

DIVERSIDAD Y MANEJO DE LOS BOSQUES MEXICANOS: ASPECTOS MICROECONÓMICOS

MARTIN RICKER, ROBERT BYE,^{*} GUILLERMO IBARRA-MANRÍQUEZ,
MIGUEL MARTÍNEZ-RAMOS,^{**} CHRISTINA SIEBE,^{***} JOSÉ LUIS PALACIO
P.,^{****} REYNALDO VALENZUELA R.^{*****} Y GUILLERMO ÁNGELES^{*****}

INTRODUCCIÓN

México es un país con gran diversidad biológica (Flores y Gerez, 1994; Pennington y Sarukhán, 1998). Existen aproximadamente 22 000 espe-

Manuscrito recibido en septiembre de 1997; versión final, octubre de 1998.

^{*} Investigadores del Jardín Botánico del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), apartado postal 70-614, delegación Coyoacán, México D. F., 04510, México. Correo electrónico: mricker@servidor.unam.mx

^{**} Investigadores del Instituto de Ecología, Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, UNAM, apartado postal 27-3, Xangari, Morelia, Michoacán, 58089, México.

^{***} Investigadora del Instituto de Geología, Departamento de Edafología, UNAM, apartado postal 70-296, delegación Coyoacán, México D. F., 04510, México.

^{****} Investigador del Instituto de Geografía, Departamento de Geografía Física, UNAM, apartado postal 20-850, delegación Coyoacán, México D. F., 04510, México.

^{*****} Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (Inifap), Progreso 5, delegación Coyoacán, México D. F., 04110, México.

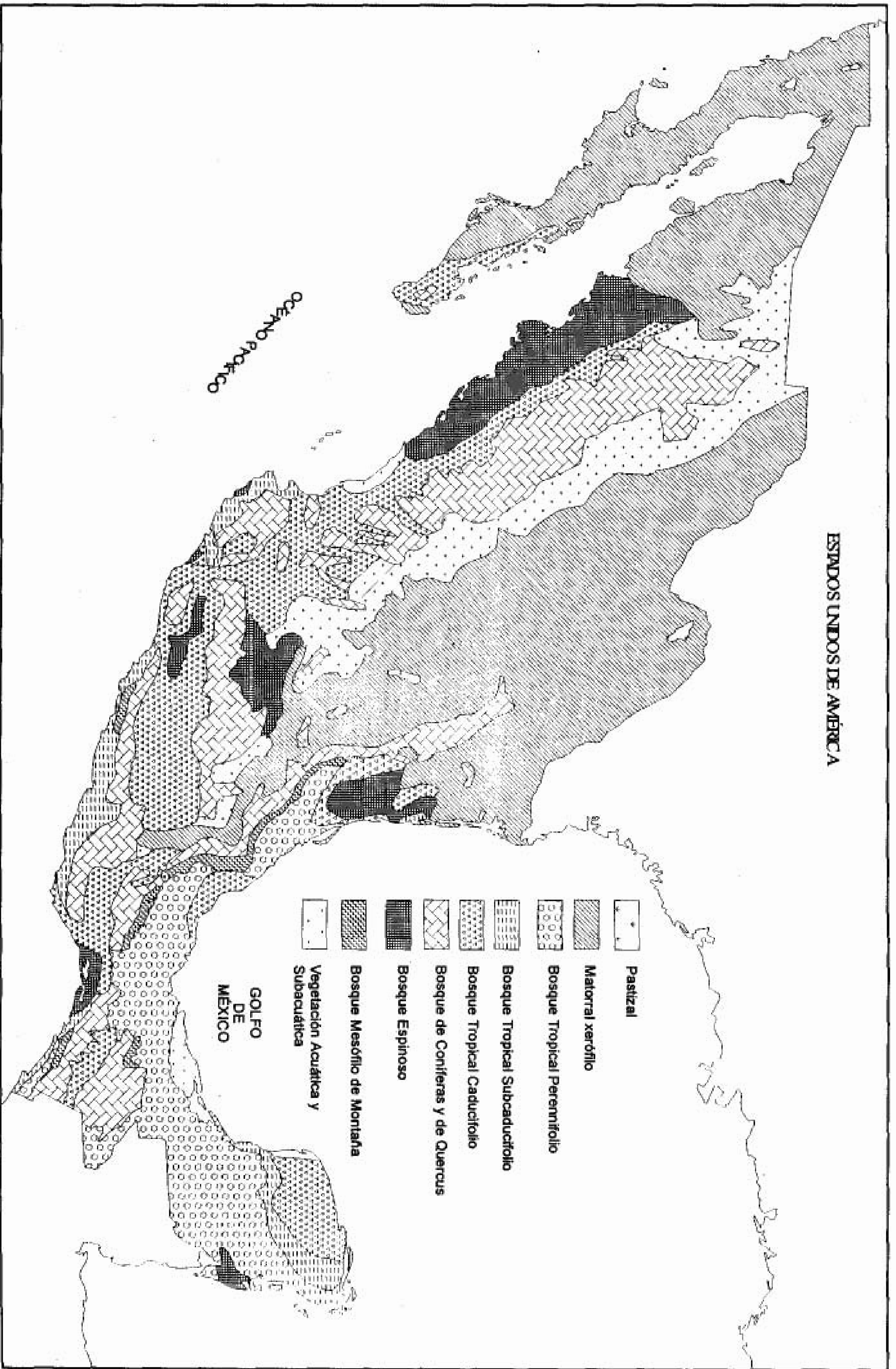
^{*****} Investigador de la Estación de Biología "Los Tuxtlas", UNAM, apartado postal 94, San Andrés Tuxtla, Veracruz, 95700, México. Agradecemos al Programa Universitario de Alimentos (PUAL-UNAM) el apoyo financiero para obtener los datos empíricos para el análisis de costo-beneficio en Los Tuxtlas en 1994-1997. En este mismo periodo, Miguel Ángel Sinaca Colín (Laguna Escondida, Los Tuxtlas) ha llevado a cabo la mayor parte del trabajo de campo correspondiente. Igualmente agradecemos el apoyo recibido en la Estación de Biología Tropical "Los Tuxtlas". Finalmente, queremos reconocer los comentarios y sugerencias de dos dictaminadores anónimos para mejorar el manuscrito. Iliana Ramírez K. ayudó en preparar las gráficas.

cies de plantas con semillas, incluidas en 220 familias. Alrededor de 52% de las especies podrían ser endémicas, es decir, restringidas a México (Rzedowski, 1993, p. 129; en español, 1991). Se calcula que al menos 5 700 especies de la flora mexicana son árboles y arbustos (Standley, 1920-1926, p. 1643). El género maderable *Pinus* ("pino") tiene aproximadamente la mitad de todas sus especies en México (Farjon & Styles, 1997, pp. 4, 50; Styles, 1993, p. 397; Perry, 1991; Eguiluz, 1982). Similarmente, el género maderable *Quercus* ("encino") tiene 135-150 especies en México, comparado con las 87 especies que han sido documentadas en el territorio conjunto de Estados Unidos y Canadá (Nixon, 1993, p. 447). De la vasta riqueza vegetal de México, al menos 5 000 especies de plantas vasculares tienen algún tipo de uso para el hombre (Bye, 1993, p. 707).

México tiene diversos tipos de vegetación. El 38.3% del terreno mexicano está cubierto por matorral xerófilo, 17.5% corresponde a bosque de coníferas y de *Quercus*, 14.0% a bosque tropical caducifolio, 9.4% a bosque tropical perennifolio, 6.8% a bosque espinoso, 3.0% a bosque tropical subcaducifolio, y 0.9% a bosque mesófilo de montaña (gráfica 1; mapa digitalizado del mapa de Rzedowski, 1986). El apéndice 1 presenta ejemplos de especies útiles de los cuatro tipos de vegetación con mayor superficie en México. Los últimos tres tipos de vegetación, bosque espinoso, bosque tropical subcaducifolio, y bosque mesófilo de montaña, presentan tipos de vegetación relacionados o incluso intermedios a los primeros cuatro.

En México existe una fuerte tradición del uso forestal, acompañada desafortunadamente en las últimas décadas por una extensa deforestación (Cairns *et al.*, 1995; World Bank, 1995; Ortega, 1992; Caballero *et al.*, 1977; Moncayo, 1975; Hernández, 1951; Meyer, 1942). Según el World Resources Institute (1994, pp. 307, 311), entre 1981 y 1990, México ha tenido una tasa anual de deforestación de 1.2%. En comparación, Estados Unidos ha tenido una tasa anual de deforestación de 0.1%. Por otro lado, entre 1989 y 1991, México importó anualmente 35 000 m³ de madera en rollo, mientras Estados Unidos exportó anualmente 27 129 000 m³, lo que lo convierte en el exportador de madera más grande del mundo. México ha tenido claramente un gran desperdicio de sus recursos forestales

Gráfica 1. Tipos de vegetación de México según Rzedowski (1986).



(véase también Cairns *et al.*, 1995). Entre todos los estados mexicanos, Durango, Chihuahua y Michoacán son los que más madera producen y comercializan (CNIF, 1994, p. 9; SARH, 1994, p. 53; Escárpita *et al.*, 1981; Quiñónez y Zerecero, 1981). Sin embargo, a pesar de la gran diversidad de especies de árboles en México, 80% de la madera en rollo proviene exclusivamente del género *Pinus* (CNIF, 1994, p. 9).

Este artículo tiene dos objetivos: 1) proporcionar un método de análisis de costo-beneficio para el manejo de especies arbóreas con el fin de tomar decisiones mejor fundamentadas; 2) demostrar que cada tipo de vegetación tiene sus propias especies forestales, lo que puede y debe resultar en una diversificación de la producción forestal.

ANÁLISIS MICROECONÓMICO DE UNA ESPECIE FRUTAL

No obstante la gran diversidad de especies forestales y de diversos usos en todo México (para ejemplos véase el apéndice 1), en este trabajo se analizan solamente dos especies con detalle para referir un método de análisis de costo-beneficio para el manejo de especies arbóreas. Existen dos tipos de manejo:

En el *manejo de enriquecimiento* se siembran y favorecen plántulas en un número de claros o sitios. Al final, un porcentaje de los sitios no se aprovecha por la muerte de las plántulas (aunque posiblemente se puede resembrar). Este manejo permite la conservación de la biodiversidad y estructura, bajo una manipulación bien definida.

En el *manejo de un rodal con adelgazamiento* se siembran más plántulas de las que tienen posibilidad de crecer para luego tener el número deseado de árboles adultos. Este sistema representa frecuentemente un monocultivo y así no se conserva el bosque natural.

En esta sección se considera el primer tipo de manejo con árboles frutales de *Pouteria sapota* (Jacq.) H. Moore & Stearn ("mamey"). En la próxima sección se analiza la especie maderable *Cedrela odorata* L. ("cedro") bajo el segundo tipo de manejo. Las dos especies comerciales se estudiaron en el bosque tropical perennifolio en la región de Los

Tuxtlas, en donde son nativas (Veracruz, México) (véase González *et al.*, 1997).

Todos los cálculos involucrados en el análisis se pueden llevar a cabo con un programa computacional de hoja de cálculo (o el primer autor puede proporcionar un programa especializado). De esta manera, el método es fácilmente aplicable para cualquier especie arbórea, considerando el ambiente específico del lugar en el que se le quiere manejar.

