitio es el primer paso para construir modelos de crecimiento y rendimiento.

Sin embargo, la altura promedio de un rodal es sensible a la edad, densidad y clase de sitio, afectándose principalmente por el incremento y la continua eliminación de individuos.

Generalmente se usa la altura dominante para definir la altura del rodal, ya que ésta es casi insensible a diferencias de densidad del rodal<sup>6</sup>, Alder *op. cit.*; Campos *Ibidem*.

Bajo algunas circunstancias en bosques tropicales uniformes, la altura dominante deja de ser un buen indicador de la clase de sitio. Ésto ocurre en rodales jóvenes de especies de rápido crecimiento y en otros en los que varían notablemente sus ritmos de crecimiento.

Por lo cual, la altura dominante se define como la obtenida de un muestreo grande que puede variar de 200 a 400 árboles por hectárea, Alder, *idem*.

Por otro lado, la altura promedio no muestra el mismo patrón de desarrollo que la altura de árboles individuales, por lo que es frecuente en la práctica forestal, utilizar la altura promedio para determinar la producción de los rodales; ya que de acuerdo a la Ley de Eichorn, la producción total de una masa coetánea está en función de su altura media.

Lo anterior significa que la producción total de una masa coetánea puede determinarse mediante regresiones generadas con base en su altura media, aun cuando se desconozca su edad u otras dimensiones, Klepac, *op. cit.*

## **MATERIALES Y MÉTODOS.**

Este trabajo se desarrolló en una superficie de 1.5 hectáreas en la Zona II del C E F "San Felipe-Bacalar".

---

<sup>6</sup> Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales.



Está ubicado entre las coordenadas geográficas 18° 46' a 18° 51' de latitud norte y 88° 17' a 88° 32' de longitud oeste.

Tiene una altitud promedio de 10 metros, en el municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo, México<sup>7</sup> (cfr. Revista Ciencia Forestal N° 3).

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García<sup>8</sup>, el clima es un Aw (x')i, o cálido subhúmedo con lluvias en verano y parte del invierno.

La oscilación térmica<sup>9</sup> es menor de 5 °C.

El terreno es plano y de acuerdo a la terminología maya, el suelo es de tipo Ya'axhoom o luvisol, según la clasificación de la F A O-U N E S C O.

En 1964, en esta área fue establecida una plantación de caoba (*Swietenia macrophylla* King), en una superficie de 12 hectáreas. El método de plantación fue cepellón en cepa común, con un espaciamiento de 2 metros entre plantas y 4 metros entre hileras, desarrollándose los árboles en forma natural durante los siguientes 10 años.

En 1974, personal del campo experimental retomó 6 hectáreas de la plantación, aplicando una serie de tratamientos de limpieza:

- Total.
- En brechas.
- Circular.
- Testigo.

También se llevaron a cabo tomas de datos de altura total y diámetro normal en forma periódica.

A la fecha, en archivos se cuenta con datos promedio para las variables altura total y diámetro normal de 1974 a 1980 y los datos de campo de 1983, 1986 y 1992 para la parcela de 1.5 hectáreas donde se aplicó limpieza total a partir de 1974, así como la aplicación de un aclareo por lo alto en 1986.

Es en esta superficie donde se llevó a cabo el trabajo.

---

<sup>7</sup> Chavelas P., J. 1981. "Campo Experimental Forestal San Felipe-Bacalar". pp. 65-82.

<sup>8</sup> García, E. 1983. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana).

<sup>9</sup> I N E G I. 1986. Anuario estadístico del estado de Quintana Roo.

Para estimar el desarrollo del crecimiento periódico promedio de la plantación de caoba, comprendido entre los 10 y 28 años de edad, se realizó un análisis de regresión por el método de mínimos cuadrados, para modelar el comportamiento del crecimiento de las variables altura total y diámetro normal, en función de la edad, las cuales se presentan gráficamente.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

Con base en el análisis de regresión, se obtuvieron resultados para las variables:

- Altura total.
- Diámetro normal promedio.

