



El sector forestal mexicano: paradojas de la explotación de un recurso natural

**Roberto Escalante Semerena
Fidel Aroche Reyes**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ECONOMÍA**



**EL SECTOR FORESTAL MEXICANO:
PARADOJAS DE LA EXPLOTACIÓN DE UN RECURSO NATURAL**

Compiladores:

**ROBERTO ESCALANTE SEMERENA
FIDEL AROCHE REYES**



FACULTAD DE ECONOMÍA, UNAM

2000

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Juan Ramón de la Fuente Ramírez

Rector

Lic. Enrique del Val Blanco

Secretario General

Mtro. Daniel R. Barrera Pérez

Secretario Administrativo

Dr. Francisco Ramos Gómez

Secretario de la Rectoría

Dr. José Narro Robles

Coordinador General de la Reforma Universitaria

Dra. Arcelia Quintana Adriano

Abogada General

FACULTAD DE ECONOMÍA

Lic. Guillermo Ramírez Hernández

Director

Lic. Carlos Javier Cabrera Adame

Secretario General

C. P. Pedro Jesús Roncero Montero

Secretario Administrativo

Dr. Roberto Escalante Semerena

Jefe de la División de Estudios de Posgrado

Lic. José Luis Victoria Toscano

Jefe de la División de Estudios Profesionales

Lic. Alejandro Paz Torres

Jefe de la División del Sistema Universidad Abierta

Mtra. Josefina Valenzuela Cervantes

Secretaria de Planeación

Lic. Enrique Ibarra Iriondo

Secretario de Intercambio Académico y Superación Docente

Lic. Martín Castañeda Infante

Coordinador de Asuntos Estudiantiles

Lic. Antonio Gazol Sánchez

Coordinador del Centro de Educación Continua y Vinculación

Lic. Luis Juvencio Portilla Rivera

Coordinador de la Biblioteca

Ing. Javier Salazar Argonza

Coordinador de Informática

Lic. Carmen Durán Kirchner

Coordinadora de Comunicación Social

Lic. Juan E. Partida Castillo

Coordinador de Publicaciones

Primera edición

D. R. 2000. Facultad de Economía, UNAM

ISBN-968-36-8588-9

Impreso y hecho en México

**ENRIQUECIMIENTO DE LA SELVA
CON ÁRBOLES NATIVOS:
UN ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO
CON TRES ESPECIES EN LOS TUXTLAS,
VERACRUZ**

MARTIN RICKER*

* Jardín Botánico del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado postal

INTRODUCCIÓN

Mientras la deforestación de las selvas y los bosques tropicales continúa (Dirzo y García, 1991; Cairns *et al.*, 1995), el futuro de éstos depende en gran parte de estrategias de manejo que logren proporcionar ingresos económicos comparables o superiores a los ingresos provenientes de los usos destructivos. Un reto principal consiste en desarrollar y aplicar métodos para poder realizar el análisis de costo-beneficio sobre el manejo forestal en un tiempo relativamente corto, es decir con datos de campo de uno a pocos años (en este estudio tres años).

Las denominadas plantaciones de enriquecimiento en este estudio consisten en plantar y manejar árboles comercialmente valiosos dentro de la selva existente. El estudio se llevó a cabo en la selva de la Estación de Biología "Los Tuxtlas" en Veracruz, perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México, que se encuentra aproximadamente a 30 km de la ciudad de San Andrés Tuxtla (para más información véase Ibarra-Manríquez *et al.*, 1997). Se emplearon tres especies arbóreas nativas de esta selva, que naturalmente se presentan en baja densidad de alrededor de un árbol por hectárea: *Pouteria sapota* (Jacquin) H. E. Moore et Stearn (Mamey, Sapotaceae) y *Diospyros digyna* Jacquin (Zapote negro, Ebenaceae) son apreciadas por sus frutos, mientras *Cedrela odorata* Linnaeus (Cedro, Meliaceae) es apreciada por su madera.

Los frutos de *Pouteria sapota* y *Diospyros digyna* tienen el tamaño de una manzana (y frecuentemente más grandes). Se encuentran en los mercados locales del sur de México, así como en los supermercados de la Ciudad de México. La distribución natural de *P. sapota* es del sur de México hasta Nicaragua (Pennington, 1990). La distribución natural de *D. digyna* es del sur de México hasta Costa Rica y en el Caribe (Pacheco, 1981). Ambas especies se encuentran introducidas en Florida, Sudamérica, y en el sureste de Asia (Morton, 1987; Hoyos, 1989; Verheij y Coronel, 1991). *Cedrela odorata* es una de las especies tropicales más ampliamente usadas para producir madera. Su distribución natural es de México hasta Argentina

y Brasil, pero hoy en día se encuentra aparentemente en casi todos los trópicos (Pennington *et al.*, 1981).