Para modelar el crecimiento de un árbol frutal, primero se puede modelar su diámetro y después usar una relación alométrica entre su diámetro y su cosecha anual de frutos. Este método tal vez no tiene la máxima exactitud, pero ofrece grandes ventajas para analizar especies y lugares que nunca antes se han investigado. Para modelar el crecimiento, aplicamos el modelo de Mendoza (según Mendoza y Gumpal, 1987):

$$Dia = e^{a + (b)(\text{Ln}[\text{Edad}]) + c/\text{Edad}} \quad [1]$$

donde: *Dia* = diámetro del tronco, normalmente a la altura de pecho (aquí en centímetros);

e = 2.7182818;

Ln = logaritmo natural;

a, *b*, *c* = coeficientes;

Edad1 > *c/b* o *Edad3* < *c/b* (es decir, la edad nunca es *c/b*; porque en *c/b* la curva tiene un máximo y no es realista).

La gran ventaja del modelo es que los coeficientes *a*, *b* y *c* son fáciles de derivar a partir de cualquiera de los tres diámetros en tres distintas edades *Dia1* a *Edad1*, *Dia2* a *Edad2*, y *Dia3* a *Edad3* (gráfica 2), con el siguiente sistema de ecuaciones (*det* = determinante):

$$a = \det_a / \det \quad [2a]$$

$$b = \det_b / \det \quad [2b]$$

$$c = \det_c / \det \quad [2c]$$

$$\begin{aligned}
 det &= \text{Ln}[Edad1] / Edad2 \\
 &\quad -\text{Ln}[Edad1] / Edad3 \\
 &\quad +\text{Ln}[Edad2] / Edad3 \\
 &\quad -\text{Ln}[Edad2] / Edad1 \\
 &\quad +\text{Ln}[Edad3] / Edad1 \\
 &\quad -\text{Ln}[Edad3] / Edad2
 \end{aligned}$$

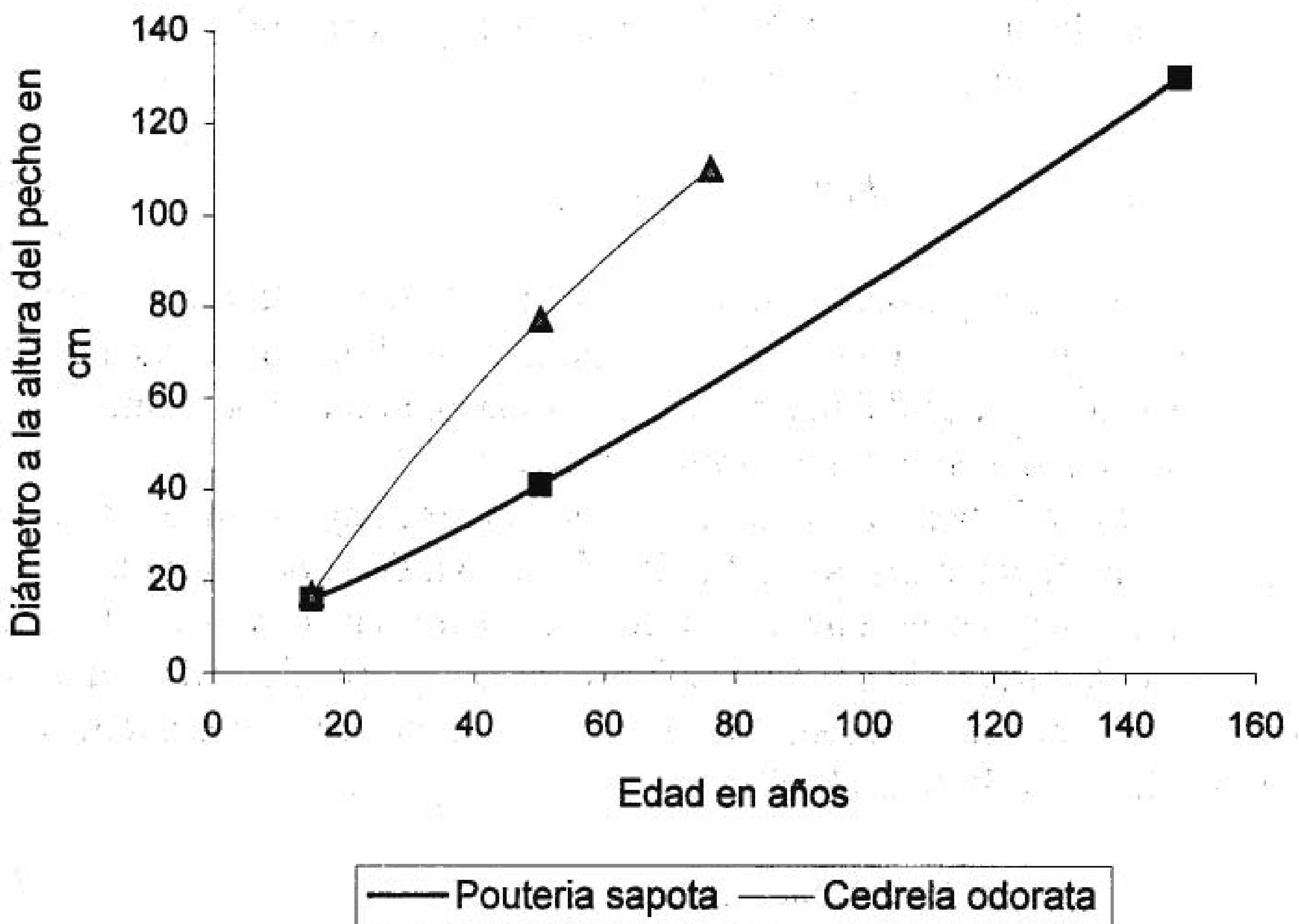
$$\begin{aligned}
 det_a &= (\text{Ln}[Edad1])(\text{Ln}[Dia3]) / Edad2 \\
 &\quad -(\text{Ln}[Edad1])(\text{Ln}[Dia2]) / Edad3 \\
 &\quad +(\text{Ln}[Edad2])(\text{Ln}[Dia1]) / Edad3 \\
 &\quad -(\text{Ln}[Edad2])(\text{Ln}[Dia3]) / Edad1 \\
 &\quad +(\text{Ln}[Edad3])(\text{Ln}[Dia2]) / Edad1 \\
 &\quad -(\text{Ln}[Edad3])(\text{Ln}[Dia1]) / Edad2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 det_b &= \text{Ln}[Dia1] / Edad2 \\
 &\quad -\text{Ln}[Dia1] / Edad3 \\
 &\quad +\text{Ln}[Dia2] / Edad3 \\
 &\quad -\text{Ln}[Dia2] / Edad1 \\
 &\quad +\text{Ln}[Dia3] / Edad1 \\
 &\quad -\text{Ln}[Dia3] / Edad2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 det_c &= (\text{Ln}[Edad1])(\text{Ln}[Dia2]) \\
 &\quad -(\text{Ln}[Edad1])(\text{Ln}[Dia3]) \\
 &\quad +(\text{Ln}[Edad2])(\text{Ln}[Dia3]) \\
 &\quad -(\text{Ln}[Edad2])(\text{Ln}[Dia1]) \\
 &\quad +(\text{Ln}[Edad3])(\text{Ln}[Dia1]) \\
 &\quad -(\text{Ln}[Edad3])(\text{Ln}[Dia2])
 \end{aligned}$$

La gráfica 2 muestra la interpolación basada en tres puntos (los datos se apoyan en el análisis de Ricker, 1998). Como se puede ver, el modelo de Mendoza sirve bien para interpolar, siempre y cuando la edad no incluya un valor equivalente a c/b , ya que c/b representa un máximo o mínimo de la función (la derivada de la ecuación 1 hacia *Edad* es cero), y, por tanto, no es realista para una función de crecimiento. El modelo generalmente no sirve para extrapolar.

Gráfica 2. *Curvas de crecimiento de dos especies en los Tuxtlas (Veracruz, México), estimadas mediante tres puntos e interpolación con el modelo de Mendoza.*



Para derivar la cosecha anual de frutos Fru a partir del diámetro del árbol, se usa la siguiente relación alométrica, en la cual se pueden derivar los coeficientes f y g a partir de una regresión lineal (gráfica 3):

$$Fru = e^{f + (g)(\ln[Dia])} \quad [3]$$

donde: Fru = cosecha anual de frutos;

f, g = coeficientes;

Dia = diámetro, aquí a la altura de pecho y en centímetros.

Para calcular los coeficientes f y g a partir de dos puntos $Fru4$ a $Dia4$ y $Fru5$ a $Dia5$, se emplean las siguientes ecuaciones:

$$f = \frac{[(\text{Ln}[Dia4])(\text{Ln}[Fru5]) - (\text{Ln}[Dia5])(\text{Ln}[Fru4])]}{\text{Ln}[Dia4 / Dia5]}$$

[4a]

$$g = \text{Ln}[Fru5 / Fru4] / \text{Ln}[Dia5 / Dia4] \quad [4b]$$

Las ecuaciones [1] a [4] permiten desarrollar la curva de crecimiento de la cosecha anual de frutos en función de la edad. Para la cosecha de frutos existe un primer diámetro ($PrDia$) y así también una primera edad ($PrEdad$), en que empieza el árbol a producir.

Después de haber considerado el crecimiento, hay que analizar la sobrevivencia de los árboles sembrados. La curva de sobrevivencia de una cohorte de árboles es una curva convexa (gráfica 4; véase Martínez-Ramos y Álvarez, 1995). Una cohorte es un grupo de individuos que nacieron al mismo tiempo. El siguiente modelo de sobrevivencia fue desarrollado por Ricker (1998):

$$Sob = 1 - (e^h)(Edad^{1+i}) / (1 + i) \quad [5]$$

donde: Sob = sobrevivencia o proporción de sobrevivientes de una cohorte;

h, i = coeficientes ($i > -1$).

