

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



ESTUDIO EPIDOMÉTRICO PARA *Pinus herrerae* Mart. EN LA REGIÓN DE CD.

HIDALGO, MICHOACÁN

POR

JOSÉ CAIN CALVILLO GARCÍA

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO FORESTAL

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

NOVIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

**ESTUDIO EPIDOMÉTRICO PARA *Pinus herrerae* Mart. EN LA REGIÓN DE CD.
HIDALGO, MICHOACÁN**

POR

JOSÉ CAIN CALVILLO GARCÍA

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

ASESOR PRINCIPAL

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN

DR. ELADIO H. CORNEJO OVIEDO

M.C. ARNOLDO OYERVIDES GARCÍA

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.
NOVIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

**ESTUDIO EPIDOMÉTRICO PARA *Pinus herrerae* Mart. EN LA REGION DE CD.
HIDALGO, MICHOACÁN**

TESIS PROFESIONAL

POR

JOSÉ CAIN CALVILLO GARCÍA

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

DR. ELADIO H. CORNEJO OVIEDO
ASESOR PRINCIPAL

M.C. SALVADOR VALENCIA MANZO

ASESOR

ING. CELESTINO FLORES LÓPEZ

ASESOR

M.C. ARNOLDO OYERVIDES GARCÍA
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO
NOVIEMBRE DE 2003

El presente trabajo forma parte del Proyecto “Mediciones Forestales en las Regiones Forestales de los estados de Durango, Michoacán y Nayarit”, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con clave 02.03.0207.2364 (de 2001 a 2002), bajo la responsabilidad del Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo.

DEDICATORIA

A mis padres

Sr. Pedro Calvillo Guzmán

y

Sra. Nicolasa García Alvira

Por que son los seres que más admiro y respeto, por su infinito amor, consejos, bendiciones y confianza, por su inagotable lucha y esfuerzo que realizaron para brindarme la oportunidad de estudiar y seguir adelante, por que sobran razones y faltan palabras para expresarlas, pero sobre todo por que los quiero mucho. Gracias por darme la vida.

A mis hermanos (as): Jesús, Efraín, Benito, Roselia, Gabina, Rosa Elena, Reyna, Gloria y Petra. Por sus consejos y palabras de aliento para seguir adelante, por los momentos difíciles y felices que hemos pasado juntos.

Especialmente a mi hermana: Ma. del Socorro por haberme apoyado incondicionalmente, para terminar mi carrera, te quiero mucho hermana.

A mi novia: Edith Jacobo Rodríguez, por su confianza y por motivarme con amor y cariño para seguir adelante.

A mis cuñados (as): Artemio, Dagoberto, Emiliano, Jorge, David, Anel, Rosa y Olivia.

A mis sobrinos (as): Cristian, Guillermo, Abraham, Jesús, Jorge, Cruz, Emiliano, Juan Carlos, Pedro, Omar, Pedro Emiliano, Saúl, Horacio, José David, José Miguel, Eliseo, Efraín, Manuel, Irene, Noemí, Marisela, Mayra, Isabel, Francisca, Cecilia, Nancy y Itzel.

Por ser los mejores sobrinos, pues ustedes llenan de alegría el hogar con sus sonrisas y travesuras, aunque a veces exageran.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiar e iluminar mi vida en todo momento.

A mi "ALMA MATER" por brindarme todas las facilidades para mi formación profesional.

A todo el personal del Departamento Forestal que de una u otra manera contribuyeron a mi formación como profesionista y a mi desarrollo personal.

Al Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo, por su gran paciencia, apoyo brindado durante el desarrollo del presente trabajo. Gracias por enseñarme hacer bien las cosas, por sus consejos y por su gran amistad.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo, por sus valiosas sugerencias para mejorar este trabajo y contribuciones a mi desarrollo profesional.

Al Ing. Celestino Flores López, por su valiosa participación y sugerencias que contribuyeron a mejorar el presente trabajo.

A los técnicos de la Ucodefo-2 de Cd. Hidalgo, Mich. por su valiosa colaboración para la realización del presente trabajo.

A mi compañero Oscar Mares Arreola, por el apoyo en la obtención de rodajas en campo.

A mis compañeros de la carrera de Ingeniero Forestal, Tzec, Eliud, Jordan, Juan, Eleazar y al resto de los compañeros por su gran amistad.

A todas aquellas personas que de alguna forma participaron en la elaboración del presente trabajo. GRACIAS.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	vi
ESTUDIO EPIDOMÉTRICO PARA <i>Pinus herrerae</i> Mart. EN LA REGIÓN DE CD. HIDALGO, MICHOACÁN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
Descripción del área de estudio.....	7
Recorridos de campo preliminares y definitivos.....	10
Diseño de muestreo.....	11
Análisis troncales.....	12
Acondicionamiento de rodajas en laboratorio.....	12
Crecimiento e incremento en altura, en diámetro y en área basal a 2.84 m y en volumen.....	13
Detección de árboles suprimidos.....	14
Modelos de crecimiento en altura, en diámetro, en área basal y en volumen.....	17
Análisis estadístico	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
Crecimiento e incremento en altura.....	21

Crecimiento e incremento en diámetro a 2.84 m	30
Crecimiento e incremento en área basal a 2.84 m.....	37
Crecimiento e incremento en volumen.....	39
DISCUSIÓN GENERAL.....	42
CONCLUSIONES.....	47
RECOMENDACIONES	49
LITERATURA CITADA.....	51
APÉNDICES.....	56

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
1.	Principales características del clima que se presenta en el área de estudio.....	9
2.	Modelos probados para ajustar las curvas de crecimiento e incremento de <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	17
3.	Valores del cuadrado medio del error (C.M.E.) y del coeficiente de determinación (R^2) de los cuatro modelos probados para la relación edad-altura de <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	21
4.	Valores del cuadrado medio del error (C.M.E.) y del coeficiente de determinación (R^2) de los cuatro modelos probados para la relación edad-diámetro a 2.84 m de <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	30
5.	Valores del cuadrado medio del error (C.M.E.) y del coeficiente de determinación (R^2) de los cinco modelos probados para la relación edad-área basal a 2.84 m de <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	37
6.	Valores del cuadrado medio del error (C.M.E.) y del coeficiente de determinación (R^2) de los cuatro modelos probados para la relación edad-volumen de <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Ubicación de las localidades para el estudio epidométrico de <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	8
2. Diagrama de dispersión de la relación edad-altura y el ajuste de la curva del modelo de Chapman-Richards, límites de confianza al 95% de la media (m) y de los valores individuales (i) (A). Curvas de incremento corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) (B) para <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	22
3. Curvas promedio de la relación edad-altura generadas por Rodríguez (1980) para <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en San Juan Tetla, Pue., Moreno (1996) para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. en la Región Hidalgo-Zinapécuaro, Mich., Franco (2001) para <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en la región de Cd. Hidalgo, Mich. y el presente estudio para <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	26
4. Curvas de incremento corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) en altura generadas por Rodríguez (1980) para <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en San Juan Tetla, Pue., Moreno (1996) para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. en la Región Hidalgo-Zinapécuaro, Mich., Franco (2001) para <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en la región de Cd. Hidalgo, Mich. y el presente estudio para <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	28
5. Diagrama de dispersión de la relación edad-diámetro y el ajuste de la curva del modelo de Gompertz, límites de confianza al 95% de la media (m) y de los valores individuales (i) (A). Curvas de incremento corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) (B) para <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	31
6. Curvas promedio de la relación edad-diámetro, generada por Rodríguez (1980) para <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en San Juan Tetla, Pue. y el presente estudio para <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	34
7. Curvas de incremento corriente anual (ICA) y medio anual (IMA), generada por Rodríguez (1980) a un diámetro de 1.30 m para <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en San Juan Tetla, Pue. y el presente estudio a un diámetro de 2.84 m para <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	36

8.	Diagrama de dispersión de la relación edad-área basal y el ajuste de la curva del modelo de Logístico, límites de confianza al 95% de la media (m) y de los valores individuales (i) (A). Curvas de incremento corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) (B) para <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	38
9.	Diagrama de dispersión de la relación edad-volumen y el ajuste de la curva del modelo de Gompertz, límites de confianza al 95% de la media (m) y de los valores individuales (i) (A). Curvas de incremento corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) (B) para <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	41
10.	Diagrama de dispersión de la relación edad-altura (A), edad-diámetro (B), edad-área basal (C) y edad-volumen (D) y el ajuste de los modelos seleccionados para <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	43
11.	Curvas de incremento corriente anual y medio anual para la altura (A), diámetro (B), área basal (C) y volumen (D) para <i>Pinus herrerae</i> Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.....	46

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo describir y caracterizar el crecimiento e incremento en altura, diámetro y área basal a 2.84 m y volumen de *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich. El área de estudio comprendió seis localidades en donde se distribuye de manera natural la especie. Se colectaron muestras de 41 árboles, para realizar los análisis troncales, con los que se obtuvo una base de datos de edad-altura de 568 pares de valores, 502 pares de valores de edad-diámetro, 502 pares de valores de edad- área basal y 509 pares de valores de edad-volumen. Además de que se diseñó una metodología para detectar los árboles que fueron suprimidos durante los primeros 25 años de edad. Se probaron seis modelos de crecimiento los cuales fueron el de Chapman-Richards, Gompertz, Logístico, Schumacher, Weibul y Exponencial. La selección de los modelos se hizo con base en los valores más bajos del cuadrado medio del error (CME) y el valor más alto del coeficiente de determinación (R^2), además de tener la mejor distribución de los residuales estudentizados y al criterio de convergencia. Se determinó que el mejor modelo que ajustó al crecimiento en altura fue el de Chapman-Richards, (CME = 7.48 91 y $R^2 = 0.9845$). En el caso del crecimiento en diámetro el modelo que mejor ajustó fue el de Gompertz, (CME =26.8730 y $R^2 =0.9697$), mientras que para el área basal el mejor modelo fue el Logístico, (CME =0.00037 y $R^2 = 0.9374$), para el volumen el modelo que presentó mejor ajuste fue el de Gompertz, (CME = 0.132448 y $R^2 = 0.9091$).

ESTUDIO EPIDOMÉTRICO PARA *Pinus herrerae* Mart. EN LA REGIÓN DE CD. HIDALGO, MICHOACÁN.

INTRODUCCIÓN¹

En México, los bosques de coníferas y latifoliadas ocupan el 15.44 % del territorio nacional, dichos bosques representan el 65.31 % de las existencias volumétricas (m³ rollo) del país (SARH-SFF, 1994). En el país se estima una deforestación de 1980 a 1990 de 615 000 ha por año. En México los bosques como recurso forestal, son de gran importancia para su economía. El país cuenta con una gran diversidad de especies maderables del género *Pinus*; 45% de estas especies son conocidas a nivel mundial, siendo reportadas 49 especies de este género para México (Styles, 1993; Layseca *et al.*, 1997).

Michoacán cuenta con una superficie de bosques de coníferas y latifoliadas equivalente a 1,540, 493 ha (Semarnap, 1999). Los poseedores de este recurso forestal dependen de él, es por ello que es relevante realizar estudios epidométricos para conocer las tasas de crecimiento e incremento de los bosques. En la actualidad no se conoce la dinámica de crecimiento e incremento en altura, diámetro, área basal y volumen de *Pinus herrerae* Mart. lo cual es trascendente para realizar un mejor manejo y aprovechamiento de la especie.

1. Esta tesis esta elaborada siguiendo el formato de la guía de autores de la Revista Fitotecnia Mexicana.

La importancia del estudio de crecimiento e incremento de los bosques y árboles, recae en el interés de los silvicultores para determinar su respuesta y su proyección a un determinado tiempo para su mejor manejo; todo esto es posible gracias a diversos estudios que se realizan día a día para comprender el fenómeno de crecimiento de las especies forestales (Daniel *et al.*, 1982; Prodan *et al.*, 1997).

El crecimiento e incremento de los árboles en altura, diámetro, área basal y volumen se originan de la elongación y engrosamiento de las raíces, ramas y troncos, que causan un cambio en el peso, forma y tamaño del árbol, además estos crecimientos e incrementos dependen de distintos factores que el forestal debe tomar en cuenta, como son los climáticos, edáficos, fisiográficos y otros, como la densidad, edad y composición del bosque, además de los tratamientos silvícolas aplicados al mismo (Vidal y Constantino, 1959; Husch *et al.*, 1972).

El crecimiento de las plantas depende del potencial genético expresado a través de su fisiología dentro del medio en que se desarrolla. Los individuos de un bosque presentan diferentes ritmos de crecimiento; algunos individuos son eliminados por el proceso de selección natural o artificial, por lo que el desarrollo e incremento de un bosque es diferente al incremento y desarrollo de un árbol (Klepac, 1976; Daniel *et al.*, 1982).

El ritmo de crecimiento puede ser comprendido gracias a los métodos que se realizan en estudios de investigación para conocer el comportamiento del crecimiento de los bosques mediante el uso de modelos matemáticos, éstos pueden proyectar el crecimiento de una especie o conjunto de especies de interés, en un periodo dado, a

través de curvas obtenidas por el ajuste de dichos modelos, las cuales son de modo general, en forma sigmoideal (Klepac, 1976; Prodan *et al.*, 1997).

El crecimiento en altura se manifiesta en la primavera. Generalmente comienza con una gran intensidad, que dura de dos a tres semanas, posteriormente decrece gradualmente y en algunas especies se interrumpe, mientras que en otras se presenta sin esa interrupción hasta septiembre u octubre. La variación se debe probablemente a la diferente reacción al fotoperíodo. Las curvas de crecimiento para las especies forestales tienen una forma sigmoideal, de la cual se deriva la curva de incremento, donde el punto de inflexión de la curva sigmoideal indica la culminación del incremento corriente en altura (Klepac, 1976; Hocker, 1984).

Es característico que el crecimiento e incremento en altura en los árboles está menos influenciado por el ambiente que en el caso del crecimiento e incremento en diámetro. Para el incremento en altura es de gran importancia la cantidad de reservas o nutrientes que acumula el árbol durante el año. El incremento en altura es menor en los años de producción de frutos, ya que se emplea una parte de los nutrientes de reserva en la producción de frutos y semillas (Klepac, 1976).

Lo mismos factores que influyen en el crecimiento e incremento del árbol en altura, actúan también en crecimiento e incremento en diámetro. Este crecimiento también depende de la cantidad de reservas que el árbol acumule durante el año, pero dependen mayor parte en el ambiente en que se desarrolla; de manera que el incremento en diámetro es mayor cuando existe mayor espacio entre los árboles y mayor luz solar (Klepac, 1976).

El incremento anual en diámetro del árbol se manifiesta a través de anillos de crecimiento. Cada anillo no es igual en todo el largo del tronco; ya que son más anchos en la parte superior del tronco, inmediatamente, por debajo de las primeras ramas, y a medida que la altura tronco disminuye el ancho de los anillos decrece y en la base del árbol los anillos se ensanchan otra vez (Klepac, 1976; Morey, 1977).

Bajo condiciones normales el incremento en diámetro es pequeño al principio, después aumenta hasta alcanzar una fase activa y disminuye gradualmente, llegando a ser muy reducido en los árboles viejos. La curva de crecimiento en diámetro es también en forma sigmoideal como el crecimiento en altura, pero se diferencia porque es más plana y toma la forma de una línea recta en la base de su origen (Klepac, 1976).

El área basal es la superficie de la sección transversal de un árbol a la altura del pecho. Por su forma irregular, nunca se mide en forma directa, sino que se deriva de la medición del diámetro y se calcula considerando el fuste como una sección circular (Bruce y Schumacher, 1965; Prodan *et al.*, 1997).

Por medio del incremento en diámetro se puede calcular el incremento del área basal, y es más consistente que el incremento en diámetro, aunque el incremento en diámetro del fuste se mantenga igual, el área basal aumentará (Klepac, 1976).

El incremento total en volumen del árbol no sólo consiste de la parte leñosa, sino también del follaje, frutos, sistema radicular y frutos, por otra parte, una porción considerable del incremento se pierde a causa de la transpiración. El volumen del

fuste del árbol aumenta paralelamente con la altura y el diámetro desde su nacimiento hasta su muerte. La curva de crecimiento en volumen también es en forma sigmoideal, pero el punto de inflexión en esta curva ocurre más tarde que en las curvas del crecimiento en altura y diámetro, lo que tiene una repercusión en la culminación del incremento en volumen, ya que culmina después del incremento en altura, diámetro, y área basal (Klepac, 1976). El incremento del volumen del tronco depende del crecimiento en altura y en diámetro y del grado de conicidad que presente (Hocker, 1984).

En México, existen diversos trabajos sobre el crecimiento e incremento de coníferas. Así por ejemplo, Rodríguez (1980) realizó un estudio epidométrico para *Pinus montezumae* Lamb. mediante análisis troncales de 81 árboles en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Pue. El autor seleccionó los árboles en tres rangos de altitud (3,000-3,100; 3,101-3,200 y 3,201-3,300 m.s.n.m.), en tres exposiciones (Norte, Sur y Este) y en tres pendientes (baja, media y alta), además de sus posibles combinaciones. El modelo que el autor utilizó para obtener el crecimiento en altura y diámetro de los árboles fue $Y = X^2 / (B_0 + B_1X + B_2 X^2)$. Para el caso del volumen el autor utilizó el modelo $Y = B_0 + B_1 (1/e^X) + B_2 L n X$. El ajuste de los modelos se realizó mediante regresión lineal.

Así mismo, Moreno (1996) realizó una comparación de dos métodos de construcción de curvas de índice de sitio para *Pinus pseudostobus* Lindl. en la región de Hidalgo-Zinapécuaro, Mich. mediante análisis troncales de 51 árboles. El autor utilizó los modelos de Schumacher y Chapman-Richards en su versión polimórfica.

De igual forma, Franco (2001) realizó un estudio de índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en la región de Cd. Hidalgo, Mich. mediante 28 análisis

troncales. Utilizó el método de la curva guía y los modelos de Chapman-Richards, Schumacher y Gompertz.

Sin embargo, de la revisión de literatura que se realizó, no se encontró información donde se describa el crecimiento e incremento de *Pinus herrerae*. Por lo que, el objetivo del presente trabajo fue:

Caracterizar y describir el crecimiento e incremento en altura, diámetro a 2.84 m, área basal a 2.84 m y volumen de *Pinus herrerae* Mart. de la región forestal de Cd. Hidalgo, Mich.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El área de estudio está ubicada en la provincia del el Eje Neovolcánico y subprovincia de Mil Cumbres, en la región de Cd. Hidalgo, Mich. (Ucodefo – 2, 1994). El área de estudio comprenden seis localidades en las que se distribuye de manera natural *Pinus herrerae* (Figura 1), siendo éstas: Huajumbaro, La Venta de San Andrés, El Molcajete, San Antonio Villalongin, La Joya y Rancho los Coss. Las primeras cuatro localidades se localizan en el municipio de Cd. Hidalgo, las últimas dos se localizan en el de Zinapécuaro. Estas localidades tienen una ubicación geográfica entre las coordenadas 100° 42' 14" a 100° 46' 26" de longitud Oeste y 19° 30' 46" a 19° 50' 27" de latitud Norte (INEGI, 1997, 1998, 2000).

El área presenta altitudes que van de 2100 a 3000 msnm y con pendientes que van de 10 a 40%. En la misma predominan las exposiciones Sur, Suroeste, Sureste, Noroeste y Noreste. Además ocurre un relieve contrastante en el que se distinguen mesetas, lomeríos y sierras (INEGI, 1997, 1998, 2000).