Las plántulas de *Pouteria sapota* y *Diospyros digyna* tienen su máxima tasa de crecimiento en el sotobosque. En un estudio ecológico, la apertura óptima del dosel encima de las plántulas durante los primeros dos años después de la germinación y trasplante es de alrededor de 60% (Ricker *et al.*, en prensa). Además, los árboles adultos existentes pueden producir altas cosechas de frutos adentro así como afuera del ambiente de la selva. Estas características hacen que tales especies sean interesantes para el enriquecimiento de la selva. En contraste, *Cedrela odorata* prefiere el máximo nivel de luz posible (Ricker *et al.*, en prensa). Por tanto, esta especie es más recomendable para la reforestación afuera del bosque en lugar del enriquecimiento adentro.

El estudio presentado aquí se basa en una tesis de doctorado (Ricker, 1998) que presenta un análisis de costo-beneficio para las tres especies, el cual —sin embargo— difiere al usar otros modelos de sobrevivencia y crecimiento, y contar con menos datos empíricos. El análisis proporcionado aquí para *Pouteria sapota* ya se publicó en inglés por Ricker *et al.* (1999a). El análisis para *Diospyros digyna* y *Cedrela odorata* en la forma presentada aquí es nuevo.

Finalmente, en este contexto vale la pena mencionar también el análisis relacionado para *P. sapota* y *C. odorata* por Ricker *et al.* (1999b), el cual varía una vez más en los modelos de sobrevivencia y crecimiento.

1. MÉTODOS Y RESULTADOS

El valor comercial de una plántula sembrada de las especies frutales *Pouteria sapota*. *Diospyros digyna* fue calculado por su valor presente neto esperado (VPN), un concepto estándar en economía y administración de empresas:

$$VPN = \sum_{i=1}^{EM} [F_i S_i (P-C) e^{-r \cdot i}] - K \quad [1a]$$

En esta ecuación, i es la edad como un número discreto entero (la cosecha es una vez por año). La siembra corresponde a $i = 0$, y EM es la edad máxima

de la producción. La variable F_i es la cosecha anual esperada de un árbol con edad i ($F_i = 0$ en los primeros años), mientras S_i es la sobrevivencia esperada a la edad i como proporción del tamaño inicial de la cohorte (S_i varía entre 0 y 1). Los parámetros económicos son el precio de mercado por unidad (P), el costo por unidad para cosecha, transporte y comercialización (C), la tasa anual de descuento (r), y el valor presente esperado de todos los costos para la siembra y el manejo por árbol. La ecuación [1a] calcula la utilidad neta esperada de la cosecha anual de frutos en un año dado [$F_i S_i (P-C)$], y la descuenta por multiplicar con ($e^{-r \cdot i}$) para tomar en cuenta el retraso del tiempo hasta obtener las cosechas futuras, desde el punto de vista de un inversionista. Después, la fórmula suma los valores presentes de todas las utilidades netas, y resta el valor presente de los costos de manejo (K). Es conveniente la separación de los costos de manejo (K) de los costos por unidad al tiempo de la cosecha (C), porque K se tiene que pagar por árbol o por hectárea —en tiempos que son independientes de los tiempos de cosecha—, mientras C se tiene que pagar por kilogramo de fruto en el tiempo de la cosecha.

Para la especie maderable *Cedrela odorata*, la fórmula cambia, ya que existe una sola cosecha:

$$VPN = V_i S_i (P-C) e^{-r \cdot i} - K \quad [1b]$$

Se tiene que buscar la edad i que maximice al valor presente neto. Solamente existe un i^* óptimo. Observe que esta fórmula cuenta con un solo ciclo de cosecha, sin resembrar. En este caso, el i^* se da en el momento cuando el crecimiento relativo del volumen de madera ha disminuido a un valor igual a la tasa anual de descuento más la tasa anual de mortalidad (en el presente análisis $5\% + 2\% = 7\%$). En este momento las oportunidades de inversión en el mercado son mejores en otros proyectos de inversión, ya que allá el dinero invertido crece con 5% , mientras cualquier edad superior del árbol lleva consigo un crecimiento de menos de $7\% - 2\% = 5\%$ (esto supone que los árboles que mueren naturalmente, no se venden).