Así como las variables derivadas:

- Incremento en altura total.
- Incremento en diámetro normal.

### **Crecimiento en altura total.**

Con los pares de datos de edad y altura total promedio, se ajustó el modelo lineal:

$$Y_i = B_0 + B_1(X_i)^2$$

obteniéndose la ecuación (1):

$$A_{Ti} = 4.001819805 + 0.011130916(EDAD)^2 \quad (1)$$

De acuerdo con el análisis de varianza, se observa que el modelo presenta un valor alto para el coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.94$ ); un bajo valor del cuadrado medio del error (CME = 0.3997275) y un alto nivel de significancia ( $Pr = 0.0001$ ).

Lo anterior indica un ajuste satisfactorio del modelo y que existe evidencia altamente significativa de que la ecuación obtenida: (1), predice el crecimiento en altura total promedio de caoba en el rango de 10 a 28 años de edad, bajo las condiciones de la zona de estudio.



FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN	NIVEL DE PROBABILIDAD
REGRESIÓN	1	49.70610798	0.94	0.0001**
ERROR	8	0.35976275		
TOTAL	9			
PARÁMETROS ESTIMADOS		VALOR DE $B_i$		NIVEL SIGNIFICANCIA
ORDENADA AL ORIGEN (BO)		4.001819805		0.0001**
EDAD <sup>2</sup> ( $B_i$ )		0.011130916		0.0001**

\*\* Altamente significativo al nivel de probabilidad indicado.

**Cuadro N° 1.** Análisis de varianza para el modelo:  $AT_i = 4.001819805 + 0.011130916(EDAD)^2$  que predice el crecimiento en altura total promedio para árboles de caoba entre 10 y 28 años de edad en el C E F “San Felipe-Bacalar”.

Como se hizo una transformación de datos y se probaron varios modelos, los cuales no podían ser comparados directamente para la bondad de ajuste usando el coeficiente de determinación, ya que la distribución de los residuales estaría influenciada por cualquier transformación de las variables y la regresión podría ser sesgada.

Para la elección de la mejor regresión se usó el índice de Furnival (I F) (Furnival, 1961, *cit pos.* Alder).

En el cuadro 2 y la figura 1 (*vid., infra*), se observan los valores y la tendencia del crecimiento e incrementos en altura total promedio proyectados a partir de la ecuación: (1).

EDAD (años)	AT (m)	IMAA (m/año)	IPA (m/2 años)	DN (cm)	IMAD (cm/año)	IPD (cm/2 años)
10	5.11	0.51	-----	6.27	0.63	-----
12	5.60	0.47	0.49	7.21	0.60	0.94
14	6.18	0.44	0.58	8.32	0.59	1.11
16	6.85	0.43	0.67	9.60	0.60	1.28
18	7.60	0.42	0.75	11.05	0.61	1.45
20	8.45	0.42	0.85	12.68	0.63	1.62
22	9.39	0.43	0.93	14.47	0.66	1.80
24	10.41	0.43	1.03	16.43	0.68	1.96
26	11.52	0.44	1.11	18.57	0.71	2.14
28	12.73	0.45	1.20	20.87	0.75	2.30

AT = altura total promedio.

IPA = incremento periódico en altura total.

IMAD = incremento medio anual en diámetro normal.

IMAA = incremento medio anual en altura total.

DN = diámetro normal promedio.

IPD = incremento periódico en diámetro normal.

**Cuadro N° 2.** Proyección del crecimiento e incremento en altura total y diámetro normal promedios para árboles de caoba entre 10 y 28 años de edad.