La geología está representada principalmente por rocas ígneas extrusivas de la era Cenozoica, del periodo Terciario Superior; prevaleciendo el tipo de rocas como reolita de color verde, formando cuerpos compactos medianamente alterados (DETENAL, 1978, 1979a).

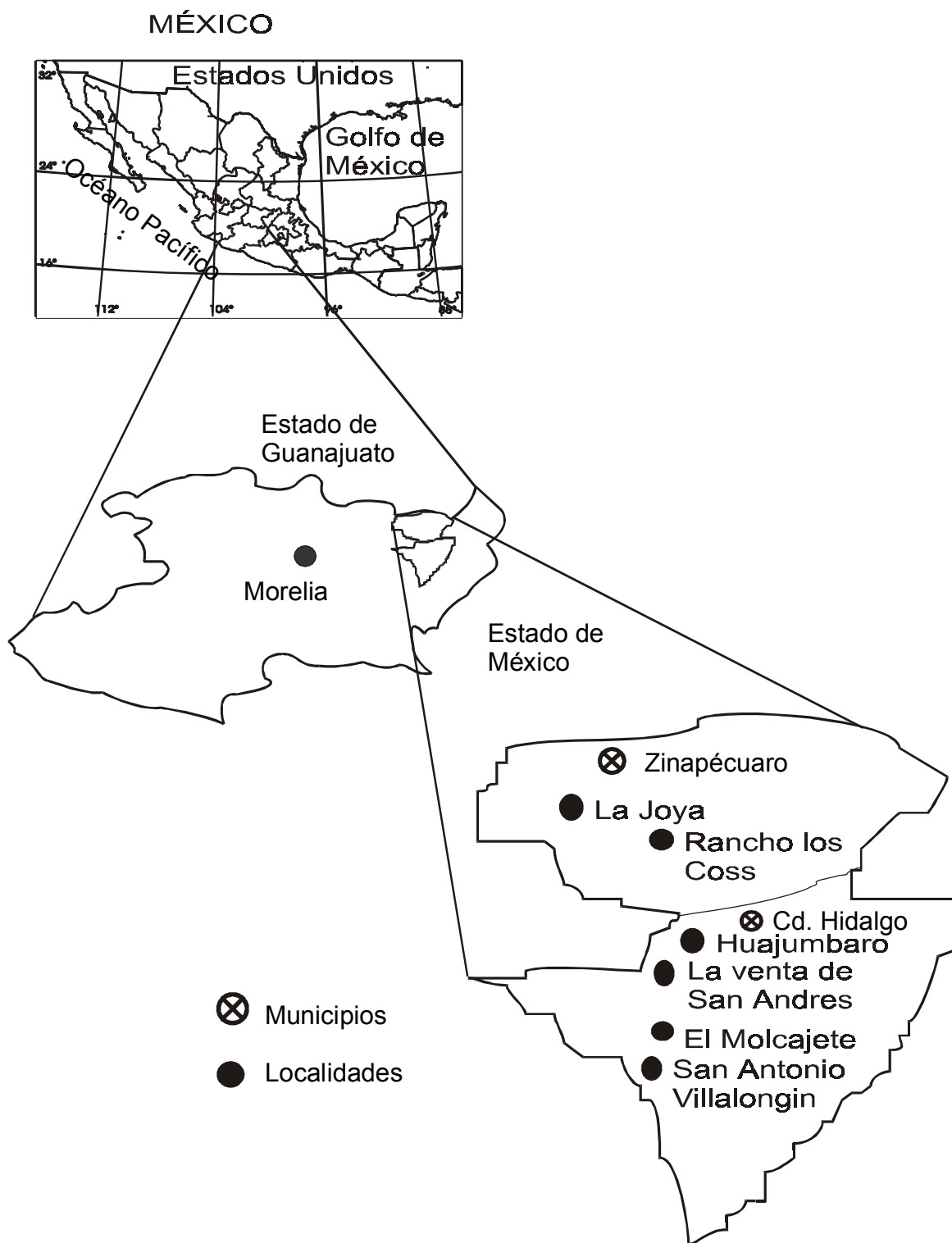


Figura 1. Ubicación de las localidades para el estudio epidométrico de *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

En el área de estudio también se encuentran andesitas de color rosa compactada, la cual subyace a otra andesita de fracturamiento intenso y de color gris (DETENAL, 1978, 1979a).

Los suelos que predominan en el área son de tipo andosol, con textura media. El drenaje de estos suelos es clasificado como bueno y de profundidad media (CETENAL, 1977; DETENAL, 1979b, 1979c).

El área de estudio está dividida por dos regiones hidrológicas (RH), la región RH-18 Río Balsas y la Región RH-12 sistema fluvial Lerma Santiago. La mayor parte del área de estudio se encuentra en la RH-18 Río Balsas, dentro de la cuenca hidrológica G Río Cutzamala (Ucodefo –2, 1994; Semarnap-UACH, 1999).

En el área de estudio ocurre un clima húmedo; templado con verano fresco y largo; subhúmedo intermedio con régimen de lluvias en verano; con menos de 5 por ciento de lluvia invernal; isothermal con poca oscilación entre las temperaturas menor a 5 °C y con el mes más caliente del año antes de junio (García, 1973), características del clima que se presenta en el área de estudio (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales características del clima que se presenta en el área de estudio.

Estación meteorológica	Temperatura (°C)			Prec. Media (mm)	Periodo libre de heladas (días)	Formula climática.
	Media	Máxima	Mínima			
Agostitlan	17.1	24.8	3.9	1,263.3	180	C b(w2) w i
Geraguaro	12.2	31.0	3.2	1,171.0	120	C b(w1) w l
Huajumbaro	17.2	29.9	4.5	1,383.8	180	C b(w1) w i g
Pucuate	14.2	25.3	3.2	1,294.4	120	C b(w2) w i

Periodo libre de heladas son temperaturas por arriba de 4.5 °C (García, 1986).
Fuente: CONAGUA, 1999. Prec. = precipitación

La vegetación de la región comprende un bosque de clima templado, constituido por *Pinus pseudostrobus* Lindl., *P. herrerae* Mart., *P. montezumae* Lamb., *P. leiophylla* Schl. & Cham., *P. michoacana* Mart., *Abies religiosa* Schl., *Quercus castanea* Neé, *Q. crassifolia* Humb. Et Bonpl., *Q. obtusata*, *Q. microphylla* Neé., *Q. laurina* Humb & Bonpl., *Alnus firmifolia* Fern., *A. arguta* Spach., *Crataegus mexicana* Moc. & Sessé y *Arbutus xalapensis* H.B.K. además de diversas especies arbustivas como *Baccharis conferta* H.B.K. *Dodonaea viscosa* (L) Jacq., *Urtica dioica* Willd., *Arctostaphylos longifolia*, *Rubus pringlei*, *Solanum nigrum* L., *Eupatorium glabratum* H.B.K. y *Buddleia sessiliflora* H.B.K. El estrato herbáceo lo constituyen elementos como *Alchemilla procubens* Rose, *Arenaria lagunijosa* Rohrb., *Geranium seemanni* Peyr., *Muhlenbergia robusta* (Fourn.) Hitchc., *Oxalis alpina* Rose, *Panicum bulbosum* H.B.K. y *Stipa virencens* H.B.K. (Martínez *et al.*, 1987).

Recorridos de campo preliminares y definitivos

Se realizaron dos recorridos de campo en las seis localidades. El recorrido de campo preliminar se realizó del 1 al 6 de abril de 2002 el cual tuvo los siguientes objetivos: 1) Reconocer los sitios en donde se distribuye de manera natural *Pinus herrerae*, 2) Identificar los sitios en donde se realizaba aprovechamiento forestal y 3) Diseñar la forma de la colecta de las rodajas de madera.

En el recorrido se observó que la resinación es una práctica común en los bosques de la región y muchos de los árboles, sobre todo los dominantes y codominantes, se encontraron resinados, por lo que sólo se aceptó el efecto de resinación para los árboles candidatos para realizar el análisis troncal.

El recorrido definitivo se realizó del 2 al 7 de diciembre de 2002, los objetivos fueron los siguientes: 1) Seleccionar árboles dominantes y/o codominantes, 2) Colectar rodajas de 41 árboles para realizar análisis troncales y 3) Acondicionar las rodajas para su traslado al Laboratorio de Silvicultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Diseño de muestreo

Se utilizó un muestreo selectivo para elegir los árboles para realizar los análisis troncales y se consideraron los siguientes criterios: 1) Árboles dominantes y/o codominantes de *Pinus herrerae*, 2) Sin daños por incendios, 3) Sin problemas de plagas o enfermedades y 4) No despuntados y no bifurcados.

En total se eligieron 41 árboles muestra; 6 de Huajumbaro, 4 de La Venta de San Andrés, 6 de El Molcayete, 20 de San Antonio Villalongin, 3 de La Joya y 2 de Rancho los Coss.

La metodología que se siguió para los análisis troncales fue de acuerdo a lo propuesto por Klepac (1976), pero utilizando longitudes de troza de 2.54 m, medida comercial de trozas en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

En las localidades y con permiso de aprovechamiento forestal, se procedió a derribar los árboles elegidos con una motosierra a la altura de 0.30 m (altura del tocón) y a partir de ésta se seccionó el árbol a lo largo del fuste, obteniendo rodajas

a una equidistancia de 8' (2.54 m). Cada rodaja se identificó en la parte inferior y con un crayon se anotó la localidad, número de árbol y altura de corte.

Las rodajas se sometieron a secado al aire libre. Posteriormente, se metieron en sacos para su traslado al Laboratorio de Silvicultura del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.

Análisis troncales

Acondicionamiento de rodajas en laboratorio

Una vez que las rodajas estaban en el laboratorio, se ordenaron y se remarcaron de acuerdo con la clave de identificación. Posteriormente se procedió a realizar el pulido de las rodajas de cada árbol usando pulidoras eléctricas (BOSH y DEWALT), utilizando lijas de diferentes calibres (40, 50, 60, 80, 100 y 120) para observar mejor los anillos de crecimiento.

Primero se utilizaron lijas de calibre 40 y 50 con la finalidad de borrar las marcas de la motosierra, posteriormente 60 y 80 para que los anillos se observaran claramente, por último se usaron las de calibre 100 y 120 las cuales se utilizaron para pulir más en la parte de la médula y al final de la rodaja, ya que es donde los anillos son mas difíciles de diferenciar porque el crecimiento es menor.

Crecimiento e incremento en altura, en diámetro, en área basal, y en volumen

Las rodajas de cada árbol se escanearon usando un escáner EPSON TWAIN PRO para la medición y el conteo de anillos de crecimiento. Se utilizaron los programas WinDENDRO™ 2001b y el XLSTEM™ V1.3 (Gagnon y Marin. 2001), para contabilizar el número de anillos de cada rodaja, para obtener la edad, el diámetro, el área basal y el volumen.

Para el análisis de crecimiento en altura, en diámetro, en área basal y en volumen se utilizó el programa de XLSTEM y para el análisis de dichas variables se formaron grupos de cinco años. Para obtener la edad a la cual el árbol llega a la altura de la sección se utilizó los datos del XLSTEM, altura de corte y número de anillos.

La edad a cada altura de corte se estimó con la siguiente ecuación:

$$\text{Edad a la altura de corte} = e_t - n_{ac}$$

Donde :

e_t = edad total

n_{ac} = número de anillos de la sección a la altura de corte

La edad total se determinó con la siguiente ecuación:

$$\text{Edad total} = n_a + t_a$$

Donde:

n_a = número de anillos a 0.30 m

t_a = tiempo que tarda en alcanzar los 0.30 m (3 años)

Para el cálculo del volumen el XLSTEM, utiliza el método de interpolación lineal para estimar la altura de los conos internos y la siguiente fórmula del cono:

$$\text{Volumen} = (A_b * L) / 3$$

Donde :

A_b = área de la sección

L = altura de la sección

La captura y procesamiento de datos se realizó utilizando el programa Statistical Analysis System versión 6.12 (SAS) y el Sigma Plot versión 7.0

Una vez obtenida la información de las diferentes variables se procedió a realizar los diagramas de dispersión de las diferentes localidades para realizar la diagnosis de la tendencia de las mismas.

Detección de árboles suprimidos

Con el propósito de saber que todos los árboles fueran dominantes y con la finalidad de detectar los árboles que fueron suprimidos en las primeras etapas de desarrollo, se procedió a realizar la comparación de los 41 árboles y se elaboró la siguiente metodología:

- a) Se construyeron los perfiles interiores de los 41 árboles muestra y mediante una comparación visual de cada perfil, se detectaron los árboles que fueron suprimidos en las primeras etapas de desarrollo (Apéndice 1).

- b) Se obtuvieron los incrementos corrientes anuales (ICA's) y los incrementos medios anuales (IMA's) del diámetro a las edades de 5, 10, 15, 20 y 25 años, utilizando la rodaja a la primera altura de corte (0.30 m) de cada uno de los árboles muestra. Posteriormente los datos se ordenaron por localidad (1 = Huajumbaro, 2 = La Joya, 3 = La Venta, 4 = El Molcajete, 5 = Rancho Los Coss, 6 = San Antonio) y dentro de éstas por número de árbol (Apéndice 2).

Debido a que durante los recorridos de campo se observaron diferencias en productividad en cada una de las localidades, se decidió realizar una comparación de los datos por localidad.

- c) Se calculó la media y el error estándar de los valores de ICA e IMA del diámetro de la primera rodaja (0.30 m) para las diferentes categorías de edad (5, 10, 15, 20 y 25 años). Con el propósito de obtener un punto de comparación, se sumó y se restó el valor del error estándar al valor de la media, obteniendo un rango de valores para las diferentes categorías y hacer comparaciones con respecto a los valores del ICA e IMA (Apéndice 3).

Los criterios usados para comparar los árboles para cada localidad fueron los siguientes:

- 1) Se dió un punto a favor cuando el valor de ICA y/o IMA de cada categoría de edad se encontraba dentro o por arriba del rango de comparación, pudiéndose obtener un total de 10 puntos por árbol.

2) Cuando los valores de ICA e IMA de las diferentes categorías de edad estaban por abajo del rango de comparación se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cuando el valor de ICA y/o IMA estaba muy por abajo (diferencia mayor a 0.2) del valor mínimo del rango de comparación se dió un punto en contra.

Por ejemplo:

Rango de comparación	
Valor máximo	0.6173
Valor mínimo	0.5254
Valor de ICA y/o IMA (0.2838), valor muy por abajo (diferencia mayor a 0.2)	

- Cuando los valores de ICA y/o IMA estaba por abajo (diferencia menor a 0.1) con respecto del valor mínimo del rango de comparación se dio un punto a favor.

Por ejemplo:

Rango de comparación	
Valor máximo	0.6173
Valor mínimo	0.5254
Valor de ICA y/o IMA (0.4690), por abajo del rango (diferencia menor a 0.1)	

d) Se sumaron los puntos que obtuvo cada árbol (ICA e IMA), pudiéndose obtener un total de 10 puntos por árbol. Posteriormente los árboles que sumaron menos de tres puntos fueron los que se eliminaron.

- e) Por último se hizo una comparación de la apreciación que se obtiene al ver los perfiles interiores de los árboles con respecto a la metodología y se observó que los resultados obtenidos son similares.
- f) En total se eliminaron cinco árboles de los 41 que se tenían inicialmente con evidencias de supresión durante los primeros 25 años.

Modelos de crecimiento en altura, en diámetro, en área basal y en volumen

Cuadro 2. Modelos probados para ajustar las curvas de crecimiento e incremento de *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

Nombre del modelo	Ecuación	Variable			
		Altura	Diámetro	Área basal	Volumen
Chapman –Richards	$y = \beta_0 [1 - e^{-\beta_1 E}]^{\beta_2}$	√	√	√	√
Gompertz	$y = \beta_0 e^{-\beta_1} e^{-\beta_2}$	√	√	√	√
Logístico	$y = \beta_0 / (1 + \beta_2 e^{-\beta_1 E})$	√	√	√	√
Schumacher	$y = \beta_0 e^{-\beta_1 (1/E)}$	√	√	√	√
Weibull	$y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 E \beta_2})$	√	√	√	√
Exponencial	$y = \beta_0 e^{\beta_1 E}$	X	X	√	√

Y = variable; E = edad; $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = parámetros; e = base natural de los logaritmos.

Fuente : Zamudio y Ayerde (1997). Donde : √ = modelo probado; X = modelo no probado

Análisis estadístico

La prueba y selección de modelo de ajuste se hizo para 34 árboles eliminando 2 árboles con el programa de regresión que se fundamentó en la metodología propuesta por Sit y Poulin-Costello (1994) que consiste en los siguientes criterios:

- a) Se gráfico los pares de valores de edad – altura ($n = 568$), diámetro ($n = 502$), área basal ($n = 502$) y volumen ($n = 509$) para hacer un diagnóstico del diagrama de dispersión.
- b) Se comparó el diagrama de dispersión con los diferentes ajustes de los modelos, de acuerdo con los diferentes valores que sus parámetros pueden adoptar. Se eligieron los parámetros iniciales que se ajustan a una curva lo más parecida al diagrama de dispersión.
- c) Los parámetros del modelo definitivo se estimaron mediante el procedimiento PROC NLIN del paquete estadístico SAS. Se utilizaron los diferentes métodos de ajuste (Gauss-Newton, Marquardt y Dud) que aplica el programa hasta encontrar convergencia (Apéndice 4).
- d) La elección entre los modelos se fundamentó en los siguientes criterios:
- 1) El valor más bajo del cuadrado medio del error (CME), 2) el valor más alto del coeficiente de determinación (R^2), 3) análisis de los residuales estudentizados (r-Student) y 4) convergencia (Apéndice 5) (Sit y Poulin-Costello, 1994; Quiñones, 1995).

Dado que el procedimiento PROC NLIN del paquete estadístico SAS no proporciona el coeficiente de determinación este fue calculado de la siguiente forma (Myers, 1990; Sit y Poulin-Costello, 1994):

$$R^2 = 1 - (SS \text{ Residual} / SS \text{ Total})$$

Donde:

R^2 = Coeficiente de determinación.

SS Residual = Suma de cuadrados residual.

SS Total = Suma de cuadrados total.

Se procedió a realizar conjuntamente el ajuste de los modelos con el análisis de los residuales estudentizados de acuerdo a lo propuesto por Walpole y Myers (1996). Se graficaron a manera de representar los valores en un rango permisible de 2.5 a -2.5, que al mismo tiempo permitió detectar valores perdidos para descartarlos, con el fin de tener un mejor ajuste de las curvas de crecimiento. Para lo cual en la altura se descartaron 45 pares de valores, para el diámetro 28, para el área basal 66 y para el volumen 55 pares de valores (Apéndice 6).

Respecto a los cálculos de los incrementos, estos se obtuvieron a partir del modelo seleccionado de cada variable (altura, diámetro, área basal y volumen), obteniendo valores de incremento corriente y medio anual (ICA e IMA) respectivamente, de la siguiente manera:

$$ICA = \text{Dif. Variable} / \text{Dif. edad}$$

$$IMA = \text{Variable} / \text{edad}$$

Donde :

Dif. = diferencia

Variable = altura, diámetro, área basal y volumen.