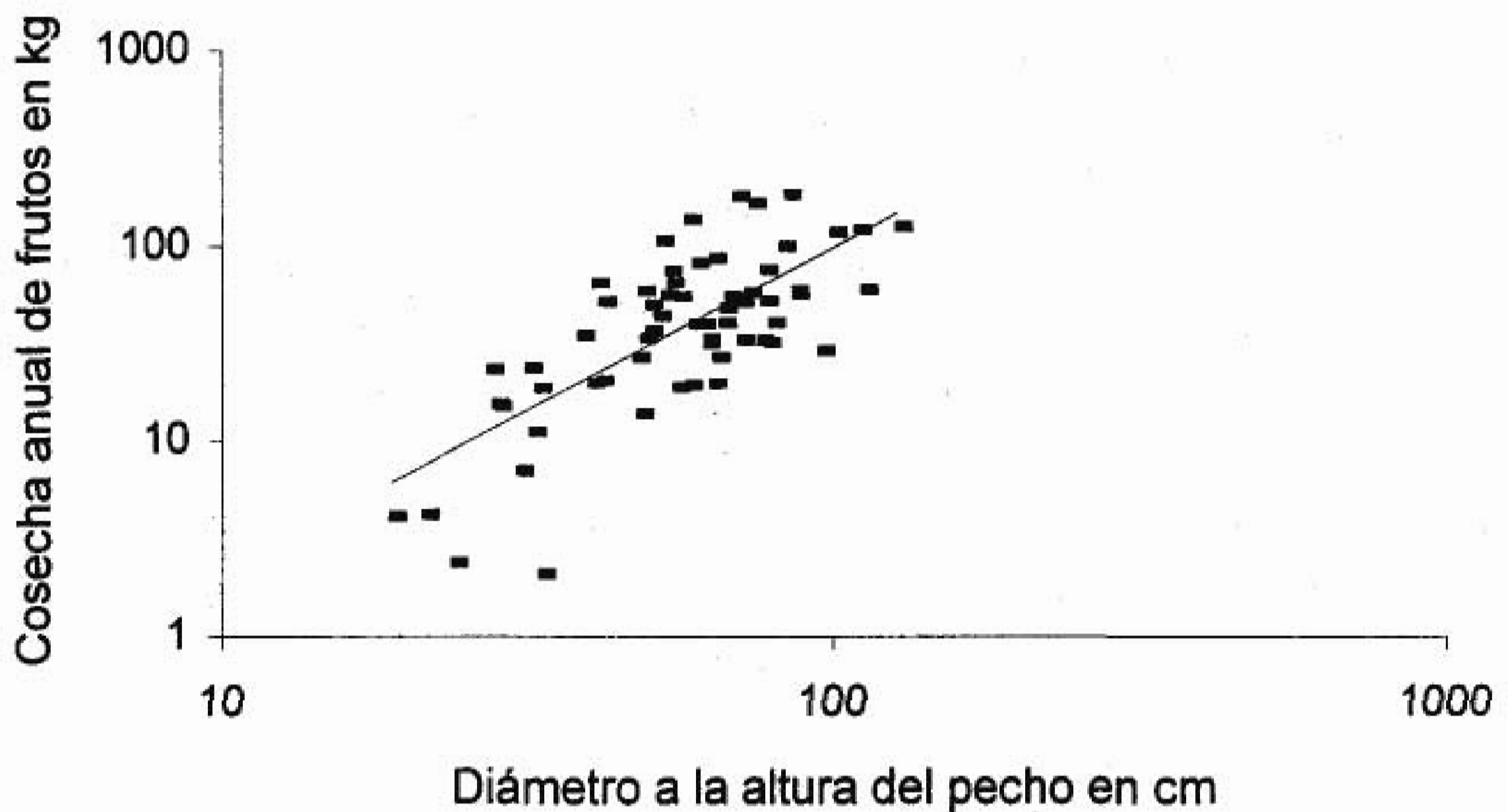
En general existe poca información de campo sobre la sobrevivencia exacta de una especie arbórea en un lugar. Sin embargo, con experimentos de siembra se llega a saber bien la sobrevivencia por lo menos de las plántulas (aquí llamada $Sob6$ a la $Edad6$). Por otro lado, si existen árboles grandes, se puede tratar de estimar qué edad máxima podrían tener, dando una estimación de qué edad máxima llega a tener una cohorte

hasta que su último árbol muere ($Sob7 = 0$ a la $Edad7$). Con esto se tienen dos puntos en la curva de sobrevivencia, con los cuales se pueden determinar los coeficientes h e i (véase la gráfica 4):

$$i = \text{Ln}[(1 - Sob7) / (1 - Sob6)] / \text{Ln}[Edad7 / Edad6] - 1 \quad [6a]$$

$$h = \text{Ln}[(1 - Sob6)(1 + i) / (Edad6^{1+i})] \quad [6b]$$

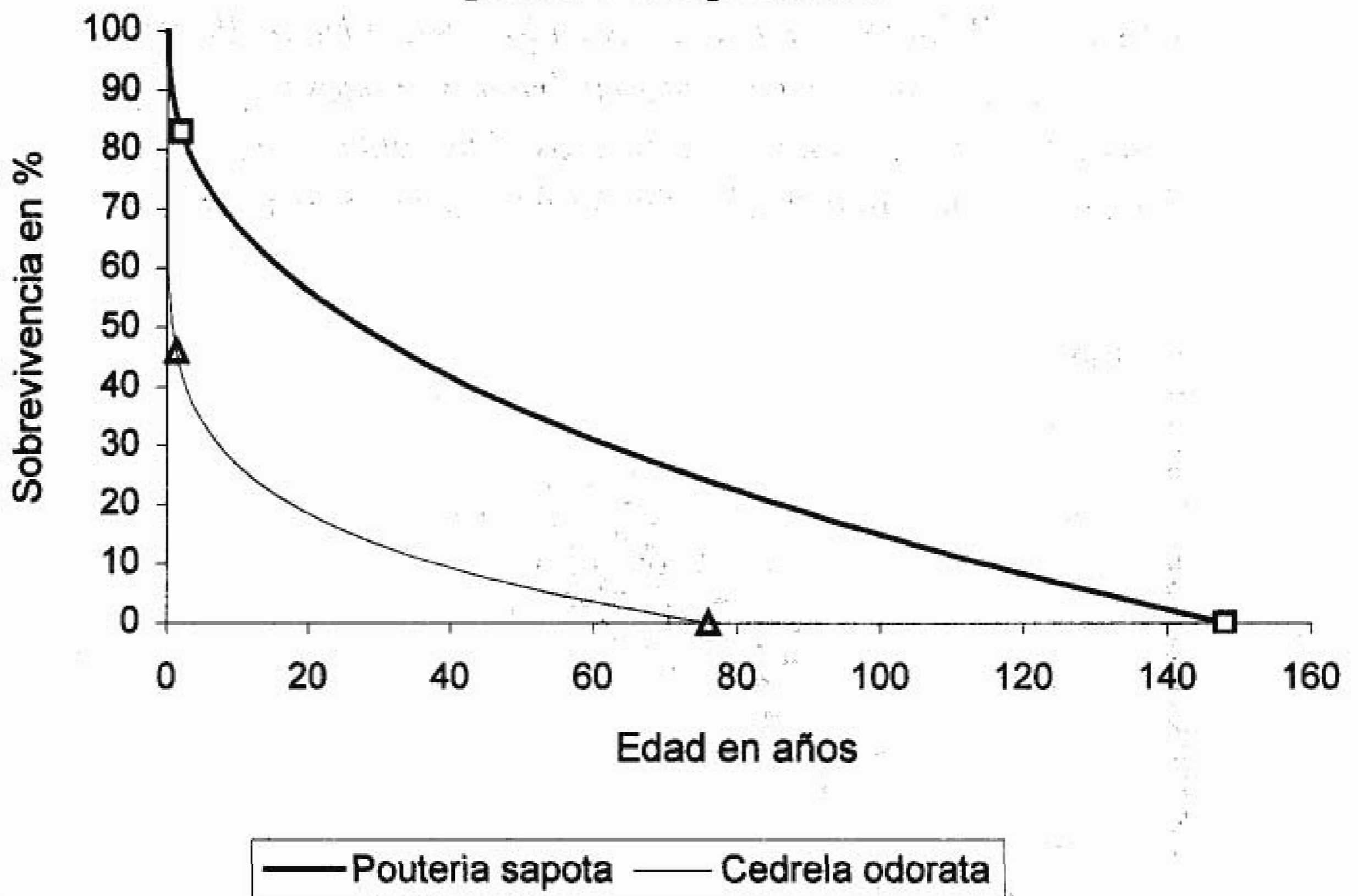
Gráfica 3. *Relación alométrica para la especie frutal Pouteria sapota. Cada punto representa un árbol, y la mayor parte un promedio de tres años de cosechas. Mediante la regresión lineal se determinan Fru4 a Dia4 y Fru5 a Dia5 (ecuación 3).*



Ahora se puede calcular el valor presente neto esperado o promedio de un árbol en el momento de la siembra (es decir, su valor comercial). El valor presente neto representa la suma de los valores comerciales de todas las cosechas a lo largo de la vida del árbol, restando todos los costos, y considerado desde la actualidad. El factor $e^{-(r)(tiempo)}$ es un factor de descuento, que baja el valor en dependencia del tiempo para tomar en

cuenta el costo de esperar. El tipo de modelaje y el concepto del valor presente neto se explica en detalle en Ricker y Daly (1998, capítulo 5.2).

Gráfica 4. *Curvas de sobrevivencia de dos especies arbóreas del bosque tropical perennifolio, estimado mediante dos puntos e interpolación.*



$$VPN = \sum_{Edad=PrEdad}^{U\Edad} [(Fru)(Sob)(P-C)(e^{-r(Edad)})] - K \quad [7]$$

donde: VPN = valor presente neto esperado o promedio de un árbol en el momento de la siembra;

Edad = edad del árbol;

PrEdad = "primera edad"; edad en que el árbol empieza a producir frutos; con la ecuación [1] se puede buscar *PrEdad* correspondiente al "primer diámetro" *PrDia*;

$U\text{Edad}$ = "última edad"; edad en que el árbol deja de producir; aquí se supone que a esta edad también se muere ($U\text{Edad} = \text{Edad}$);

$Fru = e^{f+[g][a+(b)(\text{Ln}[\text{Edad}])+c/\text{Edad}]}$ al incluir la ecuación [1] en la [3]; la producción anual de frutos en kilogramos;

$Sob = 1 - (e^h)(\text{Edad}^{1+i}) / (1+i)$; la proporción de sobrevivientes (ecuación 5);

P = precio por kilogramo de frutos;

C = costo de cosecha, transporte y comercialización por kilogramo de fruto;

$e = 2.7182818$;

r = tasa de descuento anual continua;

K = costos iniciales de la siembra y preparación del sitio, más el valor presente de todos los costos de manejo posteriores.

El cuadro 1 muestra los datos de entrada y los resultados para los frutos de *Pouteria sapota* (datos de Ricker, 1998). Para un árbol frutal sembrado de *P. sapota*, el valor presente neto es Mex\$102.79 al tiempo de la siembra, e iniciando su producción con 22 años (US\$1 ["dólar estadounidense"] = Mex\$10 ["pesos mexicanos"] en octubre de 1998). Este valor presente neto se puede considerar como valor esperado o promedio, ya que incluye la probabilidad del árbol de morir en cualquier momento (sembrando un solo árbol, el valor presente neto real puede ser Mex\$0).

Además, el cuadro 1 muestra un análisis de sensibilidad. En este último, el valor de cada variable aumenta y disminuye 10%, y se calcula el valor presente neto correspondiente, así como la primera edad de cosecha. Después se determina en porcentaje el cambio del valor presente neto original (Mex\$102.79). En el caso de la producción de frutos de *P. sapota*, las variables más sensibles son la tasa de descuento (r), la sobrevivencia inicial (Sob_0), el diámetro intermedio (Dia_2), y el precio de la fruta (P). Mientras la tasa de descuento (r) no es una variable manipulable, la sobrevivencia, el crecimiento y el precio son las variables clave en el manejo y la comercialización para obtener un alto valor comercial.