De acuerdo con Klepac *op. cit.*; Rojas y Rovalo<sup>10</sup>; Castaño y Quiroga *op. cit.*, el comportamiento de la curva de crecimiento en altura total promedio, indica que en este lugar y en este período de la edad, los árboles de caoba son aún jóvenes y están en una etapa de crecimiento acelerado o en la fase central de la curva de crecimiento normal (sigmoide) de los árboles, sin que hayan llegado al punto de inflexión donde culmina el incremento corriente anual.

Los coautores Pennington y Sarukhán<sup>11</sup> mencionan que la caoba es un árbol de hasta 70 m de altura.

<sup>10</sup> Rojas, G. M. y Rovalo, M. 1984. Fisiología vegetal aplicada.

<sup>11</sup> Pennington, T. D. y Sarukhán K., J. 1968. Manual para la identificación de campo de los principales árboles tropicales de México.

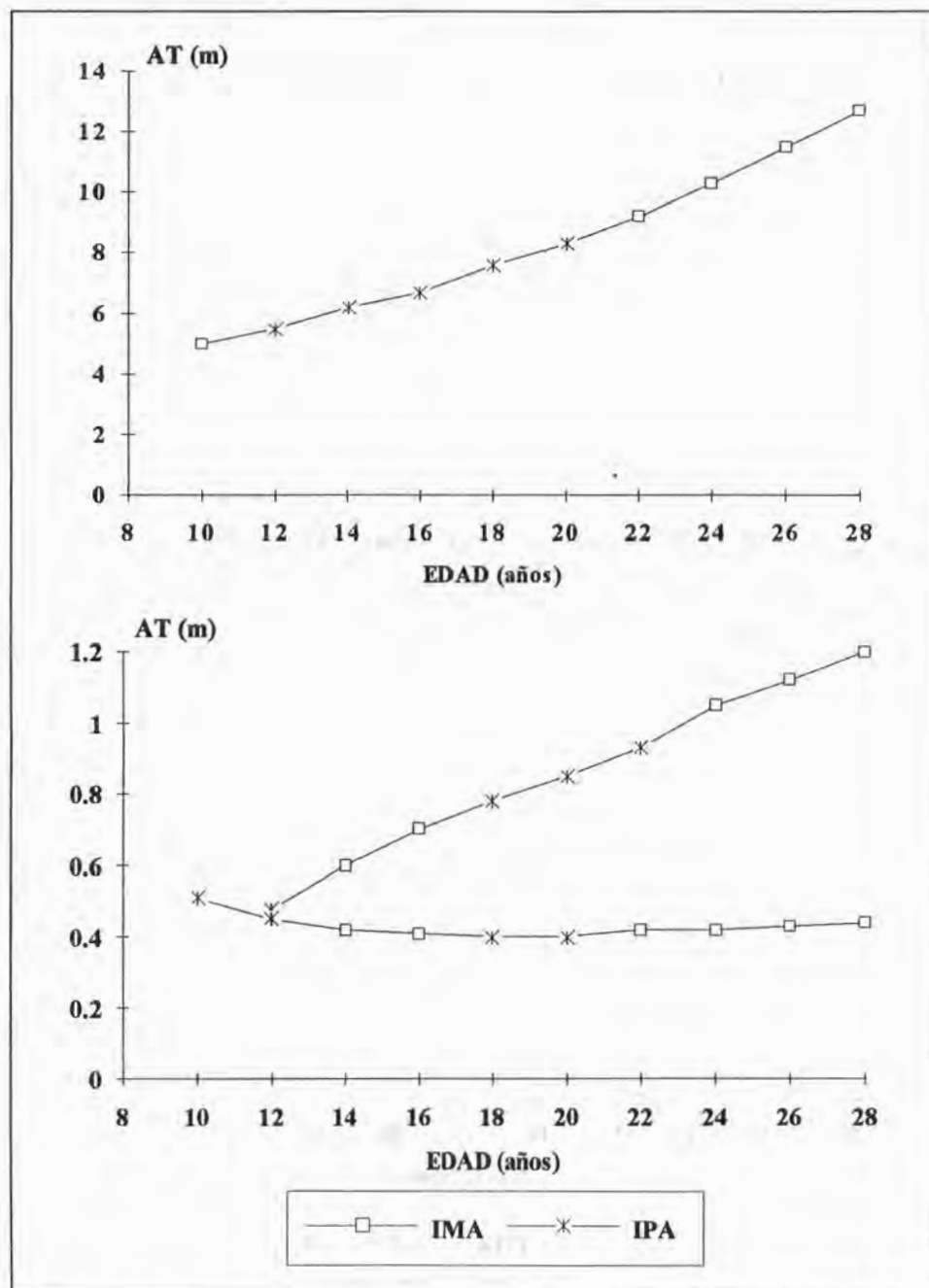


Figura N° 1. Crecimiento e incremento en altura total promedio de caoba

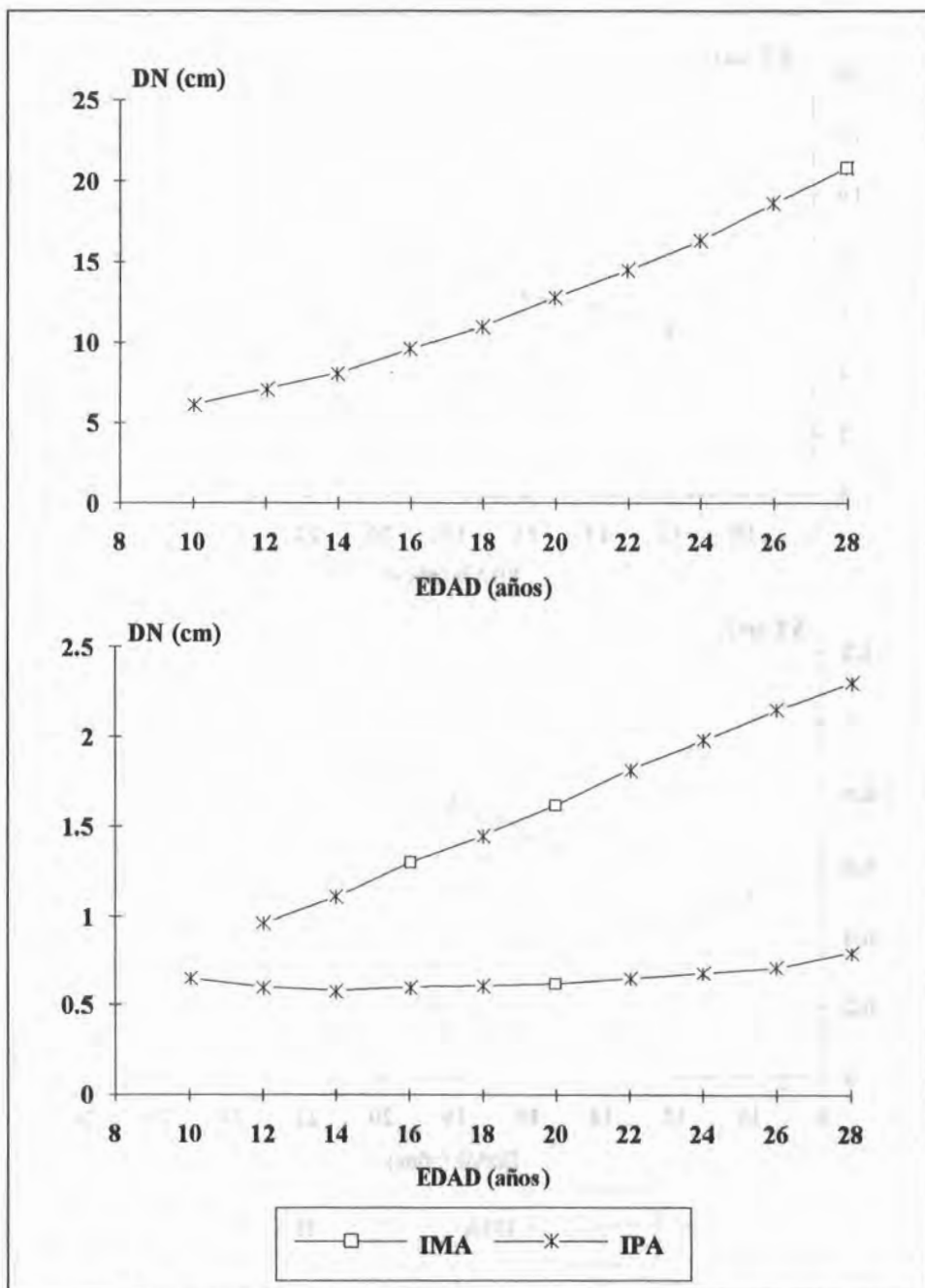


Figura N° 2. Crecimiento e incremento en diámetro normal promedio de caoba.

**Crecimiento en diámetro normal.**

Con los pares de datos de edad y diámetro normal promedio, se ajustó el modelo lineal:

$$Y_i = BO + B_1(X_i)^2$$

obteniéndose la ecuación (2):