Para realizar la discusión del presente estudio con respecto al de Rodríguez (1980) quién realizó un estudio epidométrico para *Pinus montezumae* Lamb. en el Campo Experimental San Juan Tetla, Puebla., mediante análisis troncal de 81 árboles, en tres

rangos de altitud (3,000-3,100; 3,101-3,200 y 3,201-3,300), en tres exposiciones (Norte, Sur y Este) y en tres pendientes (Baja, Media y Alta), además de sus posibles combinaciones para la altura, diámetro y volumen. Se seleccionó el modelo promedio en función de la altitud, de la exposición y de la pendiente. Para el caso de la altura se consideró el modelo para el rango de altitud de 3,000 –3,100 m.s.n.m. con exposición Este y pendiente media. Para el diámetro normal se consideró el modelo $Y = X^2 / B_0 + B_1X + B_2X^2$ con rango de altitud de 3,000-3,100 m.s.n.m. con exposición Este y pendiente baja. En el caso del volumen no se pudo realizar la curva de crecimiento e incremento, ya que la fórmula $Y = -8.0430 + 48736.27 \frac{1}{e^x} + 2.5332 \ln^x$ empleada por el autor sobrestima el volumen durante los primeros 20 años, inclusive utilizando los diferentes parámetros que dicho autor obtuvo para los diferentes rangos de altitud, exposición y pendiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento e incremento en altura

El modelo seleccionado para la relación edad- altura fue el de Chapman-Richards, ya que presentó el menor valor del CME (7.4891) y el valor más alto R^2 (0.9845) (Cuadro 3), además de que obtuvo una buena distribución de los residuales estudentizados (Apéndice 5 y 6). También destacan los modelos de Gompertz, Schumacher y Logístico por presentar valores cercanos al modelo seleccionado. El otro modelo probado fue el de Weibull, el cual fue descartado al no presentar convergencia.

Cuadro 3. Valores del cuadrado medio del error (C.M.E.) y del coeficiente de determinación (R^2) de los cuatro modelos probados para la relación edad-altura de *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

Modelo	C.M.E.	R^2
Chapman-Richards	7.4891	0.9845
Gompertz	7.7257	0.9840
Schumacher	7.8588	0.9837
Logístico	8.6630	0.9820

La curva de crecimiento en altura (Figura 2 A) en los primeros 10 años es cóncava representando un crecimiento lento, posteriormente, el crecimiento es acelerado hasta los 50 años alcanzando una altura de 26 m, después la curva presenta una parte convexa de los 50 a los 70 años, a partir de esta edad la curva se estabiliza hasta los 110 años. Los incrementos, ICA e IMA, (Figura 2 B) comienzan con un crecimiento rápido en los primeros cinco años con un incremento de 0.27 m año^{-1} , alcanzando el ICA su máximo valor de 0.74 m año^{-1} a la edad de 20 años, a partir de

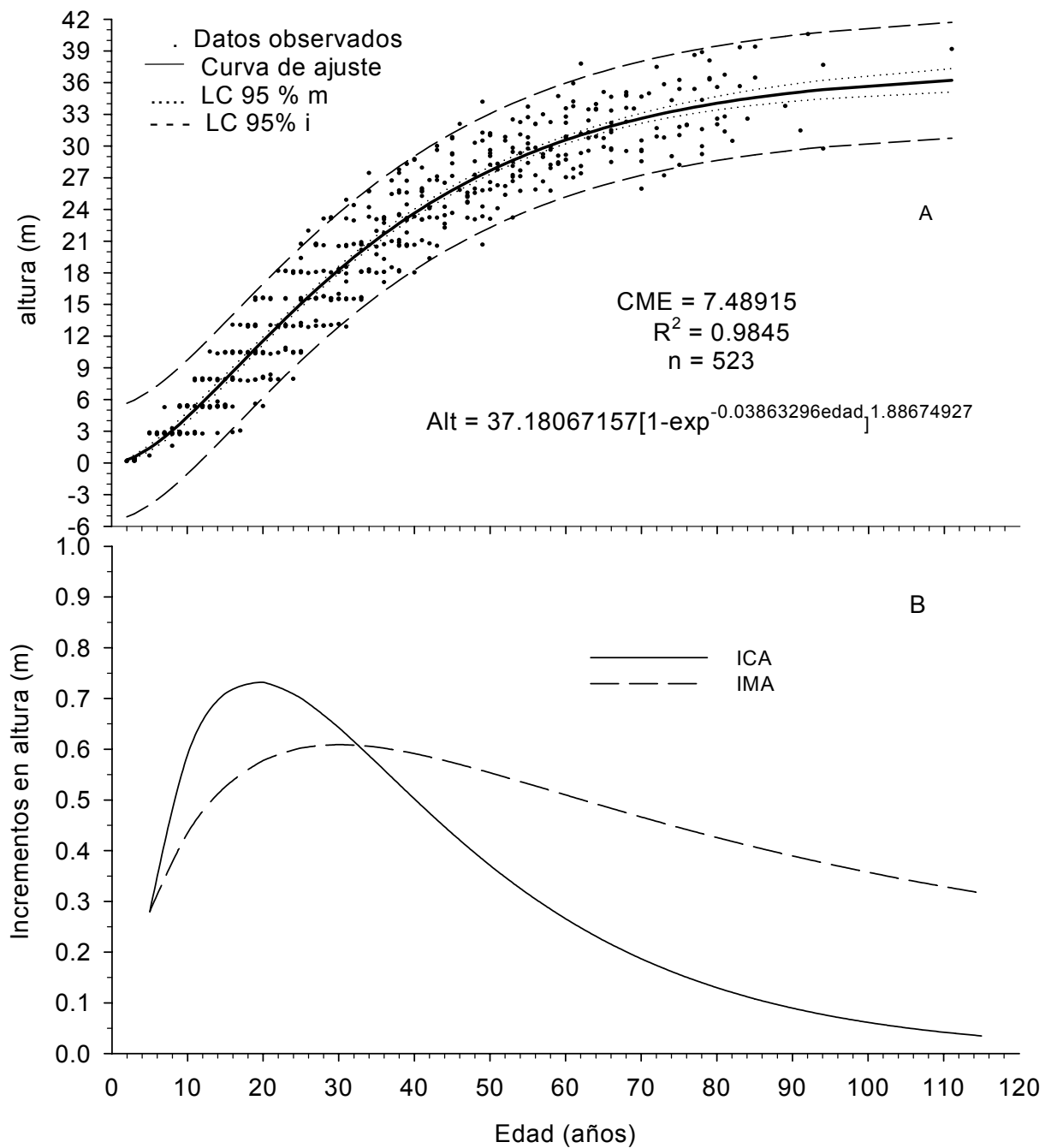


Figura 2. Diagrama de dispersión de la relación edad-altura y el ajuste de la curva del modelo de Chapman-Richards, límites de confianza al 95% de la media (m) y de los valores individuales (i) (A). Curvas de incremento corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) (B) para *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

los 20 años la curva decrece rápidamente. Después tiende a estabilizarse a partir de los 90 años. El IMA comienza con un crecimiento más lento, desde los cinco años hasta los 32 años en donde alcanza su máximo valor de incremento de 0.60 m año^{-1} , la curva decrece después de interceptar a la curva del ICA, con una pendiente muy suave después de los 90 años.

Rodríguez (1980) realizó un estudio epidométrico para *Pinus montezumae* Lamb. en San Juan Tetla, Pue. y el modelo que el autor utilizó para obtener el crecimiento en altura fue $Y = X^2 / (B_0 + B_1X + B_2 X^2)$ obteniendo un valor de $R^2 = 0.90$. Se consideró dicho modelo para el rango de altitud de 3,000 a 3,1000 m.s.n.m. con exposición Este y en pendiente media. Comparando los resultados obtenidos por Rodríguez (1980) con respecto al presente estudio dicho autor no reporta el valor de C.M.E. y reporta un valor de R^2 más bajo. Cabe señalar que Rodríguez (1980) sólo utilizó un modelo, por lo que no tuvo un amplio criterio para la selección de modelos, mientras que en el presente estudio se probaron varios modelos lo que permitió un mejor ajuste del modelo y describir mejor el crecimiento en altura.

Moreno (1996) realizó 51 análisis troncales en un estudio de índices de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en la región de Hidalgo-Zinapécuaro, Mich. El autor utilizó los métodos de predicción de parámetros y de la diferencia algebraica, así como los modelos de Schumacher y Chapman-Richards en su versión polimórfica. El autor realizó el ajuste por árbol y sitio, encontrando que el modelo mejor ajustado para describir la relación edad-altura fue el de Chapman-Richards por el método de predicción de parámetros por presentar un menor CME (3.34231) y un mayor R^2 (0.979). Al comparar el estudio realizado por Moreno (1996) con respecto al presente

trabajo, se encontró que dicho autor seleccionó el mismo modelo para describir el crecimiento en altura que el reportado en el presente estudio, además de que los valores de R^2 son muy semejantes.

García *et al.*, (1996) evaluaron el desarrollo de una plantación de *Pinus herrerae* en la región Sur occidental de Michoacán, mediante análisis troncal. El modelo probado fue $\text{LnHo} = B_0 + B_1 / (1/X)^{B_2}$ presentando un buen ajuste con un $R^2 = 0.97$ para el crecimiento en altura. Cabe mencionar que la plantación fue establecida en 1963 habiendo utilizado planta de regeneración natural de uno a dos años extraída con cepellón, además no especifican el número de árboles que utilizaron para los análisis troncales. El estudio realizado por estos autores, se diferencia del presente estudio, ya que sólo utilizaron un modelo para describir el crecimiento en altura, además de que se hizo en una plantación y no reportan el valor del C.M.E.; sin embargo, los valores de R^2 son muy semejantes.

Por su parte, Franco (2001) realizó un estudio para determinar el índice de sitio para *Pinus montezumae* Labm. En la región Cd. Hidalgo, Mich., mediante 28 análisis troncales. El autor utilizó el método de la curva guía probando tres modelos de crecimiento en altura Chapman-Richards, Schumacher y Gompertz y encontró que el modelo que mejor se ajustó para describir la relación edad-altura fue el de Chapman-Richards con un CME = 17.17 y un $R^2 = 0.87$. Al comparar los resultados obtenidos por Franco (2001) con respecto al presente estudio, Franco (2001) reporta el mismo modelo para describir el crecimiento en altura, aún utilizando diferente metodología de ajuste; además reporta un valor de R^2 más bajo que en el presente estudio.

Al graficar las curvas de crecimiento en altura obtenidas por Rodríguez (1980), Moreno (1996), Franco (2001) y la del presente estudio (Figura 3), se encontró que a la edad de cinco a diez años, la curva que obtuvo Rodríguez (1980) presenta un menor crecimiento, respecto a las otras tres curvas. Posteriormente, dicha curva presenta un rápido crecimiento a partir de los 10 a los 51 años, alcanzando una altura de 27 m pero con menos valor que las otras tres.

Las curvas estimadas por Moreno (1996), Franco (2001) y la del presente estudio presentan un crecimiento rápido desde los primeros cinco años (Figura 3). El crecimiento en altura es más rápido para la curva que obtuvo Moreno (1996) con *Pinus pseudostrobus*, dicho crecimiento alcanza una altura máxima de 34 m a la edad de 45 años. Mientras que el crecimiento máximo en altura estimado por Franco (2001) para *Pinus montezumae* alcanza a la edad de 34 años, logrando una altura de 25 m. Y para *Pinus herrerae* en el presente estudio, el crecimiento máximo en altura es a la edad de 38 años, alcanzando una altura de 23 m. Para la curva estimada por Rodríguez (1980) para *Pinus montezumae* el crecimiento máximo en altura es a la edad de 40 años, alcanzando una altura de 22 m. Posteriormente, a todas esas edades y alturas se presenta el punto de inflexión.

Para *Pinus montezumae*, la curva que obtuvo Franco (2001) el máximo crecimiento en altura es de 35 m a la edad de 100 años, mientras que la que generada por Rodríguez (1980) alcanza su máxima altura (30 m) a la edad de 70 años, en tanto que para la especie del presente estudio a la edad de 115 años, alcanza una altura máxima de 36 m. Respecto a la curva que obtuvo Moreno (1996) para *Pinus*

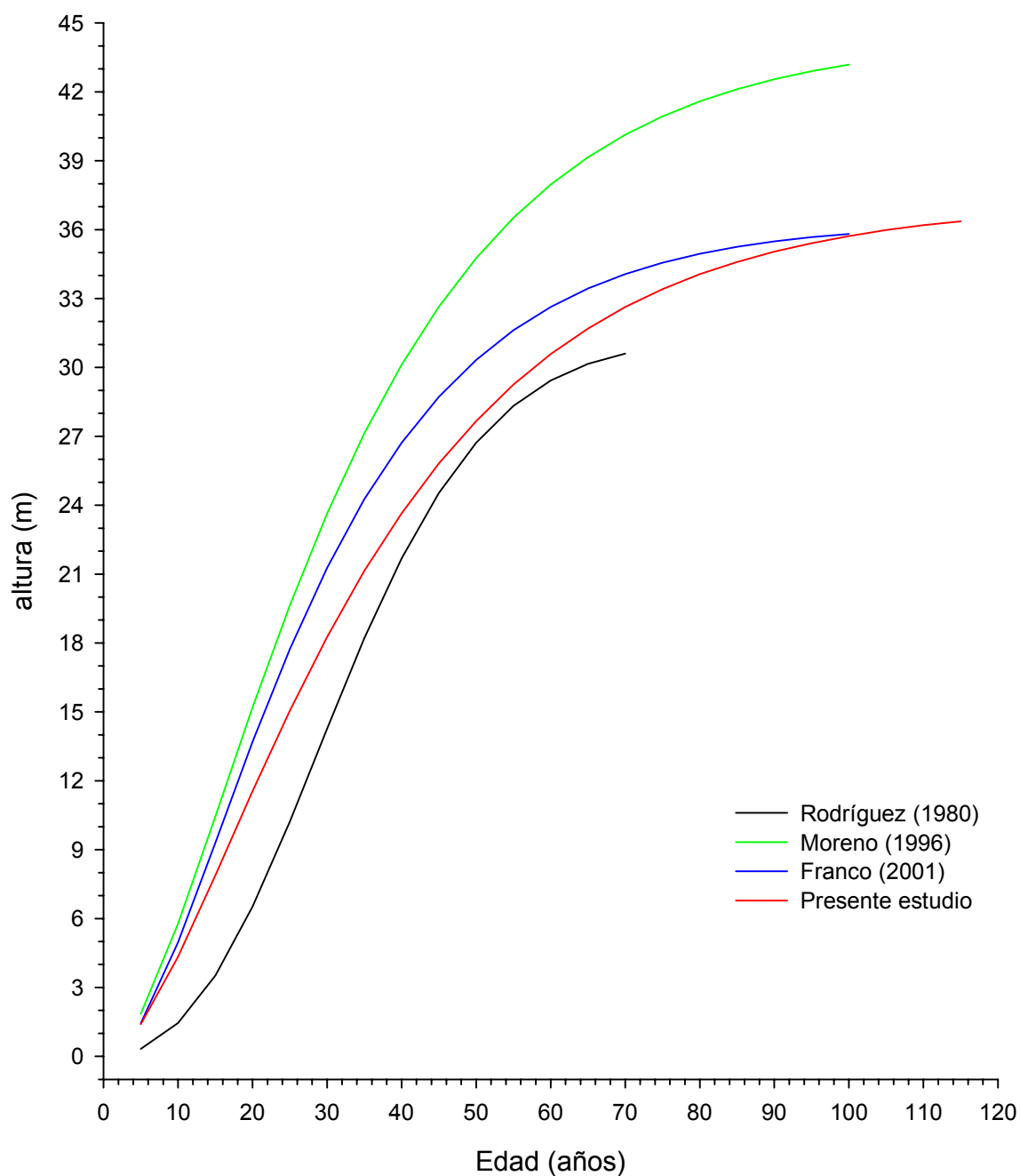


Figura 3. Curvas promedio de la relación edad-altura generadas por Rodríguez (1980) para *Pinus montezumae* Lamb. en San Juan Tetla, Pue., Moreno (1996) para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en la Región Hidalgo-Zinapécuaro, Mich., Franco (2001) para *Pinus montezumae* Lamb. en la región de Cd. Hidalgo, Mich. y el presente estudio para *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

pseudostrobus a la edad de 100 años alcanza su máximo crecimiento en altura de 43 m.

En la región de Cd. Hidalgo Mich. el *Pinus pseudostrobus* presenta un mayor crecimiento en altura desde los primeros años, comparando con *Pinus montezumae* y *Pinus herrerae*. Para el caso del crecimiento de *Pinus montezumae*, *Pinus herrerae* y *Pinus pseudostrobus* en la región de Cd. Hidalgo, Mich. con relación al crecimiento que ocurre en San Juan Tetla, Pue. el crecimiento es más rápido durante los primeros 25 años en Cd. Hidalgo, Mich.

Cabe destacar que las curvas que generaron Moreno (1996), Franco (2001) y la del presente estudio el crecimiento en altura continúa pero más lentamente y para la curva que obtuvo Rodríguez (1980).

Las curvas de ICA generadas por Rodríguez (1980), Moreno (1996), Franco (2001) y la del presente estudio (Figura 4) a la edad de diez años presentan ICA diferentes, ya que la curva que obtuvo Rodríguez (1980) presenta un valor de 0.21 m año⁻¹, mientras que la curva que generó Moreno (1996) alcanza 0.70 m año⁻¹, la curva que obtuvo Franco (2001) alcanza un valor de 0.65 m año⁻¹ y la del presente estudio alcanza un ICA de 0.55 m año⁻¹.