Las ecuaciones [1a] y [1b] modelan el valor comercial esperado (o promedio) por árbol de una cohorte, sembrado en el presente y sin sustituir los árboles que mueren. Se supone que los precios y costos se mantengan constantes a lo largo del tiempo.

Los precios de los frutos (P) se observaron en el mercado regional en San Andrés Tuxtla, aproximadamente cada dos semanas entre marzo de 1995 y abril de 1997. El precio promedio era de MxP\$4.52/kg para *Pouteria sapota* y de MxP\$3.75 para *Diospyros digyna* [USD\$1 = MxP\$9-10 (“pesos”) en mayo de 1999; $n = 28$ y 4 veces, respectivamente, los frutos se encontraron en el mercado]. Los costos por unidad de cosechar, transportar y comercializar (C) se estimaron en MxP\$1.62/kg para *Pouteria sapota* y Mex\$2.14 para *Diospyros digyna* (Ricker 1998). En el caso de *P. sapota*, el componente para cosechar resultó en MxP\$0.61 (37.7%), después de medir un tiempo promedio de cosechar de 3.7 minutos /kg con dos personas, y usando un costo de mano de obra de MxP\$30.00 por persona para 8 horas. El componente para transportar la cosecha a San Andrés Tuxtla era de MxP\$0.56 /kg (34.6%), usando un transporte público (una camioneta) con un costo de MxP\$28.00 para una persona, más MxP\$28.00 para 100 kg de carga. Finalmente, el componente para la comercialización se estimó en MxP\$0.45 /kg (27.8%), suponiendo que con 12 horas de mano de obra en el mercado se venderían 100 kg de frutos.

Para *Cedrela odorata*, el precio que pagaría una fábrica de muebles en Catemaco (cerca de San Andrés Tuxtla) era de MxP\$4.50 por pie-tabla (1 pie x 1 pie x 1 pulgada), aserrado en tablas de 8 pies-tabla. Para convertir un metro cúbico de madera en forma de un tronco en tablas, se tiene que considerar el coeficiente de recuperación, es decir, la proporción de la madera del tronco que se aprovecha y vende. Con un coeficiente de recuperación de 65%, el precio pagado resulta ser de MxP\$1240.00 por metro cúbico en pie ($423.78 \text{ pies-tabla} / \text{m}^3 \times 0.65 \times \text{MxP\$4.50} / \text{pie-tabla}$). Los costos incluyen MxP\$30 / m^3 por un permiso de tala, y principalmente el costo para aserrar tablas y transportarlas a Catemaco, resultando en MxP\$1.24 /pie-tabla (Ricker, 1998) o MxP\$340.- por metro cúbico en pie ($423.78 \text{ pies-tabla} / \text{m}^3 \times 0.65 \times \text{MxP\$1.24} / \text{pie-tabla}$).

La tasa anual de descuento (r) refleja el valor del tiempo para un inversionista (un año vale por ejemplo un incremento de 5% del dinero invertido). El análisis empírico demuestra que una tasa anual de descuento de 5% es adecuada a largo plazo, es decir, considerando décadas en el manejo forestal (Berck, 1979; Ricker y Daly, 1998).

Finalmente, K suma los valores presentes de todos los costos de siembra, manejo y equipo. Costos en años posteriores se descuentan de la misma

manera que las cosechas de frutos en años posteriores. Se estimó K en MxP\$30.00 por árbol. En el caso de *Pouteria sapota*, esto incluyó MxP\$2.23 por plántula (7.4%) costos de vivero, MxP\$4.77 por plántula (15.9%) preparación del sitio y siembra, MxP\$6.36 por árbol (21.2%) valor presente de los costos de riego durante los primeros tres años, y MxP\$13.27 por árbol (44.2%) valor presente de los costos de chapeo y deshierbe [los valores presentes se calcularon al multiplicar los costos con $(e^{-r \cdot t})$; para más detalles véase Ricker (1998)]. La suma de estos componentes de K es MxP\$26.63 por árbol (88.7%), lo cual sin embargo fue redondeado a MxP\$30.00 para dejar un margen para costos no contemplados. Se consideró que el riego ya no es necesario después de tres años, una vez que los árboles se hayan establecidos con suficientes raíces y en un ambiente forestal que conserve la humedad. El deshierbe se consideró necesario cada tres meses en los primeros tres años, y una vez por año después. El cálculo de K varió un poco para *Diospyros digyna* y *Cedrela odorata*. De todos modos, después de redondear, resultaron también los MxP\$30.00 como valor final, igual que para *P. sapota*.