$$DN_i = 4.135300159 + 0.21354577 (EDAD)^2 \quad (2).$$

De acuerdo al análisis de varianza, se observa que el modelo presenta un valor alto para el coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.98$ ); un bajo valor del cuadrado medio del error (CME = 0.43138359) y un alto nivel de significancia.

Lo anterior indica un ajuste satisfactorio del modelo y que existe evidencia altamente significativa de que la ecuación obtenida: (2), predice el crecimiento en diámetro normal promedio en el rango de 10 a 28 años de edad, bajo las condiciones de la zona de estudio.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN	NIVEL DE PROBABILIDAD
REGRESIÓN	1	182.94893127	0.98	0.0001**
ERROR	8	0.43138359		
TOTAL	9			
PARÁMETROS ESTIMADOS		VALOR DE $B_i$		NIVEL SIGNIFICANCIA
ORDENADA AL ORIGEN (BO)		4.135300159		0.0001**
EDAD <sup>2</sup> ( $B_i$ )		0.021354577		0.0001**

\*\* Altamente significativo al nivel de probabilidad indicado

**Cuadro 3.** Análisis de varianza para el modelo:  $DN_i = 4.135300159 + 0.021354577 (EDAD)^2$  que predice el crecimiento en diámetro normal promedio para árboles de caoba entre 10 y 28 años de edad.

También se hizo una transformación de datos y se probaron varios modelos, los que no podían ser comparados directamente para la bondad de ajuste, usando el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Al igual que en la altura, se usó para la elección de la mejor regresión, el índice de Furnival (IF).

En el cuadro 2 y figura 2, *vid., supra*, se observan los valores y la tendencia del crecimiento e incrementos en diámetro normal promedio, proyectados a partir de la ecuación: (2).

El comportamiento de la curva de crecimiento en diámetro normal promedio es todavía creciente, lo cual indica que los árboles de caoba son aún jóvenes y están en una etapa de crecimiento acelerado o en la fase central de la curva de crecimiento normal (sigmoide) sin que hayan llegado al punto de inflexión donde culmina el incremento corriente anual, Klepac, *op. cit.*; Rojas y Rovalo, *Ibidem*.

Pennington y Sarukhán, *op. cit.*, mencionan que esta especie puede alcanzar diámetros normales de hasta 3.5 m.

Cuando las plantaciones llegan a una densidad donde entran en competencia y se realiza un aclareo, es conocido que los árboles experimentan un incremento en el crecimiento, como lo señalan Hughell y Camacho<sup>12</sup>.

A partir de la aplicación de un aclareo a los 22 años de edad de la masa, se observa que el ritmo de crecimiento es mayor, *vid., supra*, cuadro 2.