Posteriormente, las curvas que generaron los autores presentan un rápido incremento. La curva que obtuvo Moreno (1996) para *Pinus pseudostrobus* presenta un mayor incremento desde los primeros años, en comparación con la curva que

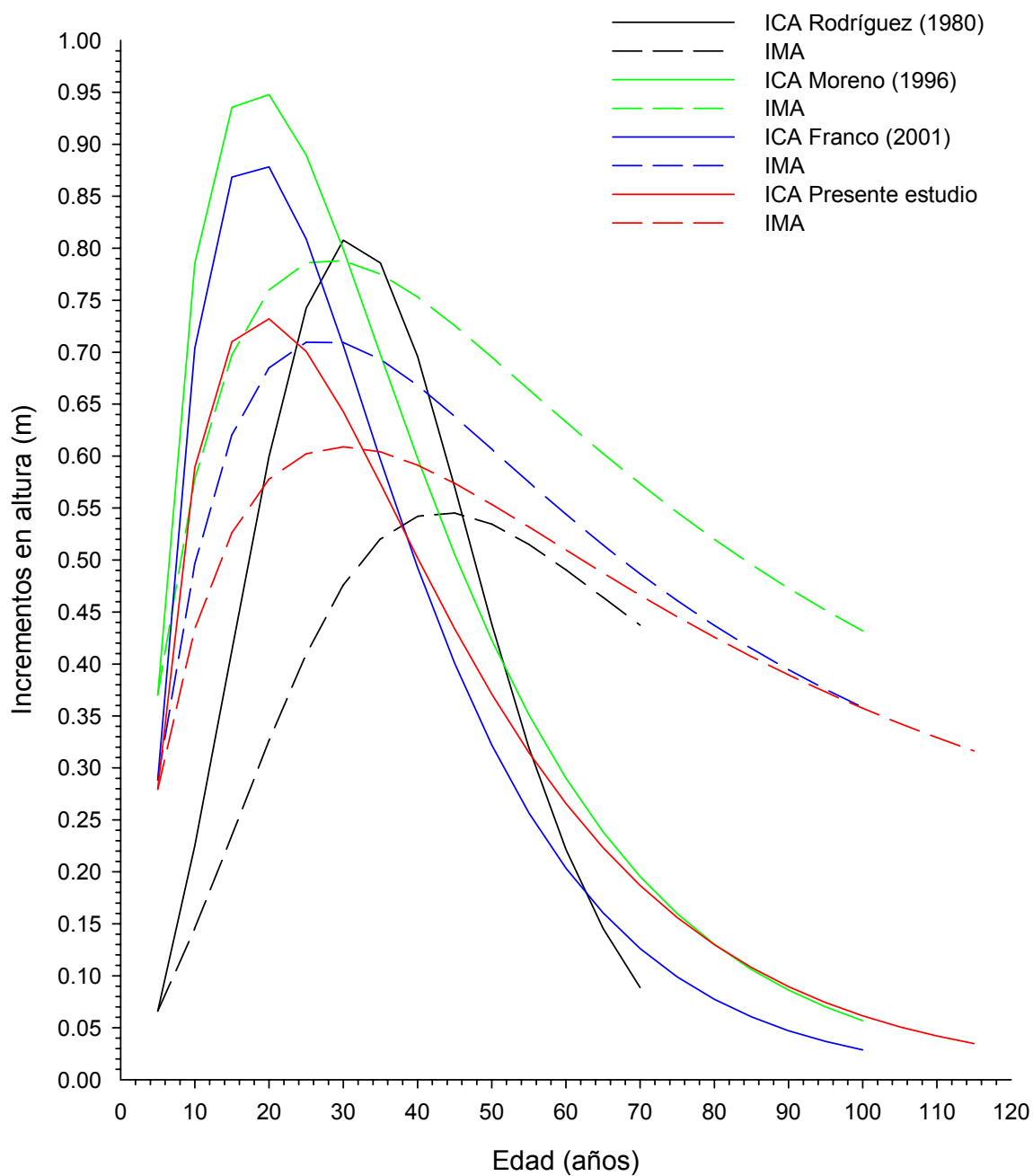


Figura 4. Curvas de incremento corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) en altura generadas por Rodríguez (1980) para *Pinus montezumae* Lamb. en San Juan Tetla, Pue., Moreno (1996) para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en la Región Hidalgo-Zinapécuaro, Mich., Franco (2001) para *Pinus montezumae* Lamb. en la región de Cd. Hidalgo, Mich. y el presente estudio para *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

generó Rodríguez (1980), Franco (2001) para *Pinus montezumae* y para *Pinus herrerae* del presente estudio.

La curva que obtuvo Rodríguez (1980) alcanza su máximo ICA de 0.80 m año¹ a la edad de 32 años y la curva generada por Moreno (1996), Franco (2001) y la del presente estudio alcanzan un ICA de 0.95, 0.87 y 0.73 m año¹ a la edad de 20 años respectivamente. Posteriormente, las curvas estimadas por los autores decrecen gradualmente (Figura 4).

Para el caso del IMA, la curva estimadas por Moreno (1996) para *Pinus pseudostrobus* alcanza los valores más altos con respecto a las curvas que generaron Rodríguez (1980), Franco (2001) y la del presente estudio (Figura 4), alcanzando el máximo IMA a la edad de 32 años con un valor de 0.78 m año¹; mientras que la curva de IMA generada por Franco (2001) para *Pinus montezumae* con un valor de 0.70 m año¹ y para *Pinus herrerae* del presente estudio con un valor de 0.60 m año¹. Mientras que, para la curva que obtuvo Rodríguez (1980) para *Pinus montezumae* presenta un menor incremento, alcanzando el máximo IMA de 0.57 m año¹ a la edad de 46 años, posteriormente las curvas de dichos autores y la del presente estudio decrecen gradualmente.

Con base en lo anterior, el *Pinus pseudostrobus* presenta los mayores incrementos del ICA e IMA en altura desde los primeros años en comparación con *Pinus montezumae* y *Pinus herrerae* en la región de Cd. Hidalgo, Mich. Con relación a los incrementos que ocurren en San Juan Tetla, Pue., los valores más altos de los incrementos, ICA e IMA, ocurren a la edad de 32 y 46 años respectivamente,

mientras que, los incrementos ICA e IMA más altos que se alcanzan en la región de Cd. Hidalgo, Mich., se presentan a las edades de 20 y 32 años, respectivamente.

Crecimiento e incremento en diámetro a 2.84 m

El modelo que presentó mejor ajuste para la relación edad-diámetro fue el de Gompertz por presentar el menor valor del CME (26.8730) y el valor más alto de R^2 (0.9697) (Cuadro 4), además de que se presenta una buena distribución de los residuales estudentizados (Apéndice 5 y 6). También destacan los modelos de Chapman-Richards, Logístico y Schumacher, por presentar valores cercanos al modelo seleccionado. También se probó el modelo de Weibull pero éste se descartó por no presentar convergencia.

Cuadro 4. Valores del cuadrado medio del error (C.M.E.) y del coeficiente de determinación (R^2) de los cuatro modelos probados para la relación edad-diámetro a 2.84 m de *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

Modelo	C.M.E.	R^2
Gompertz	26.8730	0.9697
Chapman-Richards	27.0733	0.9695
Logístico	27.3333	0.9692
Schumacher	29.4102	0.9668

La curva de crecimiento en diámetro (Figura 5 A) presenta una parte cóncava durante los primeros 10 años, en el que el crecimiento es lento, después el crecimiento es más rápido hasta los 60 años, alcanzando un diámetro de 38 cm, posteriormente presenta una parte convexa de los 60 años hasta los 80 años y a partir de los 90 años la curva se estabiliza hasta los 110 años. Los incrementos en ICA e IMA (Figura 5 B) coinciden a la edad de cinco años con un incremento de 0.70

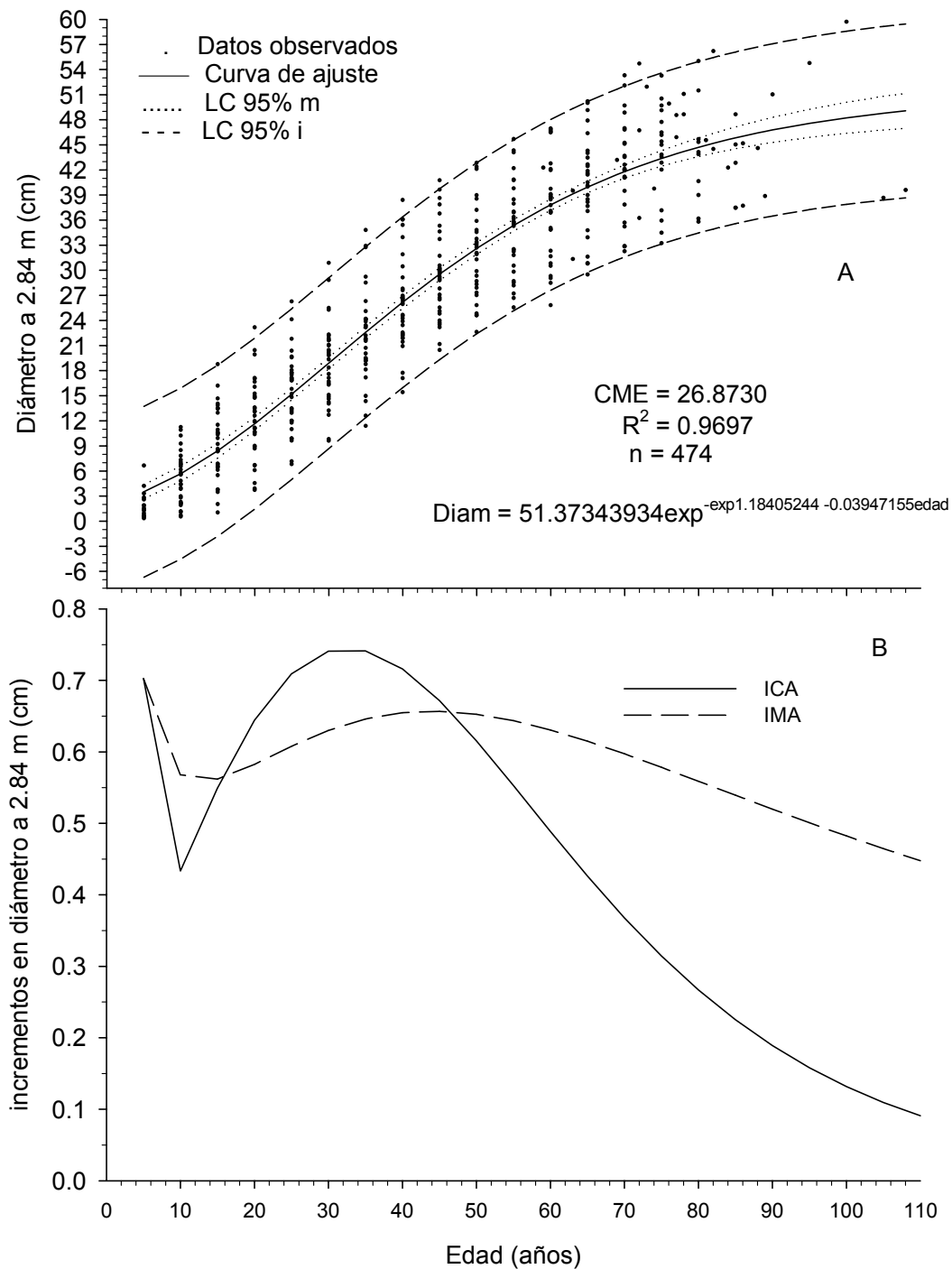


Figura 5. Diagrama de dispersión de la relación edad-diámetro y el ajuste de la curva del modelo de Gompertz, límites de confianza al 95% de la media (m) y de los valores individuales (i) (A). Curvas de incremento corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) (B) para *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

cm año⁻¹, esto es debido a que el modelo sobrestima el crecimiento en diámetro durante los primeros cinco años, lo cual se ve reflejado en los incrementos y hasta los 10 años decrece gradualmente. Después de los 10 años vuelven a incrementar alcanzando su máximo valor del ICA a los 34 años (0.75 cm año⁻¹), posteriormente, decrece gradualmente hasta los 110 años. Mientras que el IMA alcanza su máximo valor de incremento de 0.66 cm año⁻¹ a la edad de 46 años, después disminuye lentamente hasta la edad de 110 años.

Rodríguez (1980) realizó un estudio epidométrico de *Pinus montezumae* Lamb. en San Juan Tetla, Pue., mediante análisis troncales de 81 árboles. Para el diámetro se consideró el modelo $Y = X^2 / B_0 + B_1X + B_2X^2$ con un valor de $R^2 = 0.90$ con un rango de altitud de 3,000 a 3,100, así como en la exposición Este y pendiente baja. Al comparar los resultados obtenidos por Rodríguez (1980) con respecto al presente estudio, se encontró que son diferentes, ya que en el presente estudio se utilizaron varios modelos para describir el crecimiento en diámetro, mientras que Rodríguez (1980) sólo utilizó un modelo, además no reporta los valores del C.M.E. y el R^2 es más bajo, que el que se reporta en el presente estudio.

García *et al.*, (1996) evaluaron el desarrollo de una plantación de *Pinus herrerae* en la región Sur occidental de Michoacán, mediante análisis troncal. El modelo probado fue $Lnd = B_0 + B_1 / (1/X)^{B_2}$ presentó buen ajuste con un $R^2 = 0.95$ para el crecimiento en diámetro a 1.30 cm, cabe mencionar que la plantación fue establecida en 1963 habiendo utilizado planta de regeneración natural de uno a dos años de edad extraída con cepellón, además no especifican el número de árboles que utilizaron para los análisis troncales.

Al graficar la curva de crecimiento en diámetro obtenida por Rodríguez (1980) (Figura 6) se presenta un menor crecimiento desde los cinco años hasta los 22 años, alcanzando un diámetro de 0.69 cm a la edad de cinco años. El crecimiento del *Pinus herrerae* del presente estudio es mayor desde los cinco años hasta los 22 años, alcanza un diámetro de 3 cm durante los primeros cinco años, posteriormente, el crecimiento en diámetro es superado a partir de los 22 años por la curva que obtuvo Rodríguez (1980) (Figura 6).

Posteriormente, a la edad de 15 años la curva que generó Rodríguez (1980) presenta un rápido crecimiento en diámetro hasta los 50 años alcanzando un diámetro de 45 cm, mientras que la curva del presente estudio presenta un crecimiento más rápido desde los cinco años hasta los 40 años alcanzando un diámetro de 27 cm. Posteriormente, la curva que obtuvo Rodríguez (1980) presenta un crecimiento más lento desde los 40 años hasta los 70 años, alcanzando un diámetro de 54 cm no estabilizándose este crecimiento, lo cual indica que continúa en aumento. Para el caso del presente estudio el crecimiento es más lento a partir de los 40 años hasta los 110 años, alcanzando un diámetro de 49 cm y dicho crecimiento no se estabiliza, lo cual indica que también continúa (Figura 6).

Con base en lo anterior, el crecimiento en diámetro que ocurre en San Juan Tetla, Pue., es menor durante los primeros 25 años que en Cd. Hidalgo, Mich. Después de los 24 años hasta los 70 años el crecimiento en diámetro es mayor en San Juan Tetla, Pue., que en Cd. Hidalgo.

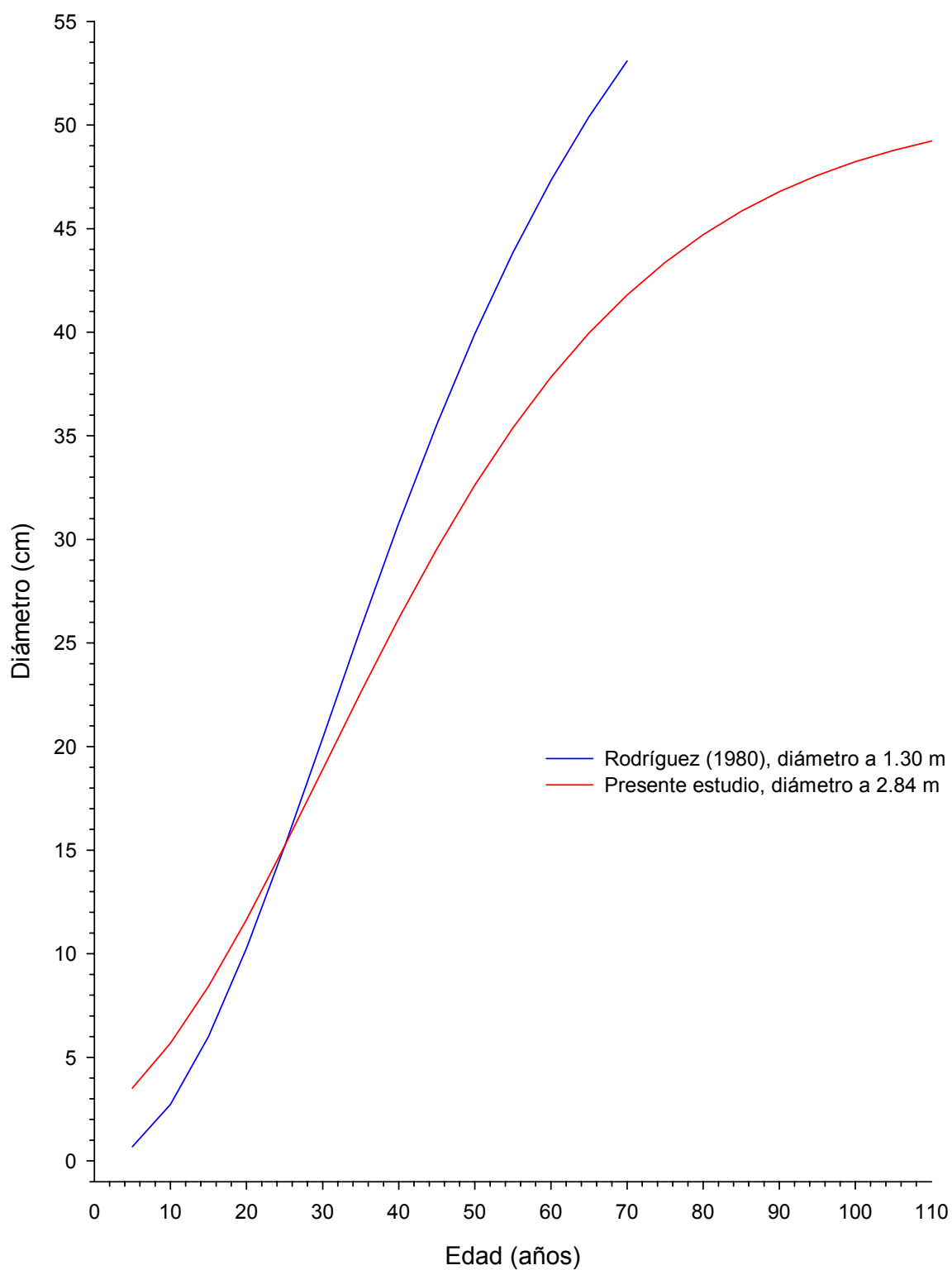


Figura 6. Curvas promedio de la relación edad-diámetro, generada por Rodríguez (1980) para *Pinus montezumae* Lamb. en San Juan Tetla, Pue. y el presente estudio para *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

La curva de ICA en diámetro que obtuvo Rodríguez (1980) y la del presente estudio (Figura 7) presentan diferentes incrementos, ya que la curva que obtuvo Rodríguez (1980) en los primeros cinco años presenta un ICA de 0.13 m año^{-1} , mientras que para el presente estudio el ICA es de 0.69 m año^{-1} .

Posteriormente, el ICA estimado por Rodríguez (1980) presenta un incremento más rápido, alcanzando su máximo valor de 1.07 m año^{-1} a la edad de 35 años, para el caso del ICA del presente trabajo, éste disminuye hasta la edad de diez años, posteriormente vuelve a incrementar alcanzando el máximo ICA a la edad de 32 años con un valor de 0.73 m año^{-1} , a partir de esta edad el ICA decrece hasta los 110 años, así mismo el ICA estimado por Rodríguez (1980) disminuye hasta los 70 años,

El IMA estimado por Rodríguez (1980) presenta un incremento más lento, alcanzando a la edad de 50 años el máximo IMA de 0.78 m año^{-1} , a partir de los 50 años disminuye lentamente hasta llegar a los 70 años. Para el caso del IMA del presente estudio es similar al ICA, alcanzando un IMA a la edad de 48 años de 0.64 m año^{-1} , posteriormente la curva decrece lentamente hasta llegar a los 110 años (Figura 7).

Con base en lo anterior, existen mayores incrementos en diámetro para *Pinus montezumae* en San Juan Tetla, Pue., que para *Pinus herrerae* en la región de Cd. Hidalgo, Mich. Con la excepción de que en los primeros cinco años en la región de Cd. Hidalgo, Mich. es mayor el incremento que en San Juan Tetla, Pue.