CUADRO 1. *Análisis de sensibilidad de la producción de frutos de Pouteria sapota*

Original ¹	-10% +10%	VPN (Mex\$)	<i>PrEdad</i> (años)	Cambio del VPN (%)
<i>Dia1</i> = 16 cm (15 años)	14.4 cm 17.6 cm	92.91 109.51	24 21	-9.6 -6.5
<i>Dia2</i> = 41 cm (50 años)	36.9 cm 45.1 cm	73.86 131.13	25 20	-28.1 +27.6
<i>Dia3</i> = 130 cm (148 años)	117.0 cm 143.0 cm	103.54 98.31	22 23	+0.7 -4.4
<i>Fru4</i> = 7.70 kg (20 cm)	6.93 kg 8.47 kg	94.16 111.20	22 22	-8.4 +8.2
<i>Fru5</i> = 90.90 kg (100 cm)	81.81 kg 99.99 kg	97.91 107.45	22 22	-4.8 +4.5
<i>PrDia</i> = 20.0 cm	18.00 cm 22.00 cm	115.47 90.70	19 25	+12.3 -11.8
<i>Sob6</i> = 0.83 (2 años)	0.747 0.913	78.62 137.87	22 22	-23.5 +34.1
<i>Edad7</i> = 148 años (<i>Sob7</i> = 0)	133.2 años 162.8 años	94.20 110.10	22 22	-8.4 +7.1
<i>P</i> = Mex\$ 4.52/kg	Mex\$4.068 Mex\$4.972	82.09 123.49	22 22	-20.1 +20.1
<i>C</i> = Mex\$ 1.62/kg	Mex\$1.458 Mex\$1.782	110.21 95.37	22 22	+7.2 -7.2
<i>r</i> = 0.05	0.045 0.055	138.18 75.95	22 22	+34.4 -26.1
<i>K</i> = Mex\$30.00	Mex\$27.00 Mex\$33.00	105.79 99.79	22 22	+2.9 -2.9

¹ VPN = Mex\$102.79 (*PrEdad* = 22 años), US\$1 = Mex\$10 en octubre de 1998.

ANÁLISIS MICROECONÓMICO DE UNA ESPECIE MADERABLE

En esta sección se considera la madera de *Cedrela odorata* ("cedro"). Debido a la importancia dada a la madera, la ciencia forestal ha dedicado un considerable esfuerzo a determinar con exactitud los volúmenes de los troncos de árboles maderables (véase por ejemplo Martin, 1984). Aquí se calcula el volumen de los troncos como conos truncados después de medir el diámetro D en la base, el diámetro d abajo de la copa del tronco, y la altura A entre los dos diámetros [$Vol = (1/12)(A)(\pi)(D^2 + (D)(d) + d^2)$]. La forma verdadera es parabólica en función de la especie y la edad de un árbol, pero la aproximación cónica es suficientemente exacta para árboles no-manejados, es decir, con troncos de forma irregular.

Los cálculos para árboles maderables y para árboles frutales (sección anterior) son muy parecidos. Para derivar el volumen Vol de madera del tronco a partir del diámetro del mismo, se usa la misma relación alométrica, correspondiente a la ecuación [3] (gráfica 5):

$$Vol = e^{f+(g)(Ln[Dia]} \quad [8]$$

Las ecuaciones correspondientes a las ecuaciones [4a] y [4b] son las siguientes:

$$f = \frac{[(Ln[Dia4])(Ln[Vol5]) - (Ln[Dia5])(Ln[Vol4])]}{Ln[Dia4/Dia5]} \quad [9a]$$

$$g = Ln[Vol5/Vol4] / Ln[Dia5/Dia4] \quad [9b]$$

La fórmula correspondiente a la ecuación [7] proporciona el valor presente neto esperado o promedio de un árbol maderable en el momento de la siembra:

$$VPN = (Vol)(423.78)(Sob)(CR)(P-C)(e^{-(r)(EdadCo)}) - K \quad [10]$$

donde: VPN = valor presente neto esperado o promedio de un árbol en el momento de la siembra;

$Vol = (e^{f+g[a+(b)(\ln[EdadCo])+c/EdadCo]})$ al incluir la ecuación [1] en la [8]; el volumen total en metros cúbicos al tiempo de la cosecha:

423.78 = conversión de 1 metro cúbico en 423.78 pies-tabla;

$Sob = 1 - (e^h)([EdadCo]^{1+i}) / (1+i)$; la proporción de sobrevivientes (ecuación [5]);

CR = coeficiente de recuperación, es decir, la proporción de la madera del tronco que se aprovecha y vende;

P = precio por pie-tabla de madera;

C = costo de cosecha, transporte y comercialización por pie-tabla de madera;

$e = 2.7182818$;

r = tasa de descuento anual continua;

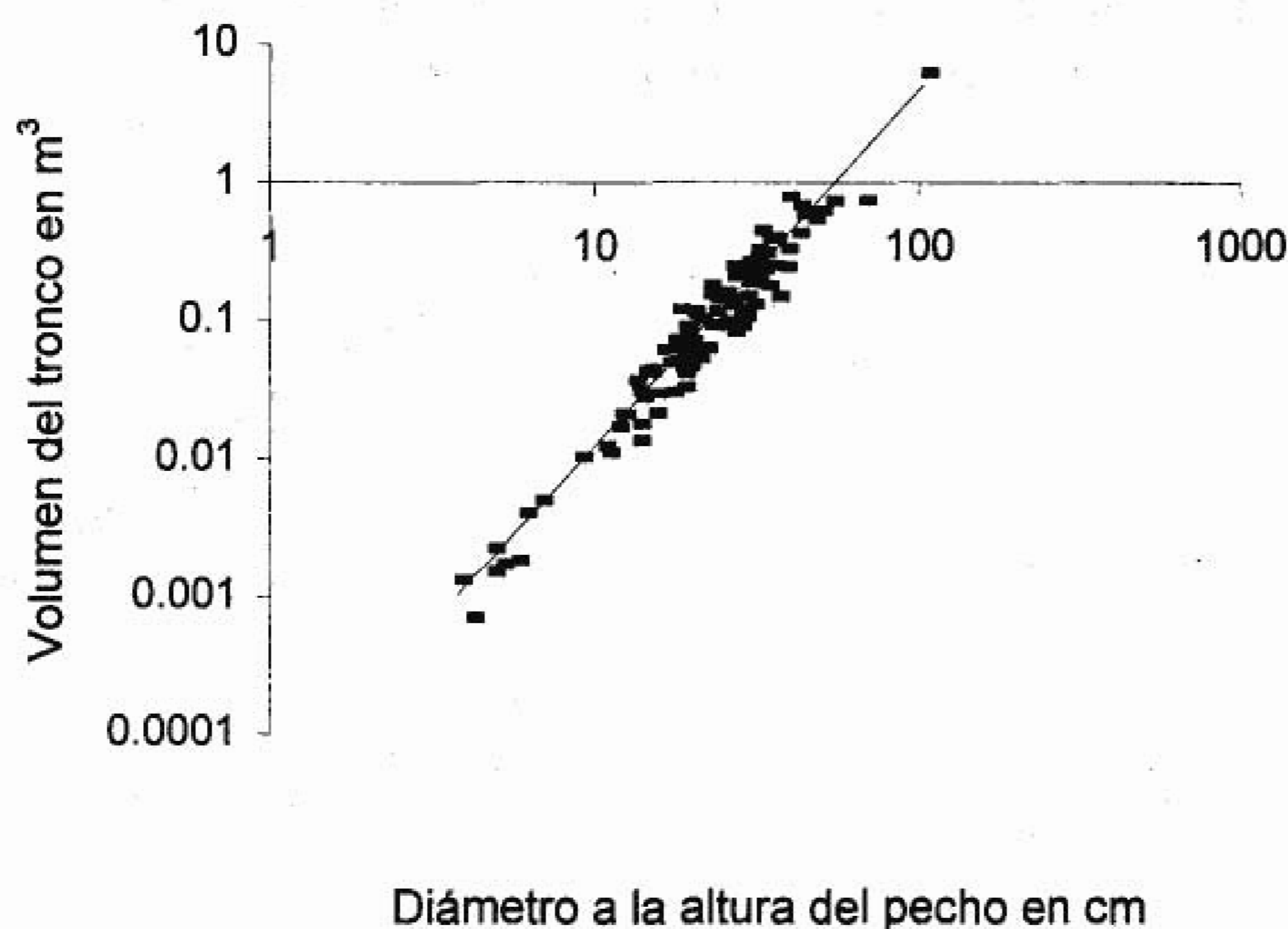
EdadCo = edad de cosecha, optimizada para alcanzar el máximo valor presente neto (véase la gráfica 6);

K = costos iniciales de la siembra y preparación del sitio, más el valor presente de todos los costos de manejo posteriores.

La ecuación [10] considera un sistema de manejo de enriquecimiento (véase el principio de la sección anterior). Sin embargo, la especie *Cedrela odorata* no es recomendable en un sistema de enriquecimiento, porque demanda mucha luz y sin manejo intensivo tiene una mortalidad relativamente alta (gráfica 4); así resulta difícil obtener un valor presente positivo en este sistema. Consecuentemente conviene emplear un sistema de manejo en un rodal con adelgazamiento. En este caso la variable Sob se vuelve 1, pero los costos de manejo K aumentan al sembrar múltiples plántulas por árbol deseado y protegerlo contra plagas y predadores. Aquí se supone que el aumento de K es tres veces, de Mex\$30 a Mex\$90. La ecuación [10] se convierte:

$$VPN = (e^{f+g[a+(b)(\ln[EdadCo])+c/EdadCo]})(423.78)(CR)(P-C)(e^{-(r)(EdadCo)}) - K \quad [11]$$