De acuerdo con Klepac, *op. cit.*, el crecimiento e incremento en diámetro dependen más del medio ambiente que la altura; y dentro de ciertos límites, el desarrollo del diámetro es mayor cuando hay más luz y espacio de crecimiento.

Sucede con frecuencia que, una diferencia de hasta tres veces del crecimiento en diámetro se puede dar por un cambio en el espaciamiento inicial; según lo señala Rose, *op. cit.*

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Tanto el crecimiento en altura total como el diámetro normal promedio presentan un comportamiento definido en cuanto a su tendencia todavía creciente.

---

<sup>12</sup> Hughell, D. y Camacho, P. 1989. "Mecanismos para la predicción del rendimiento de jaul (*Alnus acuminata*), en Costa Rica". pp. 407-419.



- La altura y el diámetro normal promedio de un rodal no son independientes a la variación dinámica de la densidad del mismo.

- Para generar modelos que predigan el desarrollo, se deben utilizar todos los datos de campo disponibles, de preferencia de árboles dominantes provenientes de rodales de densidad máxima.

- Por la falta de datos de campo, no se pudieron desarrollar ecuaciones más precisas para la estimación de otras variables del crecimiento de caoba.

- Como el análisis por medio del método de mínimos cuadrados es una forma abstracta, una manera alternativa para observar la bondad de los modelos es aunar al coeficiente de determinación ( $R^2$ ), cuando se hacen transformaciones de variables, el índice de Furnival (I F) calculado y graficar la variable de interés contra la variable predictora, con los datos reales y los proyectados, para tener una apreciación más concreta de la solidez o debilidad de un modelo.

- El crecimiento promedio en diámetro normal de la masa se favoreció como una respuesta al aclareo realizado a los 22 años.

## BIBLIOGRAFÍA.

Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Vol N° 2. Predicción del rendimiento. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 80 p.

Campos A., J. J. 1989. "Curvas de índice de sitio para *Eucalyptus camaldulensis* en América Central". In: Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple. Actas de reunión I U F R O. Guatemala. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. pp. 351-365.

Castaño, F. y Quiroga, F. 1989. "Comparación de modelos de crecimiento en experimentos de adaptación de especies forestales en primera fase, realizados en la cuenca alta del río Cauca, zona andina colombiana". In: Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple. Actas de reunión I U F R O. Guatemala, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. pp. 421-439.

- Chavelas P., J. 1981. "Campo Experimental Forestal San Felipe-Bacalar". *In: Los Campos Experimentales Forestales*. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. S A R H. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. Revista Ciencia Forestal. Vol N° 2. N° 3. pp. 65-82.
- García, E. 1983. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Autónoma de México. Instituto de Geografía. México. 252 p.
- Hughell, D. y Camacho, P. 1989. "Mecanismos para la predicción del rendimiento de jaul (*Alnus acuminata*) en Costa Rica". *In: Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple*. Actas de reunión I U F R O. Guatemala. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. pp. 407-419.
- I N E G I. 1986. Anuario estadístico del estado de Quintana Roo. Gobierno del estado de Quintana Roo. México. 728 p.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Bosques. Chapingo, México. 365 p.
- Pennington, T. D. y Sarukhán K., J. 1968. Manual para la identificación de campo de los principales árboles tropicales de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. México, D.F. México. 413 P.
- Ramírez M., H. y Fierros G., A. 1990. "Estimación del crecimiento y rendimiento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* a través de su distribución diamétrica". *In: Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple*. Actas de reunión I U F R O. Guatemala. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. pp. 459-474.
- Rojas, G. M. y Rovalo, M. 1984. Fisiología vegetal aplicada. Ed. Mc. Graw Hill. México, D.F. México. 297.p.
- Rose, D. 1990. "Importancia y limitaciones en el desarrollo y uso de modelos para el manejo de plantaciones tropicales con especies de uso múltiple". *In: Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple*. Actas de reunión I U F R O. Guatemala. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. pp. 315-328.