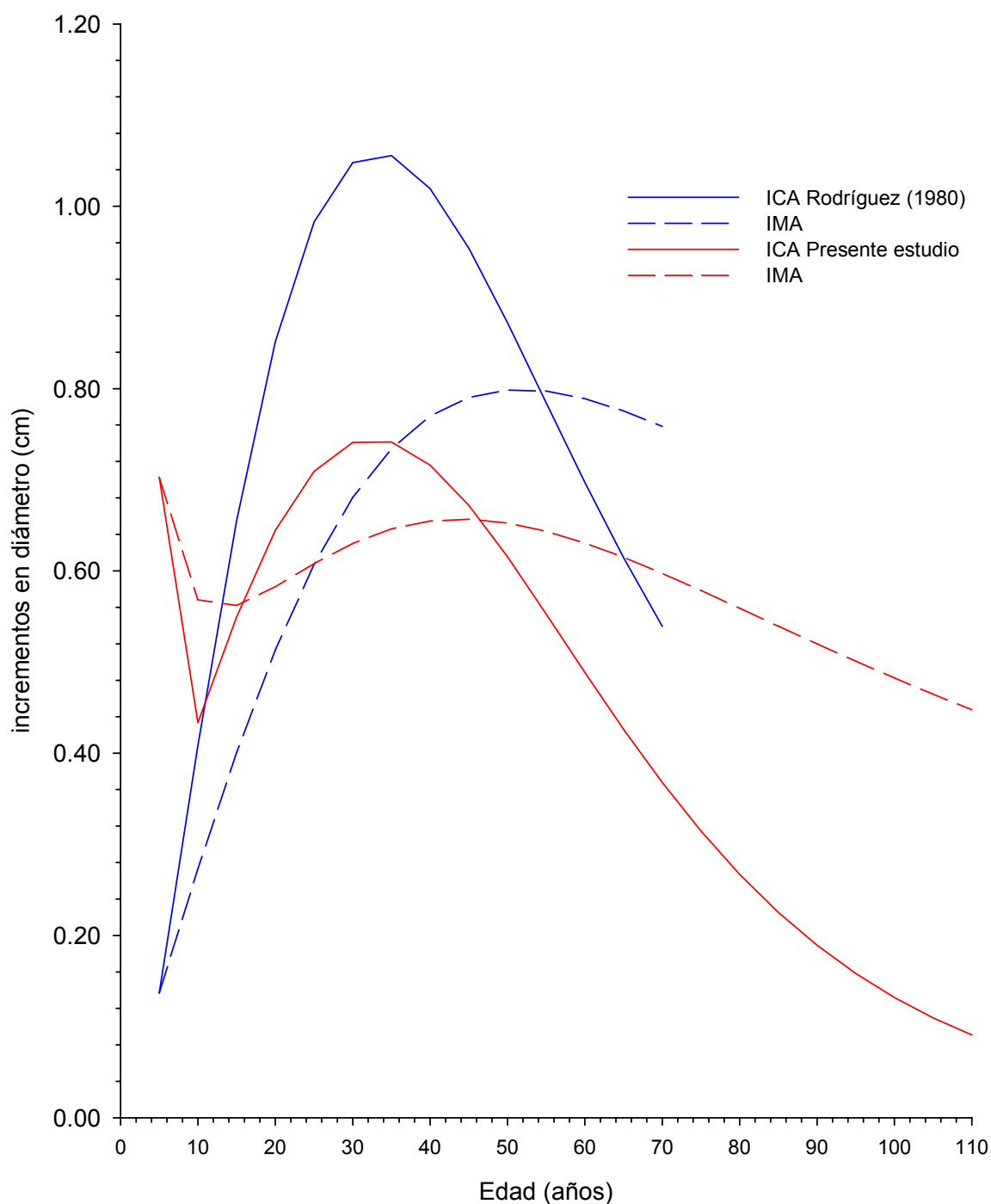


Figura 7. Curvas de incremento corriente anual (ICA) y medio anual (IMA), generada por Rodríguez (1980) a un diámetro de 1.30 m para *Pinus montezumae* Lamb. en San Juan Tetla, Pue. y el presente estudio a un diámetro de 2.84 m para *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

Crecimiento e incremento en área basal a 2.84 m

El modelo seleccionado para la relación edad-área basal fue el Logístico, ya que presentó el menor valor del CME (0.00037) y el valor más alto R^2 (0.9374) (Cuadro 5), además de que los residuales presentaron una buena distribución (Apéndice 5 y 6). También destacan los modelos de Gompertz, Chapman-Richards, Schumacher y Exponencial, ya que presentaron valores cercanos al modelo seleccionado. El modelo de Weibull se descartó por no presentar convergencia.

Cuadro 5. Valores del cuadrado medio del error (C.M.E.) y del coeficiente de determinación (R^2) de los cinco modelos probados para la relación edad-área basal a 2.84 m de *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

Modelo	C.M.E.	R^2
Logístico	0.00037	0.9374
Gompertz	0.00038	0.9356
Chapman-Richards	0.00039	0.9345
Schumacher	0.00040	0.9323
Exponencial	0.00073	0.8789

El curva de crecimiento en área basal (Figura 8 A) presenta una parte cóncava durante los primeros 30 años, en el que el crecimiento es lento, posteriormente el crecimiento es más rápido hasta los 70 años, alcanzando un área basal de 0.13 m², después la curva presenta una parte convexa de los 70 años hasta los 85 años y de los 90 años hasta los 110 años la curva se estabiliza.

Los incrementos ICA e IMA (Figura 8 B) son muy parecidas a las del incremento en diámetro, coinciden a la edad de cinco años con un incremento de 0.009 m² año⁻¹, posteriormente, estos incrementos disminuyen gradualmente hasta los 10 años, esto

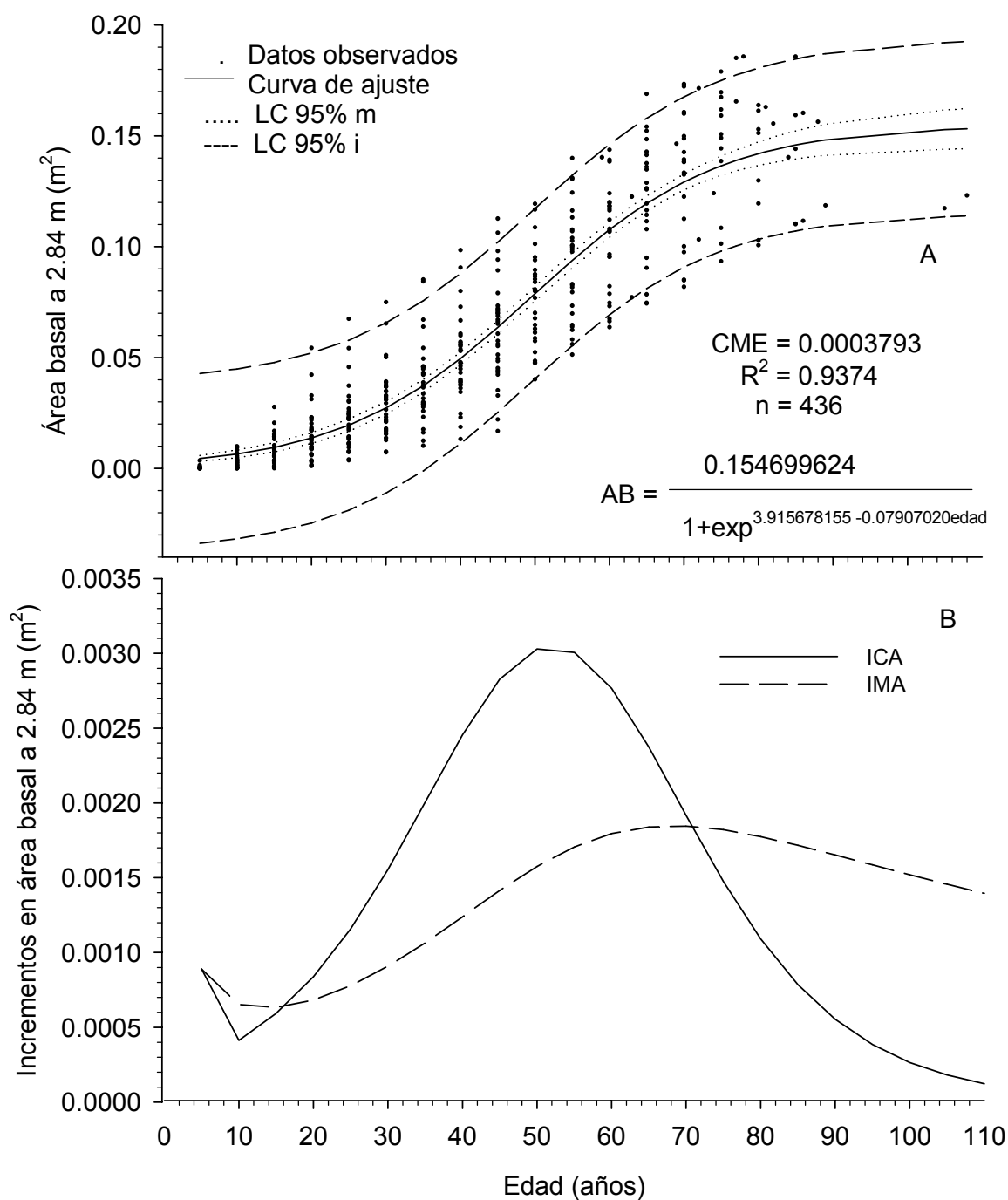


Figura 8. Diagrama de dispersión de la relación edad-área basal y el ajuste de la curva del modelo de Logístico, límites de confianza al 95% de la media (m) y de los valores individuales (i) (A). Curvas de incremento corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) (B) para *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

debido a que el modelo sobrestima el crecimiento en área basal durante los primeros cinco años y éste se ve reflejado en los incrementos, después de los 10 años vuelven a incrementarse, alcanzando el máximo valor ICA ($0.0031 \text{ m}^2 \text{ año}^{-1}$) a los 50 años, posteriormente, la curva disminuye muy rápido, estabilizándose a partir de 98 años hasta los 110 años. Para el caso del IMA este alcanza su máximo valor a los 72 años ($0.0018 \text{ m}^2 \text{ año}^{-1}$) de área basal, después disminuye gradualmente hasta los 110 años.

Crecimiento e incremento en volumen

El modelo que presentó mejor ajuste para la relación edad-volumen fue el de Gompertz por presentar el menor valor del CME (0.1324) y el valor más alto de R^2 (0.9091) (Cuadro 6), además de que los residuales estudentizados presentaron buena distribución (Cuadro 6; Apéndice 5 y 6). También destacan los modelos de Chapman-Richards, Schumacher y Exponencial, dichos modelos presentaron valores cercanos al modelo seleccionado. Los modelos de Weibull y Logístico se descartaron, ya que no presentaron convergencia.

Cuadro 6. Valores del cuadrado medio del error (C.M.E.) y del coeficiente de determinación (R^2) de los cuatro modelos probados para la relación edad-volumen de *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

Modelo	C.M.E.	R^2
Gompertz	0.132448	0.9091
Chapman-Richards	0.133248	0.9085
Schumacher	0.137058	0.9057
Exponencial	0.235890	0.8378

La curva de crecimiento en volumen (Figura 9 A) presenta una parte cóncava durante los primeros 30 años, en donde el crecimiento es lento ($0.0015 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$) posteriormente, el crecimiento es continuo hasta los 64 años, alcanzando un volumen de 2.0 m^3 , a partir de los 64 años hasta los 90 años, la curva presenta una parte convexa, posteriormente la curva se estabiliza de los 90 años hasta los 110 años. Los incrementos ICA e IMA (Figura 9 B) son muy diferentes a los incrementos en diámetro y área basal, estos comienza con un incremento de 0.0015 m^3 durante los primeros cinco años, después el ICA a los 48 años alcanza su máximo valor de $0.048 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$, posteriormente, decrece hasta los 110 años sin llegar a estabilizarse. Mientras que el IMA alcanza su máximo incremento ($0.0300 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$) a los 76 años, en donde intercepta a la curva del ICA, después disminuye muy lentamente sin llegar a estabilizarse.

Rodríguez (1980) realizó un estudio epidométrico de *Pinus montezumae* Lamb. en San Juan Tetla, Pue., mediante análisis troncales de 81 árboles. El autor encontró que la altitud no influye en el crecimiento en volumen, pero si la exposición, para el caso de la pendiente, ésta tampoco influye en el crecimientos e incrementos en volumen.

García *et al.* (1996) evaluaron el desarrollo de una plantación de *Pinus herrerae* en la región Sur occidental de Michoacán. mediante análisis troncal. El modelo probado fue $Y = B_0 X^{B_1}$ y presentó un buen ajuste con un $R^2 = 0.97$ para el crecimiento en volumen, cabe mencionar que la plantación fue establecida en 1963 con planta de regeneración natural de uno a dos años extraída con cepellón, además no especifican el número de árboles que utilizaron para los análisis troncales.

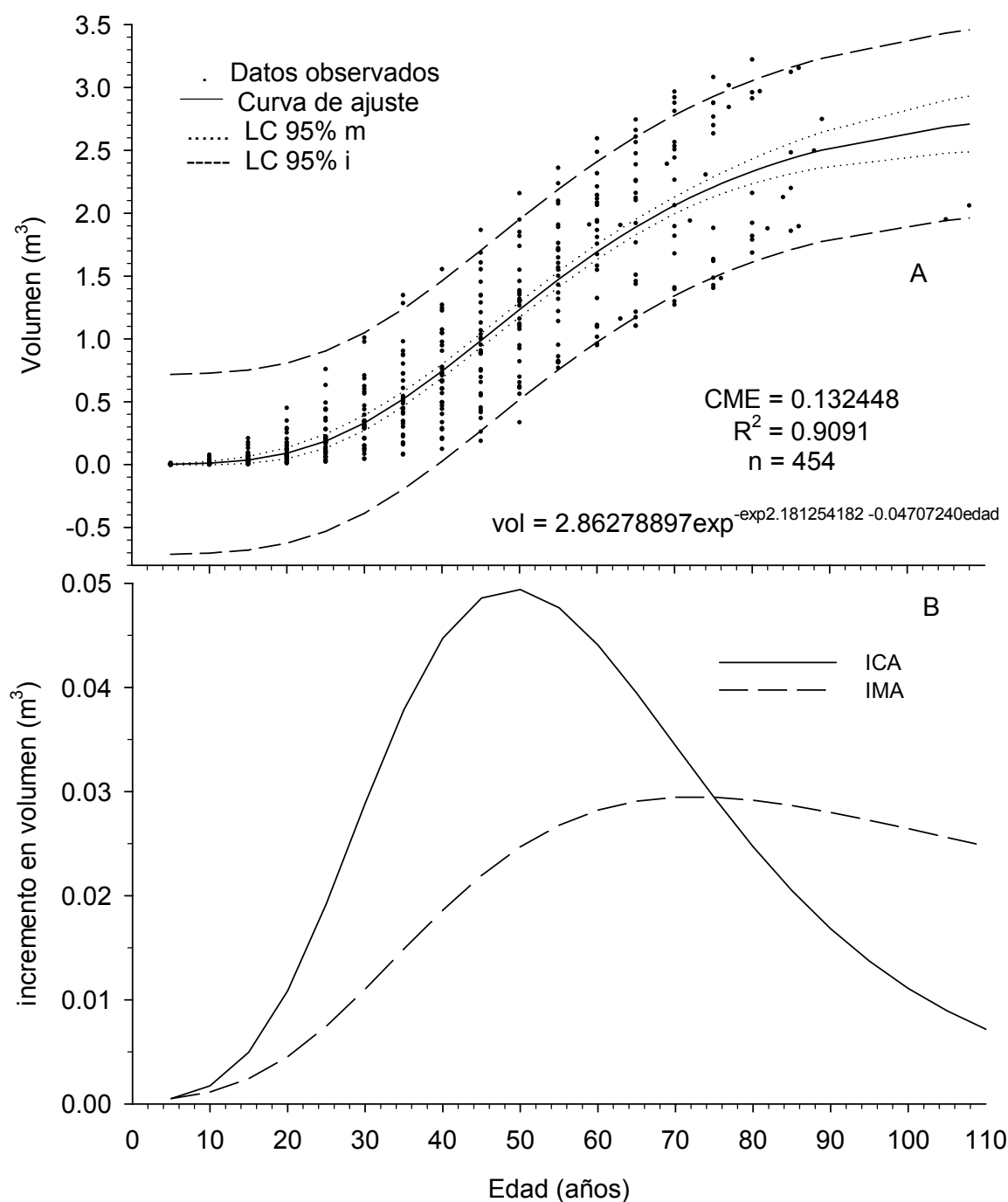


Figura 9. Diagrama de dispersión de la relación edad-volumen y el ajuste de la curva del modelo de Gompertz, límites de confianza al 95% de la media (m) y de los valores individuales (i) (A). Curvas de incremento corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) (B) para *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

DISCUSIÓN GENERAL

La curva de crecimiento en altura presenta un crecimiento lento en los primeros cinco años, posteriormente, el crecimiento es más rápido hasta los 50 años alcanzando una altura de 26 m, después la curva presenta un punto de inflexión de los 50 a los 70 años a una altura de 30 m, a partir de los 70 años, la curva se estabiliza hasta los 110 años (Figura 10 A).

La curva de crecimiento en diámetro presenta un crecimiento continuo desde los primeros cinco años hasta los 60 años, alcanzando un diámetro de 38 cm, posteriormente, la curva presenta una parte convexa de los 60 hasta los 80 años y a partir de esta edad se estabiliza hasta los 110 años (Figura 10 B)

La curva de crecimiento en área basal presenta un crecimiento lento desde los primeros cinco años hasta los 30 años, posteriormente la curva presenta una parte convexa a los 70 años, alcanzando una área basal de 0.13 m^2 , a partir de los 90 hasta los 110 años la curva se estabiliza (Figura 10 C)

La curva de crecimiento en volumen presenta un crecimiento lento durante los primeros 30 años, posteriormente, este crecimiento es continuo hasta los 64 años alcanzando un volumen de 2.0 m^3 , a partir de los 64 hasta los 90 años, la curva presenta un parte convexa, posteriormente la curva se estabiliza de los 90 hasta los 110 años (Figura 10 D).