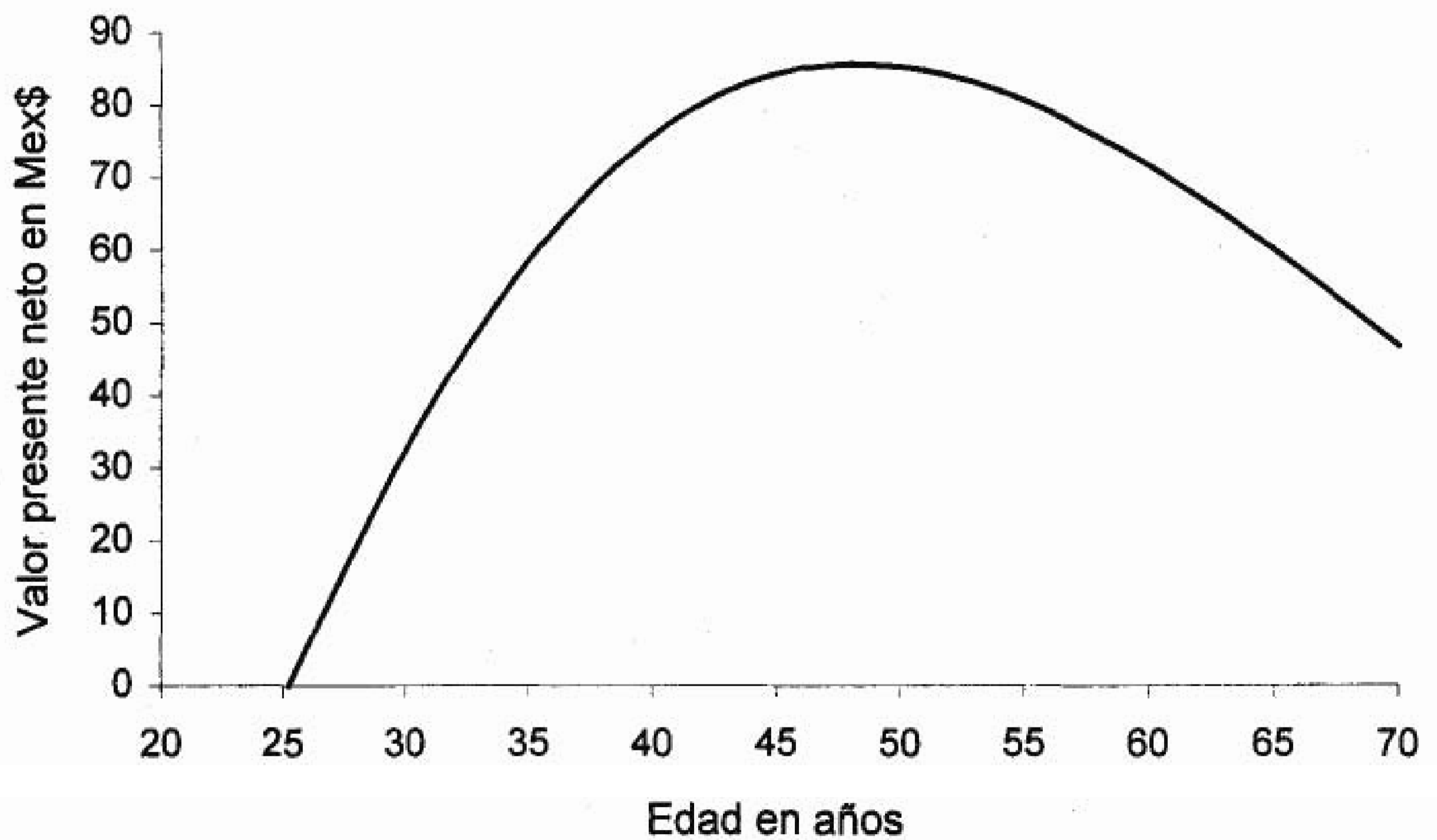
Gráfica 5. *Relación alométrica para la especie maderable Cedrela odorata. Cada punto representa un árbol. Mediante la regresión lineal se determinan Vol4 a Dia4 y Vol5 a Dia5 (ecuación 8).*



La gráfica 6 muestra que existe una edad óptima de cosecha, en la cual el valor presente neto alcanza un máximo (llamada "edad o ciclo según Faustmann"). La edad de cosecha óptima para un sólo ciclo de cosecha, desde el punto de vista comercial, ocurre en el momento cuando el crecimiento relativo ha bajado al punto en que es igual a la tasa de descuento r . La razón es que r representa el costo de oportunidad para un inversionista, y cuando el dinero invertido en la madera crece más lentamente que si fuera empleado en otros proyectos de inversión, entonces el costo de oportunidad se vuelve demasiado alto para esperar más tiempo con la cosecha (Ricker y Daly, 1998, capítulo 5.3). Mientras que no es

posible derivar una fórmula explícita para la edad óptima de cosecha en el caso de la ecuación [10] (hay que “buscarla”), para la ecuación [11] esto sí es posible:

Gráfica 6. Optimización del ciclo de cosecha de la madera para *Cedrela odorata* con la ecuación (11): La cosecha a 48 años maximiza el valor presente neto:



$$EdadCo_{\text{óptima}} = [g^{0.5}][(b)(g^{0.5}) + \{(b^2)(g) - (4)(c)(r)\}^{0.5}] / [(2)(r)] \quad [12]$$

Se llega a la ecuación [12] al tomar la derivada de la ecuación [11] hacia *EdadCo*, y dividir la derivada entre la ecuación [11]. El resultado es la fórmula para el crecimiento relativo del volumen $[(d[Vol]/d[EdadCo])/Vol]$. Después se despeja $(d[Vol]/d[EdadCo])/Vol = r$ para *EdadCo*.

El cuadro 2 muestra los datos de entrada y los resultados para la madera de *Cedrela odorata* (datos de Ricker, 1998). El valor presente neto

por árbol al tiempo de la siembra de *C. odorata* es de Mex\$85.73 al cosecharlo a la edad óptima de 48 años. El cuadro 2 también muestra el análisis de sensibilidad. Las variables más sensibles en el caso de la producción de madera de *C. odorata* son el diámetro intermedio *Dia2*, la tasa de descuento (r), y el precio de la madera (P). Mientras la tasa de descuento (r) no es una variable manipulable, el crecimiento y el precio son las variables clave en el manejo y la comercialización para obtener un valor comercial alto.

CUADRO 2. *Análisis de sensibilidad de la producción de madera de Cedrela odorata*

Original ¹	-10% +10%	VPN (Mex\$)	<i>EdadCo</i> (años)	Cambio del VPN (%)
<i>Dia1</i> = 17 cm (15 años)	15.3 cm	85.35	49	-0.2
	18.7 cm	86.00	48	+0.3
<i>Dia2</i> = 77 cm (50 años)	69.3 cm	47.11	57	-45.1
	84.7 cm	143.91	43	+67.9
<i>Dia3</i> = 110 cm (76 años)	99.0 cm	95.49	42	+11.4 ²
	121.0 cm	89.42	56	+4.3
<i>Vol4</i> = 0.012 m ³ (10 cm)	0.0108 m ³	83.43	49	-2.7
	0.0132 m ³	87.92	48	+2.6
<i>Vol5</i> = 4.683 m ³ (100 cm)	4.2147 m ³	70.34	48	-18.0
	5.1513 m ³	101.01	49	+17.8
<i>CR</i> = 0.65	0.585	68.16	48	-20.5
	0.715	103.31	48	+20.5
<i>P</i> = Mex\$ 4.50/ pie-tabla	Mex\$4.050	61.47	48	-28.3
	Mex\$4.950	109.99	48	+28.3
<i>C</i> = Mex\$ 1.24/ pie-tabla	Mex\$1.116	92.42	48	+7.8
	Mex\$1.364	79.05	48	-7.8

CUADRO 2. Continuación...

$r = 0.05$	0.045	135.74	52	-58.3
	0.055	49.20	45	-42.6
$K = \text{Mex}\$90.00$	$\text{Mex}\$81.00$	94.73	48	+10.5
	$\text{Mex}\$99.00$	76.73	48	-10.5

¹ VPN = Mex\$85.73 (*EdadCo* = 48 años), US\$1 = Mex\$10 en octubre de 1998.

²Una disminución del *Dia3* llega aquí a una forma más inclinada de la curva de crecimiento al principio, y así el VPN sube.

DISCUSIÓN

El análisis de costo-beneficio del manejo forestal presenta varios retos. Primero, los árboles crecen lentamente, así que las proyecciones se tienen que hacer a través de décadas. Segundo, el análisis depende de múltiples variables biológicas y económicas. Tercero, el bosque no solamente comprende valores comerciales, sino también valores no-comerciales, como son su valor estético, el valor de la biodiversidad, o el valor de la protección del suelo y agua. A pesar de estos retos es importante llevar a cabo la evaluación económica para llegar a decisiones sensatas sobre cuáles áreas boscosas conservar o reforestar, cuáles áreas manejar y cuáles convertir para otros usos. Aquí se presentó un método para realizar un análisis de costo-beneficio para especies arbóreas maderables y frutales, que toma en cuenta el largo tiempo de la inversión y las múltiples variables. Con base en las especies investigadas en este trabajo, llegamos a las siguientes conclusiones:

1. De las aproximadamente 22 000 especies de plantas con semillas en México, cientos y posiblemente miles son potencialmente comerciales (véase Ibarra-Manríquez *et al.*, 1997, para el ejemplo de Los Tuxtlas). El apéndice 1 pretende dar una impresión de la biodiversidad forestal que es o podría ser comercial. Cada tipo de vegetación tiene sus propias especies forestales, lo que puede y debe resultar en una diversificación de la producción forestal.

2. En el estudio de caso en el bosque tropical perennifolio de Los Tuxtlas, Veracruz, el manejo forestal extensivo puede tener un valor presente neto positivo (Mex\$102.79 por árbol de *Pouteria sapota*). Con este sistema de enriquecimiento se puede aumentar el valor comercial del bosque, y al mismo tiempo conservar valores no-comerciales como la estructura natural y la biodiversidad de la selva.
3. El valor presente neto del enriquecimiento de la selva en Los Tuxtlas puede ser incluso más alto que el valor presente neto del pastizal para ganado (en la actualidad el uso dominante de la tierra). En Los Tuxtlas, una hectárea de pastizal para ganado tiene un valor presente neto de aproximadamente Mex\$10 000 (Ricker y Daly, 1998, p. 249). Al sembrar 100 árboles de *Pouteria sapota* en una hectárea de selva, se alcanzaría un valor presente neto más alto de Mex\$10 279 con el sistema de enriquecimiento. En lugar de tumbar la selva restante, los dueños deberían aprovechar este tipo de manejo forestal.
4. Un argumento frecuentemente hecho en contra del cálculo del valor presente neto consiste en que las comunidades rurales pobres no pueden esperar décadas para un primer ingreso (aquí 22 años en el caso de los frutos de *Pouteria sapota* y 48 años en el caso de la madera de *Cedrela odorata*). Sin embargo, nuestra propuesta no consiste en designar todos los terrenos rurales disponibles en conjunto de manera repentina a un solo tipo de manejo forestal. Más bien, para el enriquecimiento se pueden usar islas de bosques restantes, así proporcionando un incentivo de conservarlos en lugar de convertirlos. Para la reforestación se pueden usar los terrenos menos accesibles y menos aprovechados, dado que una vez establecido, el bosque requiere de relativamente poca atención.
5. Se debe dar más atención a los productos no-maderables en el manejo forestal. El estudio de caso de los frutos de *Pouteria sapota*, así como el apéndice, demuestran el valor comercial potencialmente alto de los productos no-maderables (véase también Ricker *et al.*, 1997; Schulze *et al.*, 1994).

6. El estudio de caso de la madera de *Cedrela odorata* mostró que sistemas de manejo más intensivos pueden ser recomendables. México podría incrementar mucho más la producción de madera al implementar plantaciones de alto rendimiento, siempre y cuando éstas se ubiquen en sitios adecuados. Los bosques manejados en los trópicos producen 2-8 m³/hectárea/año de madera, mientras las plantaciones de alto rendimiento llegan a producir 10-60 m³/hectárea/año (Feder *et al.*, 1991, pp. 77-78). Por ejemplo, las plantaciones de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden y de *E. urophylla* S. T. Blake (introducidos de Australia) han tenido un incremento promedio anual de 50-70 m³/hectárea de madera en Brasil (Evans, 1992, p. 4). *Pinus caribaea* Morelet y *Gmelina arborea* Roxb. (introducida de la India) han tenido un incremento promedio anual de 20 m³/hectárea en Brasil, y *Swietenia macrophylla* King 14 m³/hectárea en las islas Fiji (Evans, 1992, p. 21). En la actualidad existen plantaciones forestales en México solamente en un área de 632.51 km², es decir, en 0.03% de la superficie mexicana (1 967 183 km²; SARH, 1994, p. 33). Suponiendo que México quisiera exportar la misma cantidad de madera en rollo que Estados Unidos (27 129 000 m³; World Resources Institute, 1994, p. 311) y que se establecieran plantaciones en lugares adecuados con un incremento promedio anual de 20 m³/hectárea, se necesitarían 13 564 km², es decir, sólo 0.7% de la superficie nacional. Así se podrían aprovechar comercialmente al máximo una parte de los bosques, al mismo tiempo que se podría reducir la presión sobre otras áreas boscosas, las cuales pueden desempeñar un importante papel en la conservación (Gladstone y Ledig, 1990).
7. El análisis de sensibilidad mostró que las variables clave para un alto valor comercial de los árboles son el crecimiento, la sobrevivencia, y el precio del producto.