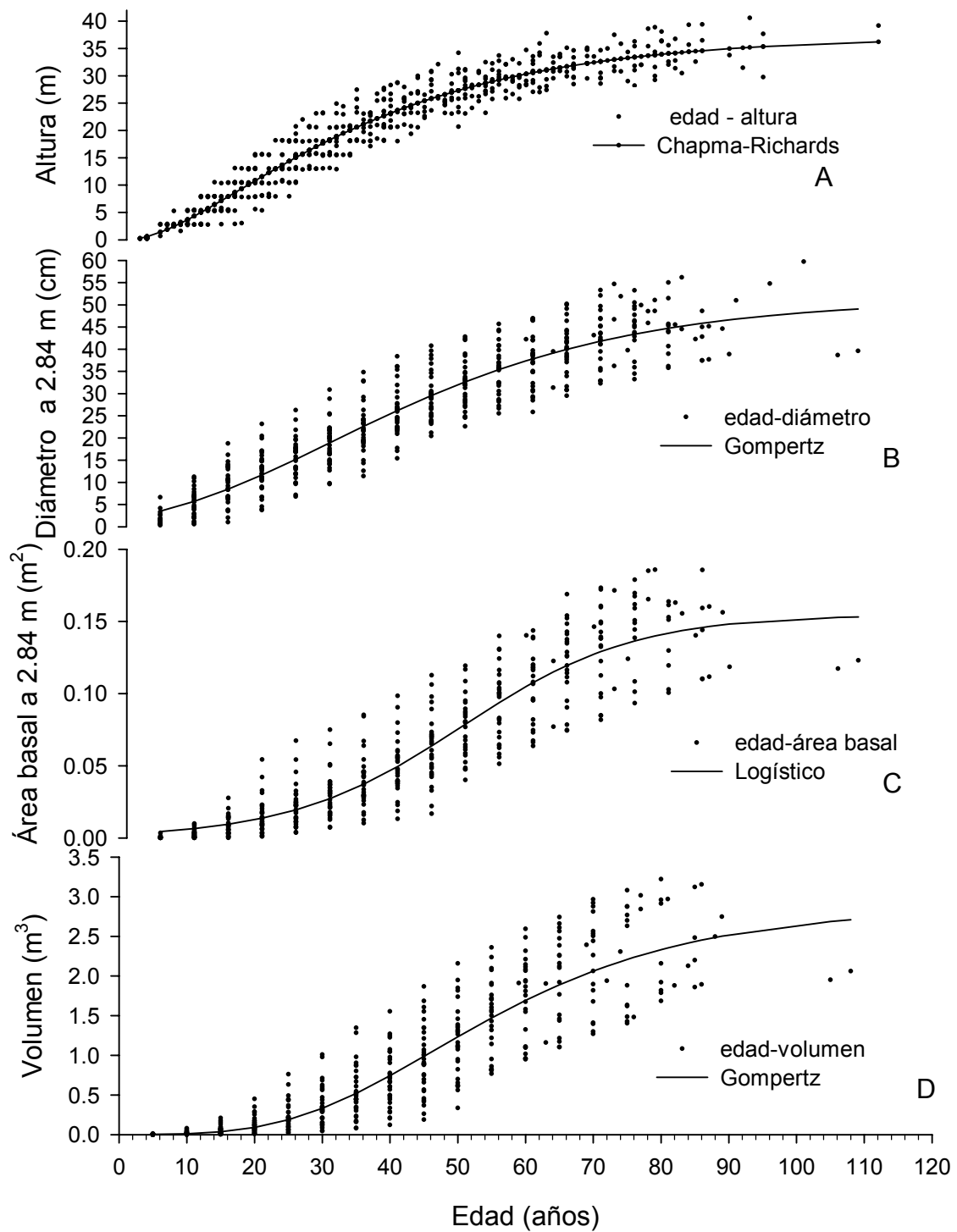


Figura 10. Diagrama de dispersión de la relación edad-altura (A), edad-diámetro (B), edad-área basal (C) y edad-volumen (D) y el ajuste de los modelos seleccionados para *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

Respecto a las curvas de incremento en altura el ICA presenta un crecimiento rápido desde los primeros cinco años, alcanzando su máximo valor de 0.74 m año^{-1} a la edad de 15 años, a partir de esta edad la curva decrece rápidamente y se estabiliza a partir de los 90 años (Figura 11 A). Mientras que la curva de ICA en diámetro es muy distinta al ICA de la altura, ya que presenta un incremento de 0.70 cm año^{-1} en los primeros cinco años, después decrece gradualmente hasta los diez años, alcanzando su el máximo valor de 0.75 cm año^{-1} a la edad de 34 años, posteriormente decrece gradualmente hasta los 110 años (Figura 11 B). La curva de ICA en área basal es muy parecida a la curva de ICA de diámetro, ya presenta un incremento de 0.009 m año^{-1} en los primeros cinco años, posteriormente, decrece gradualmente hasta los diez años, alcanzando el máximo valor de ICA a los 50 años, estabilizándose a partir de los 98 hasta los 110 años (Figura 11 C). Mientras que el ICA en volumen comienza con un crecimiento lento durante los primeros diez años, después el crecimiento es más rápido, alcanzando el máximo valor de $0.048 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ a los 48 años, posteriormente decrece gradualmente hasta los 110 años (Figura 11D).

Para el caso del IMA en altura, comienza con crecimiento lento desde los primeros cinco años hasta los 32 años en donde alcanza el máximo valor de 0.60 m año^{-1} , posteriormente la curva decrece hasta los 110 años (Figura 11 A). El IMA del diámetro desde los primeros cinco años comienza con un incremento de 0.70 cm año^{-1} , después decrece hasta los diez años, a partir de esta edad vuelve a incrementar y a la edad de 46 años alcanza el máximo incremento, posteriormente, disminuye drásticamente hasta los 110 años (Figura 11 B). La curva del IMA en área basal es muy parecida a la curva del IMA del diámetro, alcanzando el máximo incremento en

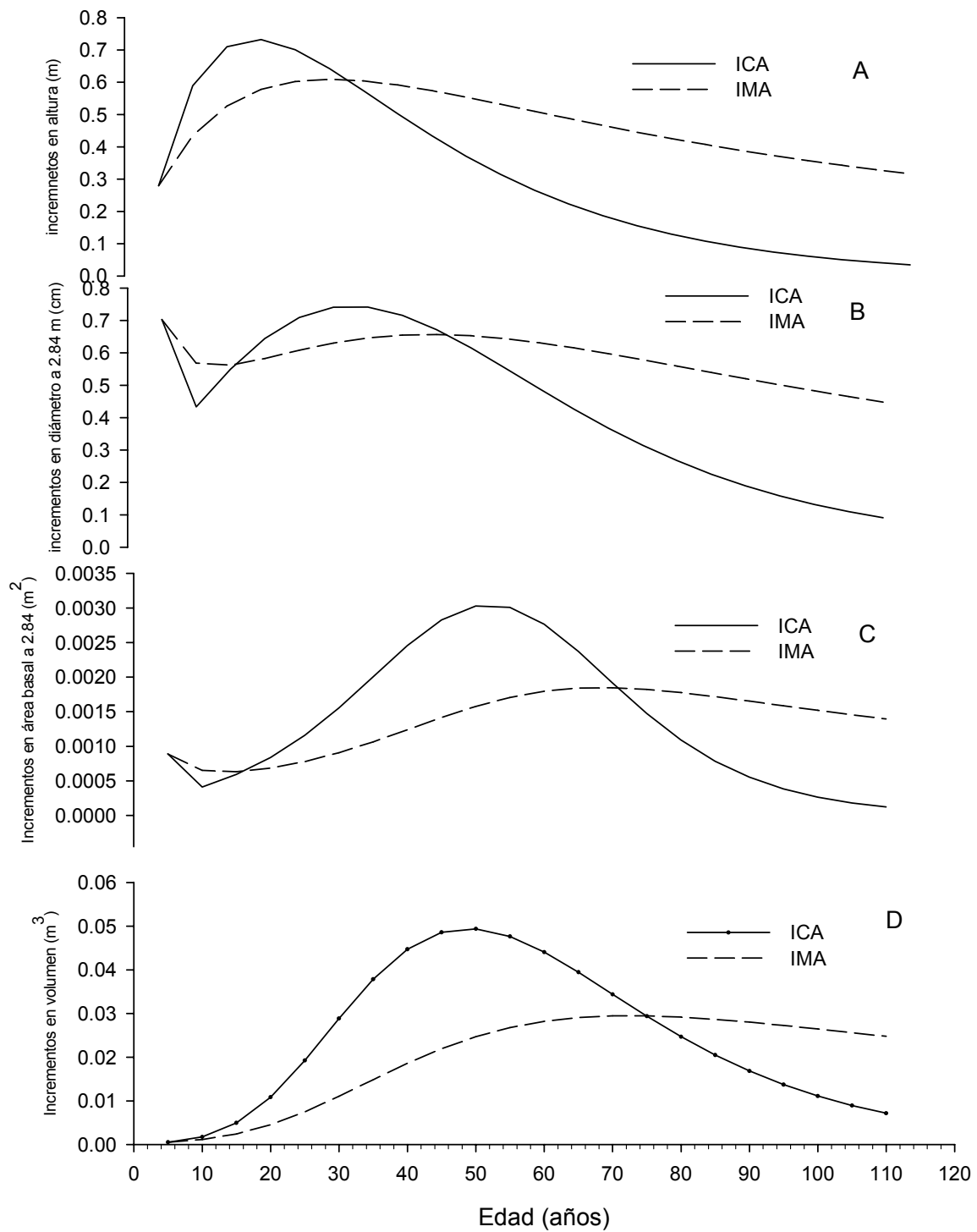


Figura 11. Curvas de incremento corriente anual y medio anual para la altura (A), diámetro (B), área basal (C) y volumen (D) para *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

área basal a la edad de 72 años con un valor de 0.0018 m^2 año, posteriormente disminuye muy lentamente hasta los 110 años (Figura 11 C). Para el caso del IMA del volumen, alcanza el máximo incremento de 0.0300 m^3 año a los 76 años, después disminuye lentamente sin llegar a estabilizarse (Figura 11 D).

En estudios realizados por autores como Moreno (1996) y Franco (2001) realizados en la misma región, al generar las curvas de crecimiento e incremento se encontró que las curvas generadas por Moreno (1996) para *Pinus pseudostrobus* alcanzan un mayor crecimiento que las generadas para *Pinus motezumae* por Franco (2001) y para *Pinus herrerae* del presente estudio. Al igual que para la curva generada por Rodríguez (1980) para *Pinus montezumae* en San Juan Tetla, Pue.

CONCLUSIONES

1. Se describió y caracterizó el crecimiento e incremento en altura, diámetro y área basal a 2.84 m y volumen de *Pinus herreare* Mart. mediante la metodología de análisis troncales y regresión no lineal para la región de Cd. Hidalgo, Michoacán.
2. Con la metodología desarrollada en el presente estudio se puede detectar fácilmente los árboles que fueron suprimidos en los primeras etapas de desarrollo.
3. Usando los perfiles interiores de los árboles se puede observar a simple vista los árboles que han sido suprimidos durante el transcurso de su crecimiento.
4. Utilizando el escáner y los programas del WinDENDRO y el XLSTEM se tiene la información más rápido, para realizar los análisis troncales.
5. El modelo de Chapman-Richards se ajusta satisfactoriamente al diagrama de dispersión de la relación edad-altura y predice el crecimiento en altura de *Pinus herrerae* Mart.
6. El modelo de Gompertz se ajustó satisfactoriamente y predice el crecimiento en diámetro de *Pinus herrerae* Mart.

7. El modelo que se seleccionó para describir la relación edad-área basal fue el Logístico, ya que se ajustó satisfactoriamente.
8. El modelo de Gompertz se ajustó satisfactoriamente y predice el crecimiento en volumen.
9. Para la región de Cd. Hidalgo, Mich. el *Pinus pseudostrobus* presenta los mayores crecimientos e incrementos en altura que el *Pinus montezumae* y *Pinus herrerae*. A si mismo, en la región de Cd. Hidalgo, Mich. se presentan los mayores crecimientos en altura que en San Juan Tetla, Pue.
10. Los incrementos (ICA) en altura que ocurren a la edad de 32 años en *Pinus motezumae* en San Juan Tetla, Pue. son mayores que los del *Pinus herrerae* en la región de Cd. Hidalgo, Mich. mientras que el IMA es mayor para *Pinus herrerae*.
11. Existe un mayor crecimiento en diámetro durante los primeros 25 años para *Pinus herrerae* en la región de Cd. Hidalgo, Mich. que en San Juan Tetla, Pue., pero a partir de los 25 años el crecimiento es mayor para *Pinus montezumae* en San Juan Tetla, Pue. que para *Pinus herrerae* en Cd. Hidalgo, Mich.
12. Existen mayores incrementos en diámetro para *Pinus montezumae* en San Juan Tetla, Pue. que para *Pinus herrerae* en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar la metodología que se hizo en el presente estudio para detectar árboles suprimidos y en su caso descartarlos.
2. Se recomienda que al momento de obtener las muestras en campo se sometan a secado al aire libre, ya que esto permite evitar el ataque de hongos y permite tener un mejor pulido en las rodajas.
3. Se recomienda utilizar lijas de diferentes calibres para realizar el pulido de las rodajas, esto con la finalidad de que los anillos de crecimiento se observen muy bien a la hora de escanear las rodajas, así mismo pulir con lijas de calibres más finos (120) en la parte del centro y en la orilla de la rodaja ya que es en donde los anillos no se aprecian muy bien.
4. Utilizar la metodología de análisis troncal, el escáner así como los programas del WinDENDRO y XLSTEM para facilitar la obtención de los datos.
5. Cuando se escaneen las rodajas se defina un radio promedio, ya que es muy difícil de trabajar con la rodaja entera.
6. Se recomienda que los modelos probados en el presente estudio se utilicen en trabajos similares en otras especies y regiones, ya que son muy sencillos y prácticos.

7. Aumentar el tamaño de muestra para realizar los análisis troncales y que la muestra esté distribuida y sea representativa en toda la región.
8. Se recomienda continuar con este tipo de estudios que permitan conocer el crecimiento e incremento en área basal y volumen para arbolado adulto ya que se cuenta con muy poca información en donde se describan estas variables.

LITERATURA CITADA

Bruce, D. y F. X. Schumacher. 1965. Medición forestal. Ed. Herrero. S. A. México.
474 p.

CETENAL. 1977. Carta edafológica. E14A25. Ciudad Hidalgo. Esc: 1:50,000. México.

CONAGUA. 1999. Comisión Nacional del Agua. Gerencia Estatal de Michoacán.
Distrito de riego 045 "Tuxpan". Unidad "Hidalgo".

Daniel, T. W., J. A. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. Editorial
McGraw Hill. México, D. F. 493 p.

DETENAL. 1978. Carta geológica. E14A14. Zinapécuaro. Esc: 1: 50,000. México.

DETENAL. 1979a. Carta geológica. E14A25. Tzitzio. Esc: 1:50,000. México.

DETENAL. 1979b. Carta Edafológica. E14A24. Tzitzio. Esc: 1: 50,000. México.

DETENAL. 1979c. Carta Edafológica. E14A14. Zinapécuaro. Esc: 1: 50,000. México.

Franco A., R. C. 2001. Índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. y su asociación
con variables del clima, fisiografía, físico-químicas del suelo y vegetación en
Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis de Maestría en Ciencias. UAAAN. Saltillo,
Coahuila, México. 110 p.

- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. México. 246 p.
- García, E. 1986. Apuntes de climatología. Facultad de ciencias. UNAM. México 155 p.
- García, M. J. J., M. Javier, A. J. M. Ramírez. 1996. Desarrollo de una plantación de *Pinus herrerae* en la Región Sur Occidental de Michoacán. INIFAP, Folleto Técnico Núm. 14; 27 p.
- Hocker, W. H. 1984. Introducción a la biología forestal. A.G.T. Editor. México, D. F. 446 p.
- INEGI. 1997. Carta Topográfica. E14A14. Zinapécuaro. Esc: 1: 50,000. México.
- INEGI. 1998. Carta Topográfica. E14-1. Morelia. Esc: 1: 250,000. México.
- INEGI. 2000. Carta Topográfica. E14A24. Tzitzio. Esc: 1:50,000. México.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.
- Husch B., C. I Millar, T. W. Beers 1972. Forest mensuration. John Wiley & Sons. USA. 410 p.

- Layseca T. M., S. Monreal R. y J. Fernández M. 1997. Plantaciones forestales comerciales. Cuadernos Agrarios, Nueva época. 6 (14): 110 p.
- Martínez M. E., C. G. Ibarra, V. A. Hernández y F. Lorea-Hernández. 1987. Contribución al conocimiento de la flora y vegetación de la región de los azufres. Michoacán, Revista Trace. No. 12:22-37.
- Moreno Ch., J. 1996. Comparación de dos métodos de construcción de curvas de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en la región Hidalgo-Zinapécuaro Michoacán. Tesis profesional. UACH. Chapingo, México. 68 p.
- Morey R., P. 1977. Cómo crecen los árboles. Ediciones Omega. Barcelona, España. 64 p.
- Myers, H. R. 1990. Classical and modern regresión with applications. Second edition. PWS-KENT. USA. 488 p.
- Prodan, M., R. Peters, F. Cox y P. Real, 1997. Mensura Forestal. Proyecto IICA BMZ / GTZ, Sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible, San José, Costa Rica. 561 p.
- Quiñones C., A. 1995. Evaluación de la calidad de sitio y del efecto de la densidad en bosques del Salto Durango, México. Tesis de Maestría en Ciencias. UACH. Chapingo, México. 129 p.

- Rodríguez F., C. 1980. Estudio epidométrico de *Pinus montezumae* Lamb. mediante análisis troncal, en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Puebla. Tesis profesional. UACH. Chapingo, México 274 p.
- SAS Institute Inc. 1987. SAS/STAT™. Guide for Personal Computers, Versión 6 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. 1028 p.
- SARH-SFF. 1994. Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994. México.
- Semarnap. 1999. Anuario estadístico de la producción forestal 1997. México. 139 p.
- Semarnap-UACH. 1999. Atlas Forestal de México. Semarnap. México. 101 p.
- Sit, V. y M. Poulin-Costello. 1994. Catalogue of curves for fitting. Biometrics Information. Handbook No 4. Ministry of Forest Research Program. British Columbia, Canada. 110 p.
- Styles, B. T. 1993. Genus *Pinus* : a mexican purview. In : Biological diversity of mexico : origins and distribution. R. Bye, A. Lot, and J. Fa (Eds). Oxford University Press. pp. 397-420.
- Ucodefo-2. (Unidad de conservación y Desarrollo Forestal No 2). 1994. Organización de la Unidad Ciclo 1994-1995 Cd. Hidalgo, Michoacán. 21 p.

Vidal, J., J. y I. Constantino 1959. Iniciación a la ciencia forestal. Salvat Editores, S.A. España. 547 p.

Walpole R. y R. H. Myers 1996. Probabilidad y estadística . McGraw-Hill. México. 797 p.

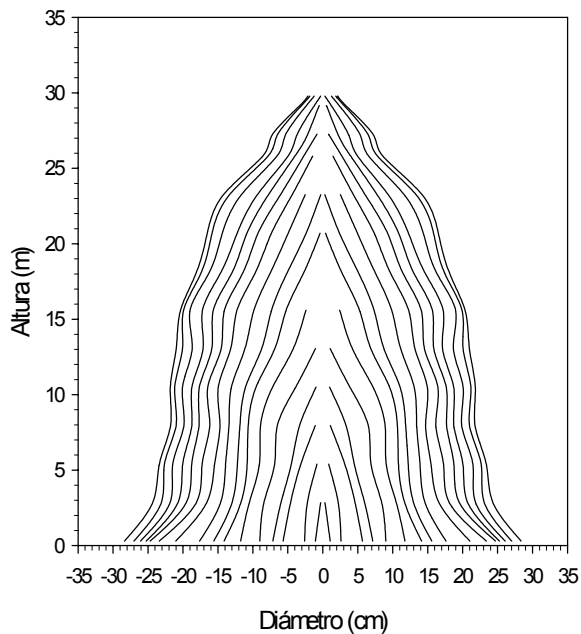
Zamudio S., F. J. y L. D. Ayerde. 1997. Modelos de crecimiento. Revista Chapingo. (Serie Ciencias Forestales). 3 (1): 79-87.