Un mejor uso de los bosques y selvas en México disminuiría la deforestación y aumentaría los ingresos de la población. En algunas regiones y para ciertas especies puede ser recomendable un manejo extensivo que aumente el valor comercial del bosque natural sin destruirlo. El uso y el establecimiento de plantaciones forestales de alto rendimiento en áreas

adecuadas permitiría establecer y justificar grandes zonas de bosque natural en otras áreas.

APÉNDICE 1

En seguida se proporcionan los cuatro tipos de vegetación más grandes de México, con ejemplos de especies útiles y comerciales.

1. **Matorral xerófilo:** Domina el norte de México, sobre todo en el noreste y en la Península de Baja California (hasta una altitud de 3 000 metros sobre nivel del mar). La temperatura media anual es de 12-26°C. La precipitación media anual generalmente es inferior a 700 milímetros (Rzedowski, 1986, pp. 237-238 y 240). En Tlaxcala se aprovechan *Agave atrovirens* Karw. y *A. salmiana* Otto (“maguey”; Agavaceae) para producir el pulque. De varias especies del género *Opuntia* (“nopal”; Cactaceae) proviene la popular fruta conocida como “tuna” (Maldonado y Zapién, 1977). En Coahuila se aprovecha el arbusto *Euphorbia antisiphilitica* Zucc. (“candelilla”; Euphorbiaceae), de cuyos tallos se obtiene una cera muy apreciada (Villa, 1981; Maldonado, 1979). En San Luis Potosí, Coahuila y Chihuahua se producen fibras duras (“ixtle”) para la fabricación de cordones, costales y bolsas; éstas son obtenidas de las hojas de *Agave lecheguilla* Torrey (“lechuguilla”; Agavaceae) y *Yucca carnerosana* (Trelease) McKelvey (“palma samandoca” o “palma loca”; Agavaceae) (Rzedowski, 1986, pp. 241-242). De *Yucca valida* Brandg. (“datilillo”), abundante en la parte central de Baja California (Rzedowski, 1986, p. 255), se extraen fibras de sus hojas y tallo para la producción de cordelería y cestería (Ruiz *et al.*, 1982). El arbusto *Fouquieria splendens* Engelm. (“ocotillo”; Fouquieriaceae) sirve para la construcción y como combustible, sus flores y semillas son comestibles y presentan propiedades medicinales contra la tos (Reyes y García, 1982). Las hojas de *Nolina microcarpa* S. Watson (“palmilla”; Agavaceae) y otras especies de *Nolina* se usan industrialmente

como componente principal de los rodillos y discos de las barredoras mecánicas y para escobas (Sánchez, 1981). En Sonora y Baja California se aprovechan las semillas del arbusto *Simmondsia chinensis* (Link) C. Schneider ("jojoba"; Simmondsiaceae) para sacar una cera líquida de interés industrial (Molina *et al.*, 1995; Carrillo, 1990; Piña y Pérez, 1983; Sepúlveda y Parra, 1976). La madera del "palo fierro", *Olneya tesota* Gray (Papilionaceae), es muy apreciada para tallar figuras y artesanía.

2. **Bosque de coníferas y de *Quercus*:** Existe en casi todos los estados (principalmente de 1 500-3 000 metros sobre nivel del mar). La temperatura media anual es de 10-20°C. La precipitación es de 600-1 000 milímetros (Rzedowski, 1986, pp. 283-286; véanse también Rzedowski *et al.*, 1977; Sánchez y Huguet, 1959). El género más importante para la industria maderera es indudablemente *Pinus* ("pino"; Pinaceae). Especies importantes son *P. patula* Schiede & Deppe ex Schltdl. & Cham. (Dvorak *et al.*, 1995; Vela, 1976), *P. oocarpa* Schiede ex Schltdl. (Benavides y Manzanilla, 1993), *P. pseudostrobus* Lindl. (Bello, 1988; Aguirre y Zepeda, 1985), y *P. herrerae* Mart. En los estados de Oaxaca, Chiapas, Jalisco, Nuevo León y Michoacán se industrializa la resina de pino, especialmente de las especies *P. oocarpa* (Zamora, 1981), *P. montezumae* Lamb., *P. teocote* Schiede & Deppe ex Schltdl. & Cham., y *P. pseudostrobus*. Finalmente, se recolectan y comercializan las semillas comestibles ("piñones") de *P. cembroides* Zucc. (Segura y Snook, 1992; Robert, 1977), *P. pinceana* Gordon, *P. nelsonii* Shaw, y *P. maximartinezii* Rzedowski (Styles, 1993, pp. 402, 414 y 415). Otras especies maderables importantes son *P. arizonica* Engelm. (Islas y Mendoza, 1989; Chacón y Sánchez, 1986), *P. durangensis* Mart. (Alarcón e Iglesias, 1992), y *P. tenuifolia* Benth. (SARH, 1994, p. 25). A nivel internacional, *P. caribaea* Morelet y *P. patula* son las especies mexicanas más empleadas en plantaciones forestales (Mabberley, 1989). Otra especie muy apreciada es *P. radiata* D. Don., que se extiende desde el sur de Estados Unidos a México, y se ha usado a nivel internacional y nacional (Sierra *et al.*, 1991). Además, se han empleado a nivel internacional las especies mexicanas *P. chiapensis* (Mart.) Andresen

(Wright *et al.*, 1996; Dvorak y Brouard, 1987) y *P. greggii* Engelm. ex Parl. (Dvorak *et al.*, 1996). Otras coníferas de importancia comercial son *Abies religiosa* Lindl. (“oyamel”) y *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco (“Douglas fir”; ambas Pinaceae). Esta última especie existe en una superficie aproximada de 25 000 hectáreas, desde Sonora y Chihuahua hasta Zacatecas, entre 2 000 y 3 200 metros sobre nivel del mar (Rzedowski, 1986, pp. 310-311). *P. menziesii* ha sido estudiada detalladamente para la silvicultura en el noroeste de Estados Unidos y en otros países, por lo cual convendría aprovecharla más en México. En la actualidad, también la madera del género *Quercus* (“encino”, “roble”; Fagaceae) es mucho menos aprovechada en México que en Estados Unidos o Europa, y debería dársele más atención forestal (Quiñónez y Herrera, 1984; Becerra, 1977; Mass, 1977). Otros géneros latifoliados de interés maderable en este tipo de vegetación son *Alnus* (“aile”; Betulaceae; Rebollar, 1977) y *Salix* (“sauce”; Salicaceae); este último tiene también especies que se usan con propósitos artesanales y medicinales (Villa y Alonso, 1995). Cabe destacar que fue en el género *Salix* donde se encontraron los precursores del ácido acetilsalicílico, es decir, de la aspirina (Weissmann, 1991). Finalmente, de interés comercial e incluso para la exportación, son los hongos comestibles del bosque de coníferas y de *Quercus* (Sánchez, 1980).

3. **Bosque tropical caducifolio:** Es común en la costa occidental de México, desde el sur de Sonora y suroeste de Chihuahua hasta Chiapas. También existe en extensiones más pequeñas en Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro, Veracruz, y Yucatán (entre 0 y 1 900 metros sobre nivel del mar). La temperatura media anual es de 20-29°C. La precipitación media anual es de 300-1 800 milímetros con 5-8 meses secos. Los árboles tienen una altura baja de 5-15 metros (Rzedowski, 1986, pp. 190, 192 y 193). Especies maderables, aunque de pequeño diámetro, son *Cordia elaeagnoides* DC. (“barcino”; Boraginaceae), *Celaenodendron mexicanum* Standl. (“guayabillo”; Euphorbiaceae) y *Platymiscium lasiocarpum* Sandw. (“granadillo”; Pa-

pilionaceae). Por otro lado, existe una variedad arbustiva del “chile” adaptado a la sombra, *Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum* (Dun.) Heiser y Pickersgill (“chile de monte”; Solanaceae); tiene un buen mercado incluso en Estados Unidos, ya que aparentemente su ingestión causa menos problemas estomacales. Los frutos dulces de *Spondias purpurea* L. (“ciruelo cimarrón”; Anacardiaceae) y *Psidium sartorianum* (Berg) Ndzu. (“guayabillo” o “arrayán”; Myrtaceae) también son ampliamente apreciados comercialmente. Especies medicinales pertenecientes a este tipo de vegetación y que han sido comercializados en la Ciudad de México son *Haematoxylum brasiletto* Karst. (“palo de Brasil”; Caesalpiniaceae) para “fortalecer la sangre” y sacar un tinte, *Amphipterygium adstringens* (Schltdl.) Schiede (“cuachalalate”; Julianaceae) para la curación de úlceras y heridas, y *Crescentia alata* Kunth (“cuastecomate”; Bignoniaceae) contra la tos. Como condimento se encuentra el “orégano mexicano” (*Lippia* spp.; Verbenaceae; Garnica, 1994; Valenzuela, 1992).

4. **Bosque tropical perennifolio:** Se encuentra en el sureste de México, sobre todo en los estados de Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Tabasco, Campeche y Quintana Roo (hasta 1 500 metros sobre el nivel del mar). La temperatura media anual es por lo menos de 20°C. La precipitación media anual es de 1 500-3 000 milímetros y más. Predominan los árboles siempre verdes, de más de 25 metros de altura (Rzedowski, 1986, pp. 160 y 164). Un estudio de caso de las especies comerciales se encuentra en Ibarra-Manríquez *et al.* (1997). Especies maderables importantes del bosque tropical perennifolio son *Swietenia macrophylla* King (“caoba”; Browder *et al.*, 1996; García *et al.*, 1993a, 1992; Pennington *et al.*, 1981; Rodríguez y Barrio, 1979), *Cedrela odorata* L. (“cedro”; ambas Meliaceae; Sánchez, 1984; Pennington *et al.*, 1981), y *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken (“súchil”; Boraginaceae; Contreras y Rodríguez, 1992). Otras buenas especies maderables, aunque menos conocidas, son *Guarea grandifolia* A. DC. (“sabino”; Meliaceae; Pennington *et al.*, 1981), *Calophyllum brasiliense* Cambess. (“ocú”; Clusiaceae), *Nectandra ambigens* (S.F. Blake) C.K. Allen (“laurel”; Lauraceae; Rohwer, 1993), y *Platymiscium pinnatum* (Jacq.) Dugand (“chagani” o “palo