APÉNDICES

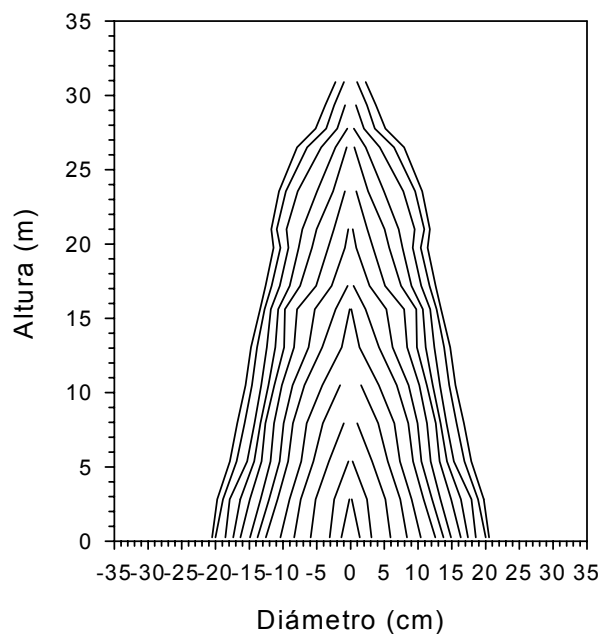
Apéndice 1. Perfiles interiores de los árboles muestra que fueron suprimidos y no suprimidos en las primeras etapas de desarrollo.

Árboles no suprimidos

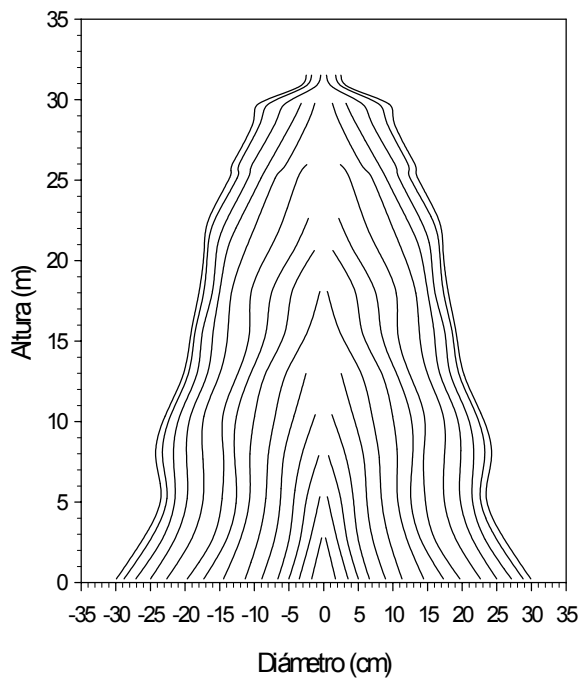
San Antonio Villalongin



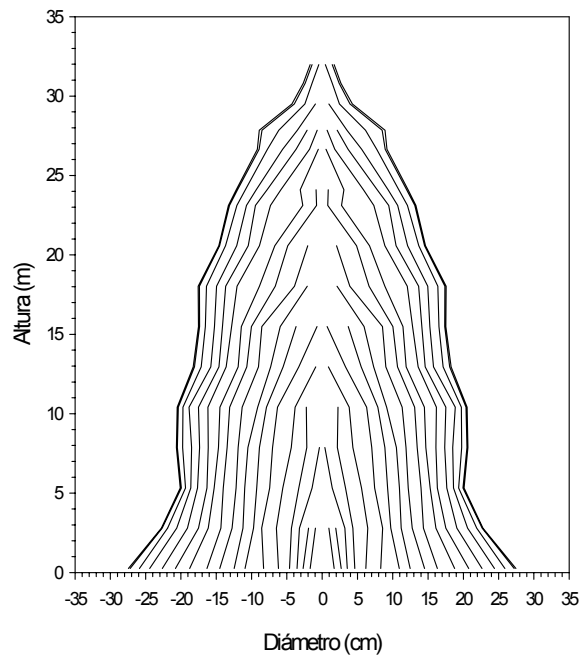
Huajumbaro

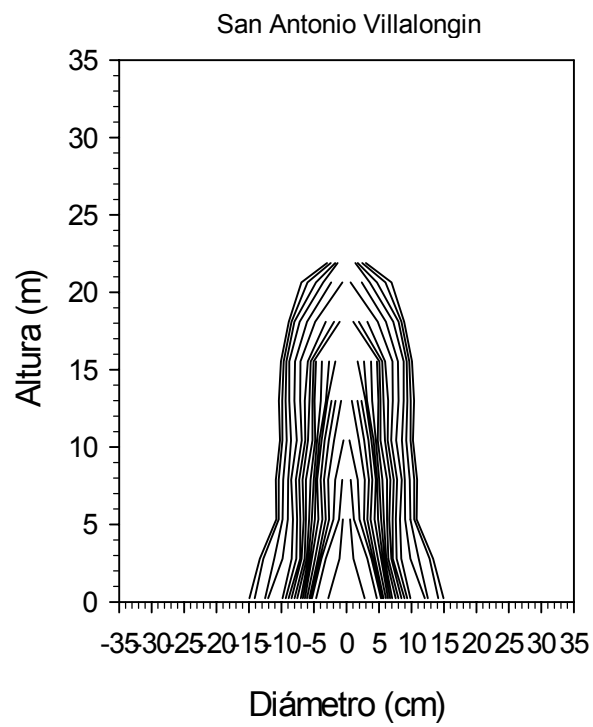
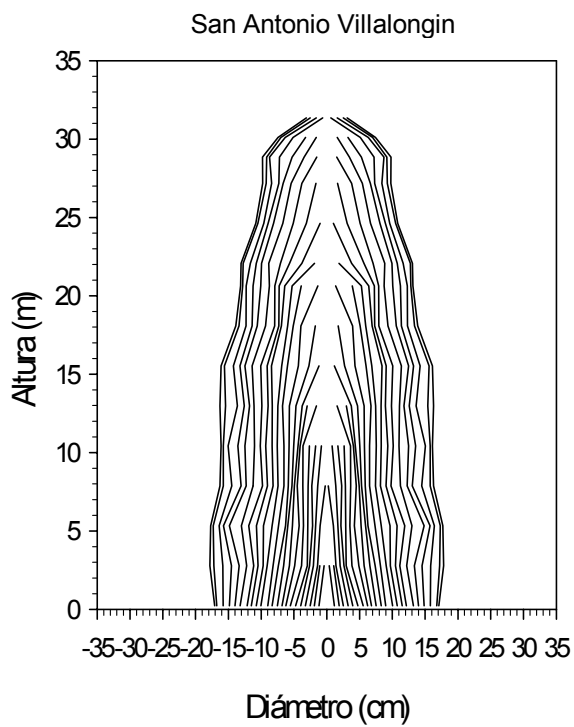
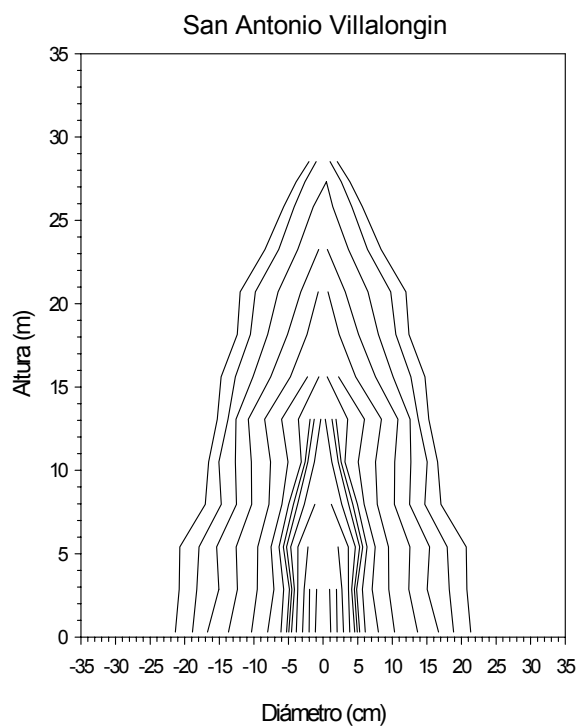
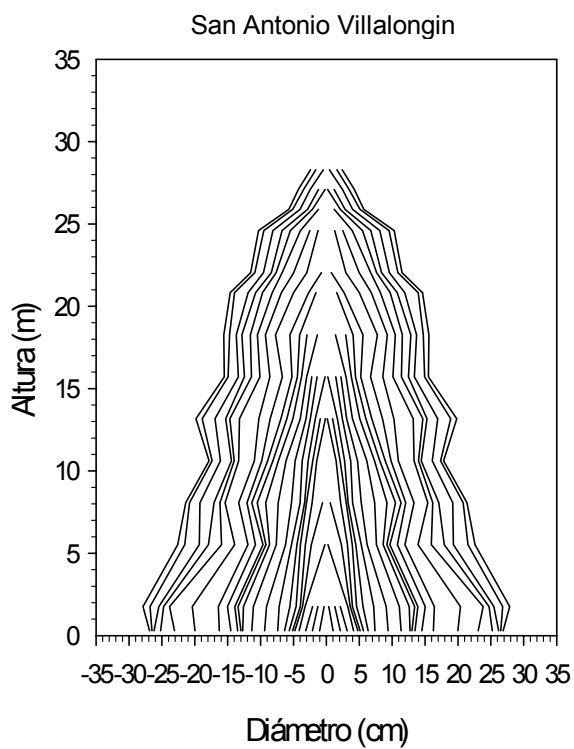


La Venta de San Andrés



El Molcajete





Apéndice 2. Cálculo de la media y el error estándar del incremento corriente anual (ICA) en diámetro para las categorías de edad de 5, 10, 15, 20, 25 años, a 0.30 m de altura.

							Con Media y Error Estándar por localidad							
Loc		ICA5	ICA10	ICA15	ICA20	ICA25	Loc	Arb	ICA 5	ICA 10	ICA 15	ICA 20	ICA 25	Puntos
1	Media	0.6263	0.7769	0.7909	0.7041	0.6784	1	1	X	A	E	A	A	4
	Error Estándar	0.1203	0.1093	0.1524	0.0953	0.0889	1	2	E	E	A	A	A	5
							1	3	E	?	?	?	X	4
	Mas	0.7466	0.8862	0.9433	0.7994	0.7674	1	4	?	?	X	X	?	3
							1	5	A	A	A	A	A	5
	Menos	0.5059	0.6676	0.6384	0.6088	0.5895	1	6	A	?	X	?	E	4
							2	1	A	X	?	E	?	3
2	Media	0.7908	0.7663	0.5936	0.5031	0.4295	2	2	E	A	A	A	A	5
	Error Estándar	0.3102	0.2798	0.1685	0.1028	0.0606	2	3	A	E	E	?	?	5
							3	1	A	A	E	A	A	5
	Mas	1.1010	1.0462	0.7621	0.6059	0.4900	3	2	A	A	A	A	E	5
							3	3	E	E	E	E	E	5
	Menos	0.4805	0.4865	0.4250	0.4003	0.3689	3	4	X	X	X	X	X	0
							4	1	A	A	A	A	A	5
3	Media	0.2766	0.4905	0.5730	0.5439	0.4988	4	2	?	X	X	X	X	1
	Error Estándar	0.0646	0.1759	0.2016	0.1769	0.1652	4	3	E	X	E	E	A	4
							4	4	A	A	E	A	E	5
	Mas	0.3412	0.6664	0.7746	0.7208	0.6640	4	5	?	E	E	E	A	5
							4	6	X	?	E	X	E	3
	Menos	0.2120	0.3146	0.3714	0.3670	0.3337	5	1	E	E	E	E	E	5
							5	2	E	E	E	E	E	5
4	Media	0.8093	1.0206	1.0577	1.0364	1.0627	6	1	?	E	A	A	A	5
	Error Estándar	0.1250	0.2190	0.1735	0.2111	0.0986	6	2	?	X	A	E	A	4
							6	3	X	X	X	X	X	0
	Mas	0.9343	1.2396	1.2311	1.2475	1.1613	6	4	X	X	E	A	E	3
							6	5	A	A	A	E	A	5
	Menos	0.6843	0.8016	0.8842	0.8253	0.9642	6	6	A	A	E	A	A	5
							6	7	A	A	E	X	?	4
5	Media	0.4165	0.8425	0.6939	0.4422	0.3022	6	8	A	A	X	X	X	2
	Error Estándar	0.1033	0.2210	0.1452	0.0023	0.0194	6	9	?	A	A	E	A	5
							6	10	A	A	A	A	E	5
	Mas	0.5198	1.0635	0.8391	0.4445	0.3216	6	11	A	A	A	A	A	5
							6	12	E	E	?	X	X	3
	Menos	0.3132	0.6215	0.5487	0.4398	0.2828	6	13	E	X	E	E	E	4
							6	14	E	A	?	A	A	5
6	Media	0.5714	0.8756	0.7004	0.5742	0.6165	6	15	A	A	A	E	?	5
	Error Estándar	0.0460	0.0937	0.0668	0.0549	0.0724	6	16	X	E	A	A	A	4
							6	17	X	X	X	E	?	2
	Mas	0.6173	0.9693	0.7672	0.6292	0.6889	6	18	X	X	X	X	X	0
							6	19	?	X	X	X	X	1
	Menos	0.5254	0.7819	0.6336	0.5193	0.5440	6	20	A	?	X	X	X	2

Donde:

Loc = localidad; Arb = árbol; X = por abajo del rango; A = por arriba del rango; E = entre el rango; ? = un poco por abajo del rango.

Apéndice 3. Cálculo de la media y el error estándar del incremento medio anual (IMA) en diámetro para las categorías de edad de 5, 10, 15, 20, 25 años, a 0.30 m de altura.

							Con Media y Error Estándar por localidad							
Loc		IMA5	IMA10	IMA15	IMA20	IMA25	Loc	Arb	IMA 5	IMA 10	IMA 15	IMA 20	IMA 25	Puntos
1	Media	0.6263	0.7016	0.7313	0.7245	0.7153	1	1	X	?	E	E	E	4
	Error Estándar	0.1203	0.0963	0.1036	0.0971	0.0918	1	2	E	E	E	A	A	5
							1	3	E	?	?	?	X	4
	Mas	0.7466	0.7979	0.8350	0.8216	0.8071	1	4	?	X	X	X	X	1
							1	5	A	A	A	A	A	5
	Menos	0.5059	0.6053	0.6277	0.6274	0.6235	1	6	A	E	E	E	E	5
							2	1	X	X	X	X	X	0
2	Media	0.7908	0.7663	0.5936	0.5031	0.4295	2	2	E	E	A	A	A	5
	Error Estándar	0.3102	0.2798	0.1685	0.1028	0.0606	2	3	A	A	E	E	E	5
							3	1	A	A	A	A	A	5
	Mas	1.1010	1.0462	0.7621	0.6059	0.4900	3	2	A	A	A	A	A	5
							3	3	E	E	E	E	E	5
	Menos	0.4805	0.4865	0.4250	0.4003	0.3689	3	4	X	X	X	X	X	0
							4	1	A	A	A	A	A	5
3	Media	0.2766	0.4905	0.5730	0.5439	0.4988	4	2	?	X	X	X	X	1
	Error Estándar	0.0646	0.1759	0.2016	0.1769	0.1652	4	3	E	?	?	E	E	5
							4	4	A	A	A	A	A	5
	Mas	0.3412	0.6664	0.7746	0.7208	0.6640	4	5	?	E	E	E	E	5
							4	6	X	?	?	X	?	3
	Menos	0.2120	0.3146	0.3714	0.3670	0.3337	5	1	E	E	E	E	E	5
							5	2	E	E	E	E	E	5
4	Media	0.8093	1.0206	1.0577	1.0364	1.0627	6	1	X	?	E	A	A	4
	Error Estándar	0.1250	0.2190	0.1735	0.2111	0.0986	6	2	X	X	E	E	A	3
							6	3	X	X	X	X	X	0
	Mas	0.9343	1.2396	1.2311	1.2475	1.1613	6	4	X	X	X	?	?	2
							6	5	A	A	A	A	A	5
	Menos	0.6843	0.8016	0.8842	0.8253	0.9642	6	6	A	A	A	A	A	5
							6	7	A	A	A	A	A	5
5	Media	0.4165	0.8425	0.6939	0.4422	0.3022	6	8	A	A	E	E	?	5
	Error Estándar	0.1033	0.2210	0.1452	0.0023	0.0194	6	9	?	A	A	A	A	5
							6	10	A	A	A	A	A	5
	Mas	0.5198	1.0635	0.8391	0.4445	0.3216	6	11	A	A	A	A	A	5
							6	12	E	E	E	?	X	4
	Menos	0.3132	0.6215	0.5487	0.4398	0.2828	6	13	E	E	E	?	X	4
							6	14	E	?	?	?	?	5
6	Media	0.5714	0.8756	0.7004	0.5742	0.6165	6	15	A	A	A	A	A	5
	Error Estándar	0.0460	0.0937	0.0668	0.0549	0.0724	6	16	X	X	?	E	E	3
							6	17	X	X	X	X	X	0
	Mas	0.6173	0.9693	0.7672	0.6292	0.6889	6	18	?	X	X	X	X	1
							6	19	?	X	X	X	X	1
	Menos	0.5254	0.7819	0.6336	0.5193	0.5440	6	20	A	A	E	?	X	4

Donde:

Loc = localidad; Arb = árbol; X = por abajo del rango; A = por arriba del rango; E = entre el rango; ? = un poco por abajo del rango

Apéndice 4. Programas SAS para la selección de los modelos y describir los crecimientos en altura, diámetro a 2.84 m, área basal a 2.84 m y volumen.

```
options ps=60 ls=80 pageno=1;
proc format;
data uarector;
infile 'C:\Mis documentos\OSCAR MARES Y JOSE CAIN\Programas SAS\edadaltura2.dat';
input local arbol alt edad;

if alt=15.71 and edad=50 then delete;
if alt=13.15 and edad=43 then delete;
if alt=15.61 and edad=48 then delete;
if alt=13.05 and edad=42 then delete;
if alt=10.59 and edad=37 then delete;
if alt=18.17 and edad=54 then delete;
if alt=18.27 and edad=54 then delete;
if alt=8.03 and edad=32 then delete;
if alt=20.73 and edad=62 then delete;
if alt=18.20 and edad=50 then delete;
if alt=43.10 and edad=121 then delete;
if alt=5.29 and edad=26 then delete;
if alt=7.93 and edad=30 then delete;
if alt=10.49 and edad=34 then delete;
if alt=5.47 and edad=25 then delete;
if alt=24.55 and edad=85 then delete;
if alt=22.14 and edad=66 then delete;
if alt=15.65 and edad=43 then delete;
if alt=7.83 and edad=28 then delete;
if alt=20.83 and edad=59 then delete;
if alt=23.55 and edad=73 then delete;
if alt=2.75 and edad=20 then delete;
if alt=15.64 and edad=43 then delete;
if alt=13.03 and edad=36 then delete;
if alt=13.08 and edad=36 then delete;
if alt=15.58 and edad=41 then delete;
if alt=36.85 and edad=53 then delete;
if alt=20.76 and edad=55 then delete;
if alt=22.06 and edad=60 then delete;
if alt=22.80 and edad=63 then delete;
if alt=25.27 and edad=79 then delete;
if alt=24.26 and edad=71 then delete;
if alt=10.37 and edad=30 then delete;
if alt=24.02 and edad=68 then delete;
if alt=26.87 and edad=94 then delete;
if alt=25.13 and edad=95 then delete;
if alt=10.48 and edad=30 then delete;
if alt=23.39 and edad=64 then delete;
if alt=25.60 and edad=77 then delete;
if alt=18.13 and edad=45 then delete;
if alt=5.37 and edad=22 then delete;
if alt=26.75 and edad=87 then delete;
if alt=25.13 and edad=75 then delete;
if alt=22.77 and edad=59 then delete;
if alt=10.52 and edad=29 then delete;
if alt=7.93 and edad=25 then delete;
if alt=35.55 and edad=52 then delete;
*PROC NLIN data=uarector;
  *title3 'Chapman-Richards Model';
  *PARAMETER A=8 B=0.2 TO 2.0 BY 0.1 C=0.1 to 5 by 0.1;
  *X=EDAD;
  *Y=ALT;
  *EBX= EXP(-B*X);
  *EBX1=1-EBX;
  *EBXC=(EBX1)**C;
```