marimba”; Papilionaceae). Para generar pulpa para papel es notable la especie *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. (“ceiba”; Bombacaceae) (Tamarit, 1996). En Quintana Roo se distribuye en forma de aglomerado la especie maderable *Dendropanax arboreus* (L.) Decne & Planchon (Contreras, 1991). Bárcenas (1995) describe las propiedades técnicas de varias de las maderas mencionadas. Especies frutales importantes, con mercado nacional, son *Pouteria sapota* (Jacq.) H. Moore & Stearn (“mamey”; Sapotaceae; Pennington, 1990; Morton, 1987), *Manilkara zapota* (L.) van Royen (“chicozapote”; Sapotaceae; García *et al.*, 1993b; Pennington, 1990; Morton, 1987) y *Diospyros digyna* Jacq. (“zapote negro”; Ebenaceae; Morton, 1987). Especies frutales con mercado regional son *Persea schiedeana* Nees (“chinine”; Lauraceae) y el arbusto *Parathesis psychotrioides* Lundell (“chagalapoli”; Myrsinaceae). Plantas de interés ornamental con mercado internacional son las del género de palma *Chamaedorea* (“tepejilote”; Arecaceae; Hodel, 1992). En la década de los setenta, fue muy importante medicinalmente el género *Dioscorea* (“barbasco”; Dioscoreaceae), del cual se extrajeron precursores esteroidales para fabricar anticonceptivos, hoy hechos semisintéticamente y en general sin los precursores de *Dioscorea* (Diechtl, 1980; González, 1978). El árbol *Pimenta dioica* (L.) Merr. (Myrtaceae) produce el condimento “pimienta gorda”, comercializado internacionalmente.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre C., O. A., y E. M. Zepeda B., “Estimación de índices de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl. de la región de Iturbide, Nuevo León”, *Ciencia Forestal*, núm. 56, 1985, México, pp. 50-64.
- Alarcón B., M., y L. Iglesias G., “Influencia del sustrato y la fertilización sobre el desarrollo de *Pinus durangensis* Mtz., en invernadero”, *Ciencia Forestal*, núm. 71, 1992, México, pp. 27-61.

- Bárcenas P., G. M., "Caracterización tecnológica de veinte especies maderables de la Selva Lacandona", *Madera y Bosques*, vol. 1, 1995, México, pp. 9-38.
- Becerra M., J., "Usos probables de la madera de dos encinos del estado de Durango", *Ciencia Forestal*, núm. 5, 1977, México, pp. 3-13.
- Bello G., M. A., "Potencial, eficiencia y producción de semillas en conos de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Quinceo, Municipio de Paracho, Michoacán", *Ciencia Forestal*, núm. 64, 1988, México, pp. 3-29.
- Benavides S., J. de D., y H. Manzanilla B., "Estimación de la 'calidad de sitio' mediante 'índices de sitio' de *Pinus michoacana cornuta* Martínez y *Pinus oocarpa* Schiede, para el ADF Tapalpa, estado de Jalisco", *Ciencia Forestal*, núm. 74, 1993, México, pp. 121-138.
- Browder, J. O., E. A. Trondoli M., y W. Soares A., "Is sustainable tropical timber production financially viable? A comparative analysis of mahogany silviculture among small farmers in the Brazilian Amazon", *Ecological Economics*, vol. 16, 1996, pp. 147-159.
- Bye, R., "The role of humans in the diversification of plants in Mexico", en T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, y J. Fa (editores), *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*, Oxford University Press, Nueva York, Estados Unidos, 1993, pp. 707-731.
- Caballero, M., V. Sosa, y J. Marin, "Forestry in Mexico", *Journal of Forestry*, vol. 75, núm 8, 1977, pp. 473-477.
- Cairns, M. A., R. Dirzo, y F. Zadroga, "Forests of Mexico", *Journal of Forestry*, julio, 1995, pp. 21-24.
- Carrillo M., C., "Desarrollo de un sistema de inventario para jojoba (*Simmondsia chinensis*)", *Ciencia Forestal*, núm. 68, 1990, México, pp. 29-60.
- Chacón S., J. M., y J. Sánchez C., "Dinámica de establecimiento de la regeneración de *Pinus arizonica* Engelm., en Madera, Chihuahua", *Ciencia Forestal*, núm. 59, 1986, México, pp. 15-42.
- CNIF, *Memoria estadística*, Cámara Nacional de la Industria Forestal (CNIF), México D. F., México, 1994.
- Contreras G., J. A., "Métodos de plantación de sac-chaca (*Dendropanax arboreus*)", *Ciencia Forestal*, núm. 70, 1991, México, pp. 23-37.

- Contreras G., J. A., y B. Rodríguez S., "Métodos de plantación en *Cordia alliodora* (Ruíz & Pav.) Oken Bojón", *Ciencia Forestal*, núm. 72, 1992, México, pp. 101-114.
- Diechtl T., S., "El barbasco mexicano: condiciones y perspectivas de su aprovechamiento", *Ciencia Forestal*, núm. 28, 1980, México, pp. 24-31.
- Dvorak, W. S., y J. Brouard, "An evaluation of *Pinus chiapensis* as a commercial plantation species for the tropics and subtropics", *Commonwealth Forestry Review*, vol. 66, 1987, pp. 165-176.
- Dvorak, W. S., J. K. Donahue, y J. A. Vásquez, "Early performance of CAMCORE introductions of *Pinus patula* in Brazil, Colombia and South Africa", *South African Forestry Journal*, núm. 174, 1995, pp. 23-33.
- Dvorak, W. S., J. E. Kietzka, y J. K. Donahue, "Three-year survival and growth of provenances of *Pinus greggii* in the tropics and subtropics", *Forest Ecology and Management*, vol. 83, 1996, pp. 123-131.
- Eguiluz P., T., "Clima y distribución del género *Pinus* en México", *Ciencia Forestal*, núm. 38, 1982, México, pp. 30-44.
- Escárpita H., A., J. G. Ramírez M., y G. Zerecero L., "Los recursos forestales de Chihuahua", *Ciencia Forestal*, núm. 34, 1981, México, pp. 3-29.
- Evans, J., *Plantation Forestry in the Tropics*, Clarendon Press, Oxford, Inglaterra, 1992.
- Farjon, A., y B. T. Styles, *Pinus (Pinaceae) (Flora Neotropica Monograph 75)*, The New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York, Estados Unidos, 1997.
- Feder, G., M. Grut, P. Hazell, M. Jacobson, W. Magrath, R. Rowe, N. Sharma, y A. Steer, *The Forest Sector*, The World Bank, Washington D. C., Estados Unidos, 1991.
- Flores V., O., y P. Gerez, *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo*, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México D. F., México, 1994.

- García C., X., C. Parraguirre L., y B. Rodríguez S., "Modelos de crecimiento para una plantación de caoba (*Swietenia macrophylla* King)", *Ciencia Forestal*, núm. 71, 1992, México, pp. 87-102.
- García C., X., P. Negreros C., y B. Rodríguez S., "Regeneración natural de caoba (*Swietenia macrophylla* King) bajo diferentes densidades de dosel", *Ciencia Forestal*, núm. 74, 1993a, México, pp. 25-43.
- García C., X., B. Rodríguez S., y C. Parraguirre L., "Notas importantes sobre el chicozapote (*Manilkara zapota* L. van Royen)", *Ciencia Forestal*, núm. 74, 1993b, México, pp. 45-63.
- Garnica F., J. G., "Ensayo de predicción del rendimiento de orégano (*Lippia berlandieri* Shower) en la zona norte de Jalisco", *Ciencia Forestal*, núm. 76, 1994, México, pp. 15-26.
- Gladstone, W. T., y T. Ledig, "Reducing pressure on natural forests through high-yield forestry", *Forest Ecology and Management*, vol. 35, 1990, pp. 69-78.
- González L., L. A., "Algunas investigaciones sobre la domesticación del barbasco", *Ciencia Forestal*, núm. 13, 1978, México, pp. 48-64.
- González S., E., R. Dirzo, y R. C. Vogt (editores), *Historia natural de Los Tuxtlas*, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México D. F., México, 1997.
- Hernández, M. A., "Explotaciones forestales en el sureste de México", *The Caribbean Forester*, vol. 12, núm. 1, 1951, pp. 37-46.
- Hodel, D. R., *Chamaedorea Palms - The Species and their Cultivation*, Allen Press, Lawrence, Kansas, Estados Unidos, 1992.
- Ibarra-Manríquez, G., M. Ricker, G. Ángeles, S. Sinaca C., y M. A. Sinaca C., "Useful plants of the Los Tuxtlas rain forest (Veracruz, Mexico): Considerations on their market potential", *Economic Botany*, vol. 51, 1997, pp. 362-376.
- Islas G., F., y M. A. Mendoza B., "Modelos de regeneración y mortalidad para *Pinus arizonica* Engelm.", *Ciencia Forestal*, núm. 66, 1989, México, pp. 31-43.
- Mabberley, D. J., *The Plant Book - A Portable Dictionary of the Higher Plants*, Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra, 1989.
- Maldonado, L. J., y M. Zapién B., "El nopal en México", *Ciencia Forestal*, núm. 5, 1977, México, pp. 36-53.

- Maldonado A., L. J., "La investigación desarrollada sobre candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.)", *Ciencia Forestal*, núm. 18, 1979, México, pp. 3-10.
- Martin, A. J., "Testing volume equation accuracy with water displacement techniques", *Forest Science*, vol. 30, 1984, pp. 41-50.
- Martínez-Ramos, M., y E. Álvarez B., "Ecología de poblaciones de plantas en una selva húmeda de México", *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, núm. 56, 1995, pp. 121-153.
- Mass P., J., "Los encinos como fuente potencial de madera para celulosa y papel en México", *Ciencia Forestal*, núm. 9, 1977, México, pp. 39-58.
- Mendoza, G. A., y E. C. Gumpal, "Growth projection of a selectively cut-over forest based on residual inventory", *Forest Ecology and Management*, vol. 20, 1987, pp. 253-263.
- Meyer, H. A., "Forestry and Forest Resources in Mexico", *The Caribbean Forester*, vol. 4, núm. 1, 1942, pp. 1-8.
- Molina M., C., E. Merlín B., y J. L. Delgado A., "Caracterización ecológica de las poblaciones naturales de jojoba (*Simmondsia chinensis* (Link) Schneider) en el estado de Sonora", *Ciencia Forestal*, núm. 78, 1995, México, pp. 3-22.
- Moncayo R., F., "Las culturas indígenas mexicanas y los bosques", *México y sus Bosques*, vol. 14, núm. 4, 1975, pp. 13-22.
- Morton, J. F., *Fruits of Warm Climates*, publicado por Julia F. Morton, 20534 SW 92 Ct., Miami, FL 33189, Estados Unidos, 1987.
- Nixon, K. C., "The genus *Quercus* in Mexico", en T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, y J. Fa (editores), *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*, Oxford University Press, Nueva York, Estados Unidos, 1993, pp. 447-458.
- Ortega E., F., "El recurso madera desde la Conquista hasta principios del siglo XX", *La Palabra y el Hombre* (revista de la Universidad Veracruzana), núm. 81, 1992, pp. 45-60.