Continuación

```
*MODEL Y=A*EBXC;
*DER.A=EBXC;
*DER.B=A*X*C*EBX*EBX1**(C-1);
*DER.C=A*EBXC*LOG(EBX1);
*OUTPUT OUT=DATA1 P=PALT STDP=ESALT I95=I95 u95=u95 I95m=I95m u95m=u95m
      R=RALT student=rstu;
*proc univariate normal plot DATA=DATA1;
*var RALT;
*run;
*PROC PLOT DATA=DATA1;
*PLOT RALT*palt='*' / VREF=-2.5 0 +2.5 HPOS=60 VPOS=40;
*PLOT rstu*palt='*' / VREF=-2.5 0 +2.5 HPOS=60 VPOS=40;
*PROC PLOT DATA=DATA1;
*PLOT ALT*EDAD='O' PALT*EDAD='P' I95*EDAD='I' u95*EDAD='u'
      I95m*EDAD='m' u95m*EDAD='m' / HPOS=60 VPOS=40 OVERLAY;
*run;
*PROC SORT DATA=DATA1;
*BY rstu ;
*PROC PRINT DATA=DATA1;
*VAR rstu ALT EDAD PALT ESALT RALT;
*RUN;

options ps=60 ls=80 pageno=1;
proc format;
data uarector;
infile'C:\Mis documentos\OSCAR MARES Y JOSE CAIN\Análisis Troncal\Diametro\Diametroedad1.dat';
input local arbol dia edad;
if dia=59.401 and edad=75 then delete;
if dia=61.672 and edad=78 then delete;
if dia=25.251 and edad=70 then delete;
if dia=23.668 and edad=65 then delete;
if dia=63.096 and edad=104 then delete;
if dia=31.353 and edad=25 then delete;
if dia=27.054 and edad=75 then delete;
if dia=34.325 and edad=30 then delete;
if dia=28.669 and edad=80 then delete;
if dia=29.988 and edad=85 then delete;
if dia=22.522 and edad=60 then delete;
if dia=17.564 and edad=50 then delete;
if dia=14.654 and edad=45 then delete;
if dia=20.556 and edad=55 then delete;
if dia=26.299 and edad=20 then delete;
if dia=32.159 and edad=90 then delete;
if dia=18.550 and edad=50 then delete;
if dia=29.312 and edad=25 then delete;
if dia=33.638 and edad=95 then delete;
if dia=32.762 and edad=30 then delete;
if dia=36.840 and edad=35 then delete;
if dia=21.805 and edad=55 then delete;
if dia=12.958 and edad=40 then delete;
if dia=55.275 and edad=70 then delete;
if dia=16.766 and edad=45 then delete;
if dia=54.504 and edad=70 then delete;
if dia=35.828 and edad=100 then delete;
if dia=52.308 and edad=65 then delete;
PROC NLIN data=uarector;
title3 'GOMPERTZ FUNCTION';
PARAMETER A=6.0 TO 10.0 BY 1.0 B=0.5 TO 7.0 BY 0.5 C=0.5 TO 2.0 BY 0.5;
X=EDAD;
Y=DIA;
BDX=EXP(B-C*X);
BCBDX=EXP(-BDX);
BBB=BDX*BCBDX*A;
```

Continuación

```
MODEL Y=BCBDX*A;
DER.A=BCBDX;
DER.B=-BBB;
DER.C=X*BBB;
OUTPUT OUT=DATA2 P=PDIA STDP=ESDIA I95=I95 u95=u95 I95m=I95m u95m=u95m
      R=RDIA student=rstu;
proc univariate normal plot DATA=DATA2;
var RDIA;
run;
PROC PLOT DATA=DATA2;
PLOT RDIA*pdia='*' / VREF=-2.5 0 +2.5 HPOS=60 VPOS=40;
PLOT rstu*pdia='*' / VREF=-2.5 0 +2.5 HPOS=60 VPOS=40;
PROC PLOT DATA=DATA2;
PLOT DIA*EDAD='O' PDIA*EDAD='P' I95*EDAD='I' u95*EDAD='u'
      I95m*EDAD='m' u95m*EDAD='m' / HPOS=60 VPOS=40 OVERLAY;
run;
PROC SORT DATA=DATA2;
BY rstu ;
PROC PRINT DATA=DATA2;
VAR rstu DIA EDAD PDIA ESDIA RDIA;
RUN;

options ps=60 ls=80 pageno=1;
proc format;
data uarector;
infile'C:\Mis documentos\OSCAR MARES Y JOSE CAIN\Análisis Troncal\Area Basal\Areabasaedad1.dat';
input local arbol area edad;
if area=0.06455 and edad=80 then delete;
if area=0.07063 and edad=85 then delete;
if area=0.05748 and edad=75 then delete;
if area=0.05008 and edad=70 then delete;
if area=0.24827 and edad=82 then delete;
if area=0.23511 and edad=72 then delete;
if area=0.23332 and edad=70 then delete;
if area=0.23996 and edad=70 then delete;
if area=0.28001 and edad=100 then delete;
if area=0.27712 and edad=75 then delete;
if area=0.31267 and edad=104 then delete;
if area=0.29873 and edad=78 then delete;
if area=0.04400 and edad=65 then delete;
if area=0.08123 and edad=90 then delete;
if area=0.03984 and edad=60 then delete;
if area=0.08887 and edad=95 then delete;
if area=0.23557 and edad=95 then delete;
if area=0.22294 and edad=75 then delete;
if area=0.22312 and edad=70 then delete;
if area=0.23779 and edad=80 then delete;
if area=0.21489 and edad=65 then delete;
if area=0.03319 and edad=55 then delete;
if area=0.21183 and edad=73 then delete;
if area=0.19789 and edad=65 then delete;
if area=0.21322 and edad=70 then delete;
if area=0.03734 and edad=55 then delete;
if area=0.05239 and edad=60 then delete;
if area=0.10659 and edad=35 then delete;
if area=0.19646 and edad=65 then delete;
if area=0.02423 and edad=50 then delete;
if area=0.11595 and edad=40 then delete;
if area=0.09253 and edad=30 then delete;
if area=0.18959 and edad=65 then delete;
if area=0.16400 and edad=55 then delete;
if area=0.06838 and edad=65 then delete;
if area=0.02703 and edad=50 then delete;
```

Continuación

```

if area=0.20829 and edad=80 then delete;
if area=0.13055 and edad=45 then delete;
if area=0.10082 and edad=100 then delete;
if area=0.08678 and edad=75 then delete;
if area=0.17242 and edad=60 then delete;
if area=0.20053 and edad=75 then delete;
if area=0.19392 and edad=70 then delete;
if area=0.17330 and edad=60 then delete;
if area=0.14419 and edad=50 then delete;
if area=0.20498 and edad=78 then delete;
if area=0.16968 and edad=60 then delete;
if area=0.17019 and edad=60 then delete;
if area=0.14103 and edad=50 then delete;
if area=0.17119 and edad=60 then delete;
if area=0.07720 and edad=25 then delete;
if area=0.12341 and edad=45 then delete;
if area=0.18029 and edad=65 then delete;
if area=0.15435 and edad=55 then delete;
if area=0.13930 and edad=50 then delete;
if area=0.19578 and edad=76 then delete;
if area=0.18750 and edad=70 then delete;
if area=0.08430 and edad=30 then delete;
if area=0.09517 and edad=35 then delete;
if area=0.15266 and edad=55 then delete;
if area=0.11734 and edad=45 then delete;
if area=0.20442 and edad=90 then delete;
if area=0.19389 and edad=75 then delete;
if area=0.10247 and edad=40 then delete;
if area=0.18950 and edad=75 then delete;
if area=0.10211 and edad=40 then delete;
PROC NLIN data=uarector method=marquardt;
title3 'LOGISTIC FUNCTION';
PARAMETER A=3.0 TO 7 BY 1.0 B=0.5 TO 10 BY 0.5 C=0.5 TO 5 BY 0.05;
X=EDAD;
Y=AREA;
E= EXP(B-C*X);
MODEL Y=A/(1+E);
DER.A=1/(1+E);
DER.B=-A*E/(1+E)**2;
DER.C=A*E*X/(1+E)**2;
OUTPUT OUT=DATA3 P=PAREA STDP=ESAREA I95=I95 u95=u95 I95m=I95m u95m=u95m
R=RAREA student=rstu;
proc univariate normal plot DATA=DATA3;
var RAREA;
run;
PROC PLOT DATA=DATA3;
PLOT RAREA*parea='*' / VREF=-0.05 0 +0.05 HPOS=60 VPOS=40;
PLOT rstu*parea='*' / VREF=-2.5 0 +2.5 HPOS=60 VPOS=40;
PROC PLOT DATA=DATA3;
PLOT AREA*EDAD='O' PAREA*EDAD='P' I95*EDAD='I' u95*EDAD='u'
I95m*EDAD='m' u95m*EDAD='m' / HPOS=60 VPOS=40 OVERLAY;
run;
PROC SORT DATA=DATA3;
BY rstu ;
PROC PRINT DATA=DATA3;
VAR rstu AREA EDAD PAREA ESAREA RAREA;
RUN;

options ps=60 ls=80 pageno=1;
proc format;
data uarector;
infile'C:\Mis documentos\OSCAR MARES Y JOSE CAIN\Análisis Troncal\Volumen\Volumenedad1.dat';
input local arbol vol edad;

```

continuación

```
if vol=0.92924 and edad=75 then delete;
if vol=1.08201 and edad=80 then delete;
if vol=0.77627 and edad=70 then delete;
if vol=1.21767 and edad=85 then delete;
if vol=4.39844 and edad=95 then delete;
if vol=4.21729 and edad=78 then delete;
if vol=4.15167 and edad=75 then delete;
if vol=3.80829 and edad=65 then delete;
if vol=4.27864 and edad=70 then delete;
if vol=4.56062 and edad=78 then delete;
if vol=4.87814 and edad=100 then delete;
if vol=5.28982 and edad=104 then delete;
if vol=0.64627 and edad=65 then delete;
if vol=1.39471 and edad=90 then delete;
if vol=0.53721 and edad=60 then delete;
if vol=1.57257 and edad=95 then delete;
if vol=3.87168 and edad=80 then delete;
if vol=2.92682 and edad=55 then delete;
if vol=3.77586 and edad=73 then delete;
if vol=3.29238 and edad=60 then delete;
if vol=3.95272 and edad=75 then delete;
if vol=0.84271 and edad=65 then delete;
if vol=0.61593 and edad=60 then delete;
if vol=1.10192 and edad=70 then delete;
if vol=3.46784 and edad=70 then delete;
if vol=2.45930 and edad=50 then delete;
if vol=3.52980 and edad=70 then delete;
if vol=3.60467 and edad=72 then delete;
if vol=3.99618 and edad=90 then delete;
if vol=1.73256 and edad=100 then delete;
if vol=0.42106 and edad=55 then delete;
if vol=3.56559 and edad=75 then delete;
if vol=3.43096 and edad=70 then delete;
if vol=3.44622 and edad=70 then delete;
if vol=0.42529 and edad=55 then delete;
if vol=3.08957 and edad=65 then delete;
if vol=3.15805 and edad=65 then delete;
if vol=3.05740 and edad=65 then delete;
if vol=3.42546 and edad=75 then delete;
if vol=2.05707 and edad=45 then delete;
if vol=3.02797 and edad=65 then delete;
if vol=3.62247 and edad=85 then delete;
if vol=3.46467 and edad=78 then delete;
if vol=3.23214 and edad=70 then delete;
if vol=2.78034 and edad=60 then delete;
if vol=2.99505 and edad=65 then delete;
if vol=2.78039 and edad=60 then delete;
if vol=2.77893 and edad=60 then delete;
if vol=3.15968 and edad=72 then delete;
if vol=3.42593 and edad=82 then delete;
if vol=0.26924 and edad=50 then delete;
if vol=2.44186 and edad=55 then delete;
if vol=3.19046 and edad=75 then delete;
if vol=3.31312 and edad=80 then delete;
if vol=1.69406 and edad=40 then delete;
if vol=2.64337 and edad=60 then delete;
PROC NLIN data=uarector method=marquardt;
  title3 'GOMPERTZ FUNCTION';
  PARAMETER A=6.0 TO 10.0 BY 1.0 B=0.5 TO 7.0 BY 0.5 C=0.5 TO 2.0 BY 0.5;
  X=EDAD;
  Y=VOL;
  BDX=EXP(B-C*X);
  BCBDX=EXP(-BDX);
```

Continuación

```
BBB=BDX*BCBDX*A;
MODEL Y=BCBDX*A;
DER.A=BCBDX;
DER.B=-BBB;
DER.C=X*BBB;
OUTPUT OUT=DATA2 P=PVOL STDP=ESVOL I95=I95 u95=u95 I95m=I95m u95m=u95m
      R=RVOL student=rstu;
proc univariate normal plot DATA=DATA2;
var RVOL;
run;
PROC PLOT DATA=DATA2;
PLOT RVOL*pvol='*' / VREF=-2.5 0 +2.5 HPOS=60 VPOS=40;
PLOT rstu*pvol='*' / VREF=-2.5 0 +2.5 HPOS=60 VPOS=40;

PROC PLOT DATA=DATA2;
PLOT VOL*EDAD='O' PVOL*EDAD='P' I95*EDAD='I' u95*EDAD='u'
      I95m*EDAD='m' u95m*EDAD='m' / HPOS=60 VPOS=40 OVERLAY;
run;
PROC SORT DATA=DATA2;
BY rstu ;
PROC PRINT DATA=DATA2;
VAR rstu VOL EDAD PVOL ESVOL RVOL;
RUN;
PROC PRINT DATA=DATA7;
VAR rstu VOL EDAD PVOL ESVOL RVOL;
RUN;
```

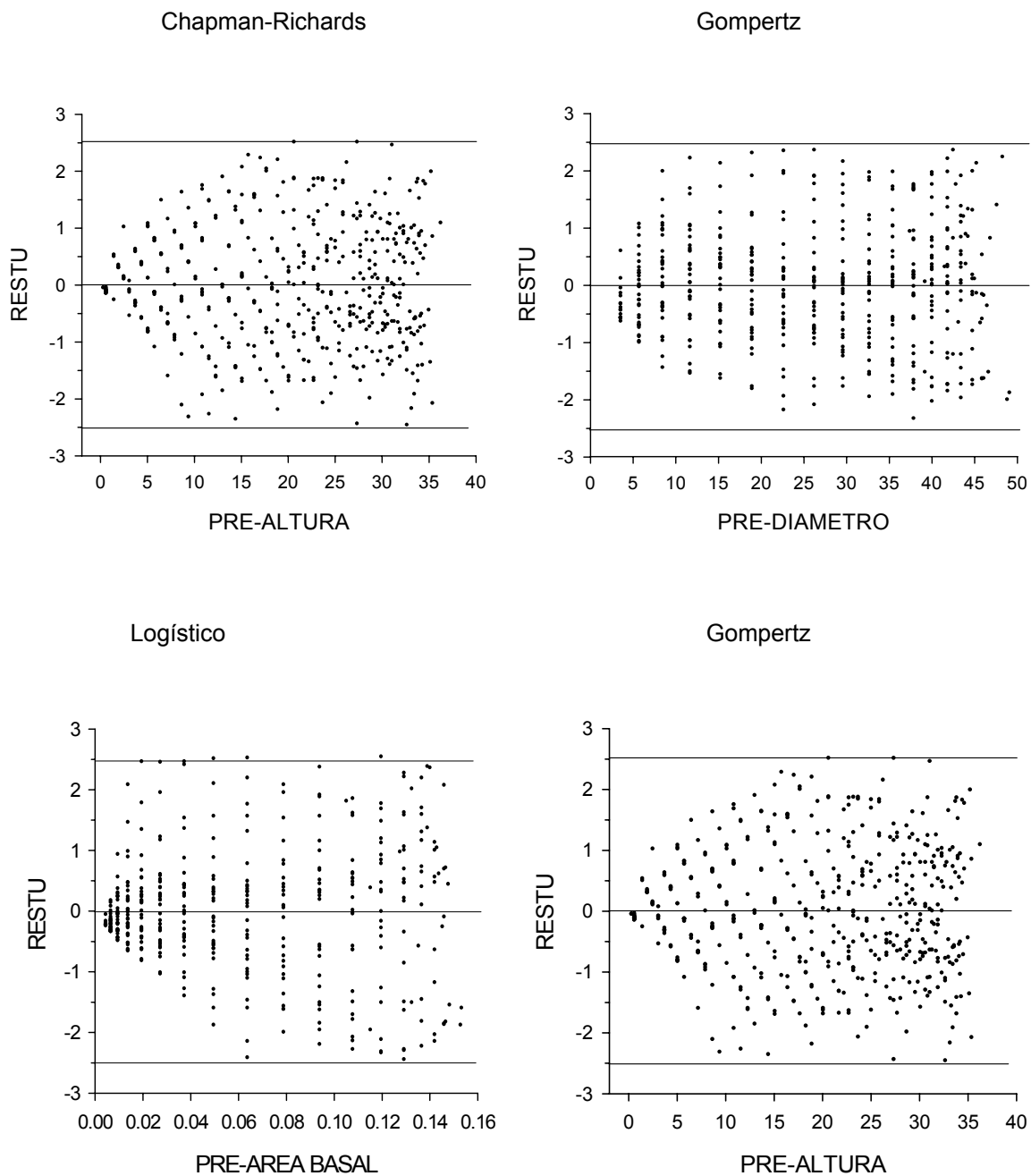
Apéndice 5. Análisis de varianza de los modelos no lineales utilizados para las variables de altura, de diámetro a 2.84m, de área basal a 2.84 y volumen.

Variable	Modelo	F.V.	G.L.	SC	CM	R ²
Altura	Chapman-Richards	Regresión	3	247385.80217	82461.93406	0.9845
		Error	520	3894.35963	7.4891	
		Total	523	251280.16180		
Diámetro A 2.54 m	Gompertz	Regresión	3	405765.85424	135255.28475	0.9697
		Error	471	12657.21572	26.8730	
		Total	474	418423.06996		
Área basal A 2.54 m	Logístico	Regresión	3	2.4602662227	0.8200887409	0.9374
		Error	433	0.1642626633	0.00037	
		Total	436	2.6245288860		
volumen	Gompertz	Regresión	3	597.66327887	199.22109296	0.9091
		Error	451	59.73429449	0.132448	
		Total	454	657.39757336		

Donde:

F.V. = fuente de variación; GL = grados de libertad; SC = Suma de cuadrados; CM = Cuadrados medios; R² = coeficiente de determinación

Apéndice 6. Análisis de los residuales estudentizados para las variables de altura, de diámetro a 2.84 m, área basal a 2.84 m y volumen.



Donde:

RESTU = residuales estudentizados
PRE = valores estimados