- Pennington, T. D., *Sapotaceae (Flora Neotropicalica Monograph 52)*, The New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York, Estados Unidos, 1990.
- Pennington, T. D., y J. Sarukhán, *Árboles tropicales en México*, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Fondo de Cultura Económica (FCE), México D. F., México, 1998.
- Pennington, T. D., B. T. Styles, y D. A. H. Taylor, *Meliaceae (Flora Neotropicalica Monograph 28)*, The New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York, Estados Unidos, 1981.
- Perry Jr., J. P., *The Pines of Mexico and Central America*, Timber Press, Portland, Oregon, Estados Unidos, 1991.
- Piña P., F., y F. Pérez O., "Localización de rodales silvestres de jojoba (*Simmondsia chinensis*) en el estado de Baja California Sur", *Ciencia Forestal*, núm. 41, 1983, México, pp. 23-43.
- Quiñónez O., J., y G. Zerecero L., "Recursos forestales de Durango", *Ciencia Forestal*, núm. 31, México, 1981, pp. 43-55.
- Quiñónez O., J. O., y A. Herrera B., "Potencialidad y utilización de los encinos en el norte del país", *Ciencia Forestal*, núm. 52, 1984, México, pp. 3-10.
- Rebollar D., S., "La madera de *Alnus firmifolia* y sus usos", *Ciencia Forestal*, núm. 8, 1977, México, pp. 51-63.
- Reyes C., R., y A. M. García G., "El uso múltiple del ocotillo (*Fouquieria splendens* Engelm.) en las zonas áridas", *Ciencia Forestal*, núm. 36, 1982, México, pp. 3-18.
- Ricker, M., *Enriching the Tropical Rain Forest with Native Fruit Trees: A Biological and Economic Analysis in Los Tuxtlas (Veracruz, Mexico)*, Ph. D. thesis, Yale University, School of Forestry and Environmental Studies & Graduate School, New Haven, Connecticut, Estados Unidos, 1998. [Publicado por UMI Dissertation Services, Ann Arbor, Michigan, Estados Unidos.]
- Ricker, M., y D. C. Daly, *Botánica económica en bosques tropicales - principios y métodos para su estudio y aprovechamiento*, Diana, México, 1998.

- Ricker, M., J. H. Jessen, y D. C. Daly, "The case for *Borojoa patinoi* (Rubiaceae) in the Chocó Region, Colombia", *Economic Botany*, vol. 51, 1997, pp. 39-48.
- Robert, M. F., "Notas sobre el estudio ecológico y fitogeográfico de los bosques de *Pinus cembroides* Zucc. en México", *Ciencia Forestal*, núm. 10, 1977, México, pp. 49-58.
- Rodríguez y Pacheco, A. A., y J. M. Barrio C., "Desarrollo de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en diferentes tipos de suelos", *Ciencia Forestal*, núm. 22, 1979, México, pp. 45-64.
- Rohwer, J. G., *Lauraceae: Nectandra (Flora Neotropica Monograph 60)*, The New York Botanical Garden New York, Bronx, Nueva York, Estados Unidos, 1993.
- Ruiz A., M., R. Oliva G., y J. Ham T., "Ensayo de una metodología para elaborar una tabla de rendimiento de peso de hojas y peso de fibra seca de datilillo (*Yucca valida*)", *Ciencia Forestal*, núm. 38, 1982, México, pp. 45-64.
- Rzedowski, J., *Vegetación de México*, Limusa, México D. F., México, 1986.
- Rzedowski, J., "Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México", *Acta Botánica Mexicana*, vol. 14, 1991, pp. 3-21.
- Rzedowski, J., "Diversity and origins of the phanerogamic flora of Mexico", en T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, y J. Fa (editores), *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*, Oxford University Press, Nueva York, Estados Unidos, 1993, pp. 129-144.
- Rzedowski, J., L. Vela G., y X. Madrigal S., "Algunas consideraciones acerca de la dinámica de los bosques de coníferas en México", *Ciencia Forestal*, núm. 5, 1977, México, pp. 15-35.
- Sánchez R., R., "Hongos comestibles y venenosos en la región forestal de la meseta Tarasca, Mich.", *Ciencia Forestal*, núm. 27, 1980, México, pp. 43-64.
- Sánchez C., J., "La palmilla (*Nolina* spp.): una planta de interés económico", *Ciencia Forestal*, núm. 31, 1981, México, pp. 3-17.

- Sánchez V., L. R., "Ecología y uso de *Cedrela odorata* L. en Misantla, Ver.", *Ciencia Forestal*, núm. 48, 1984, México, pp. 23-36.
- Sánchez M., N., y L. Huguet, "Las coníferas de México", *Unasyuva*, vol. 13, núm. 1, 1959, pp. 24-35.
- SARH, *Inventario nacional forestal periódico México 1994*, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, México D. F., México, 1994.
- Schulze, P. C., M. Leighton, y D. R. Peart, "Enrichment planting in selectively logged rain forest: A combined ecological and economic analysis", *Ecological Applications*, vol. 4, 1994, pp. 581-592.
- Segura, G., y L. C. Snook, "Stand dynamics and regeneration patterns of a pinyon pine forest in east central Mexico", *Forest Ecology and Management*, vol. 47, 1992, pp. 175-194.
- Sepúlveda B., J. I., y H. Parra H., "La jojoba, *Simmondsia chinensis* (Link) Schneider - una alternativa para el desarrollo económico de las zonas áridas y semiáridas de México", *Ciencia Forestal*, núm. 4, 1976, México, pp. 40-49.
- Sierra P., A., J. Vázquez S., y D. A. Rodríguez T., "La autoecología del *Pinus radiata* en la cuenca de México", *Ciencia Forestal*, núm. 69, 1991, México, pp. 107-123.
- Standley, P. C., "Trees and shrubs of Mexico", *Contributions from the United States National Herbarium*, vol. 23, 1920-26, pp. 1-1721.
- Styles, B. T., "Genus *Pinus*: A Mexican purview", en T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, y J. Fa (editores), *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*, Oxford University Press, Nueva York, Estados Unidos, 1993, pp. 397-420.
- Tamarit U., J. C., "Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas", *Madera y Bosques*, vol. 2, 1996, México, pp. 29-41.
- Valenzuela R., R., "Consideraciones económicas en el establecimiento de cuotas para el aprovechamiento del orégano", *Ciencia Forestal*, núm. 71, 1992, México, pp. 147-154.
- Vela G., L., "*Pinus patula*, una importante especie mexicana de pino", *Ciencia Forestal*, núm. 1, 1976, México, pp. 12-20.

- Villa S., A. B., "Investigación sobre candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) en el área del CIFNE", *Ciencia Forestal*, núm. 32, 1981, México, pp. 3-18.
- Villa S., A. B., y Ma. de los A. Alonso R., "Una contribución al conocimiento de los sauces en México", *Ciencia Forestal*, núm. 77, 1995, México, pp. 35-65.
- Weissmann, G., "Aspirin", *Scientific American*, enero de 1991, pp. 58-64.
- World Bank, *Mexico-Resource Conservation and Forest Sector Review* (reporte), The World Bank, Washington D. C., Estados Unidos, 1995.
- World Resources Institute, *World Resources 1994-1995*, Oxford University Press, Nueva York, Estados Unidos, 1994.
- Wright, J. A., A. M. Marin V., y W. S. Dvorak, "Conservation and use of the *Pinus chiapensis* genetic resource in Colombia", *Forest Ecology and Management*, vol. 88, 1996, pp. 283-288.
- Zamora S., C., "Algunos aspectos sobre *Pinus oocarpa* Schiede en el estado de Chiapas", *Ciencia Forestal*, núm. 32, 1981, México, pp. 25-53.

purchase of electric cars with zero emission, while discouraging the purchase of gasoline cars. In this system, the government would not earn additional taxes, while correcting efficiently the market failure of not providing the non-market good "clean air".

Martin Ricker, Robert Bye, Guillermo Ibarra-Manríquez, Miguel Martínez-Ramos, Christina Siebe, José Luis Palacio P., Reynaldo Valenzuela R. y Guillermo Ángeles, *Diversidad y manejo de los bosques mexicanos: aspectos microeconómicos*. ("Diversity and management of Mexican forests: Microeconomic aspects").

JEL Classification*: Q230, D200, R12077

En México existen aproximadamente 22 000 especies de plantas con semillas, muchas de ellas de interés forestal. Se presenta un método de análisis de costo-beneficio para el manejo de especies arbóreas, que incluye funciones de crecimiento y de sobrevivencia de árboles. Se muestra que en el bosque tropical perennifolio de Los Tuxtlas (Veracruz), un sistema de manejo extensivo en el interior de la selva con árboles frutales de "mamey" (*Pouteria sapota*) tiene un valor presente neto positivo. El sistema, incluso, puede ser competitivo al compararlo con pastizal para ganado. Este manejo permite conservar la estructura y la biodiversidad de la selva. En comparación, los árboles maderables de "cedro" (*Cedrela odorata*) se deberían manejar de manera más intensiva en los claros. En un apéndice, se proporcionan ejemplos de plantas de interés comercial, incluyendo productos no-maderables, para los tipos de vegetación más grandes en México: el matorral xerófilo (38.3% del terreno mexicano), el bosque de coníferas y de *Quercus* (17.5%), el bosque tropical caducifolio (14.0%) y el bosque tropical perennifolio (9.4%).

There are about 22 000 species of seed plants in Mexico, many of them of interest for forest management. We present a method of cost-benefit analysis for tree species management, which includes a tree growth and a survivorship function. For the tropical evergreen forest at Los Tuxtlas (Veracruz), it is shown that an extensive forest management system inside the forest with Mamey fruit trees (*Pouteria sapota*) has a positive net present value. The system can even be competitive with cattle pasture. This

management allows to conserve the structure and biodiversity of the forest. In comparison, Spanish Cedar timber trees (*Cedrela odorata*) should be managed more intensively in the open. An appendix provides examples of commercial plants, including non-timber forest products, for the largest Mexican vegetation types: Xerophilous scrub (38.3% of the Mexican territory), pine-oak forest (17.5%), tropical deciduous forest (14.0%), and tropical evergreen forest (9.4%).

Adam Drucker, Verónica Gómez y Sergio Magaña, *¿Contaminante o bien?: la importancia del valor de los subproductos en la determinación de estrategias y políticas para el tratamiento de los desechos animales.* ("Pollutant or Useful By-Product? The Importance of the Value of By-Products in the Determination of Strategies and Policy for the Treatment of Animal Waste").

JEL Classification*: Q200, R120, I190111

La porcicultura yucateca ha sido una de las actividades más importantes para la economía regional; sin embargo, los desechos generados por estos animales han producido efectos perjudiciales en términos ecológicos y sanitarios. En particular para Yucatán, la contaminación del agua del manto freático, del que se abastece casi toda la población, se presenta fácilmente, siendo la descarga de aguas residuales animales una de las principales fuentes de contaminación por materia orgánica en la región. Al mismo tiempo, un análisis de los costos netos de convertir a las aguas residuales de contaminante potencial a un bien, sugiere que se podría cubrir un gran porcentaje de los costos de tratamiento. Esto tiene implicaciones tanto para las estrategias de tratamiento de los productores como para el desarrollo de las políticas regulatorias.

Yucatecan puericulture has been one of the most significant activities in the region's economy. Yet the waste generated by these animals has produced effects that are prejudicial in terms of the ecology and sanitation. A particular problem for Yucatan is pollution of the phreatic substratum, which supplies most of the population with its water. This pollution happens all too easily, as the discharge of residual animal waters is one of the region's main causes of pollution by organic matter. At the same time, an