En el caso de *Diospyros digyna* hay el problema que existen árboles macho y hembra por separado (la especie es dioica), y solamente los árboles hembra producen frutos. Desafortunadamente no se conoce ningún método para distinguir machos y hembras antes de que produzcan polen o frutos, respectivamente. Por tanto, aquí se consideró que para cada árbol hembra con frutos hay que sembrar dos plántulas, con una probabilidad de 50% para que resulte un árbol hembra. Ésto duplica K a MxP\$60.00 para *D. digyna*. Para determinar la cosecha anual de frutos (F_i) o el volumen de madera (V_i), y la sobrevivencia (S_i), se inventariaron 100 árboles naturales de cada especie con diámetros troncales lo más variable posible, durante tres años (1995-1997). Los 100 árboles se encontraron en un área de alrededor de 5 x 5 km, adentro del bosque y en lo abierto. No fue posible para todos los árboles tomar las mediciones en los tres años. Varios árboles fueron talados, y en varios casos de los árboles frutales los dueños no permitieron medir la cosecha de frutos.

1.1. Un nuevo método para determinar las edades de los árboles y proyectar la cosecha

Los estudios sobre la ecología y el manejo forestal dependen mucho de las edades de los árboles, por ejemplo, para saber en que edad los árboles maderables alcanzan su tamaño cosechable. En las zonas templadas, se pueden contar los anillos anuales de crecimiento en la madera del tronco, pero en los trópicos de bajas alturas y sin invierno, no se forman estos anillos anuales de crecimiento de manera confiable (Jacoby 1989). Desarrollé un nuevo método para determinar las edades esperadas de los árboles por medio de sus incrementos troncales anuales (Ricker, 1998; Ricker *et al.*, 1999a). Se basa en el modelo de crecimiento de von Bertalanffy-Richards-Chapman (= BRC) (Pienaar y Turnbull, 1973; Zeide, 1993). El método se puede aplicar con datos obtenidos durante solamente un año, aunque varios años son preferibles (aquí tres años).

La función básica del modelo BRC para el crecimiento del diámetro es:

$$D = D_{Max}(1 - e^{-a \text{ Edad}})^b \quad [2]$$

En la ecuación [2], D es el diámetro del tronco, y D_{Max} , a y b son coeficientes de regresión. D_{Max} es el máximo diámetro posible, alcanzado a una edad infinita (en cm); observe que D_{Max} también es un coeficiente de regresión y no un valor medido. El coeficiente a se puede interpretar como un parámetro correspondiente a una tasa de crecimiento (por año) y b como un parámetro de la forma de la curva de crecimiento (sin unidad).

En lo siguiente, se desarrolla una función equivalente del modelo BRC que relaciona el diámetro troncal con el crecimiento relativo, sin incluir la edad como una variable. Primero, la ecuación[2] se despeja para Edad .

$$\text{Edad} = \ln[1 - (D/D_{Max})^{1/b}] / -a \quad [3]$$

Después, se deriva una ecuación para el crecimiento relativo instantáneo ($dD/dEdad$) / D de la ecuación [2], al tomar la derivada hacia $Edad$ y dividir por D :

$$\begin{aligned} CR &= (dD/dEdad) / D \\ &= [a b D_{Max} (1 - e^{-a Edad})^{b-1} / e^{a Edad}] / [D_{Max} (1 - e^{-a Edad})^b] \\ &= a b / (e^{a Edad} - 1) \end{aligned}$$

Ahora, en esta ecuación de crecimiento relativo, se sustituye la variable $Edad$ con la ecuación [3]. Finalmente, se toma el logaritmo para dispersar los puntos de datos, y para evitar una regresión no-lineal que predice de manera no realista valores negativos para el crecimiento relativo:

$$\ln[CR] = \ln\{a b [(D/D_{Max})^{-1/b} - 1]\} \quad [4]$$

El crecimiento relativo empírico (CR) se calculó para cada árbol como el incremento anual del diámetro troncal dividido entre el diámetro (D). Los diámetros troncales se determinaron por medio de sus perímetros ($peri$), medidos en una altura marcada de alrededor de 1.3 m. con una cinta métrica ($D = per / \pi$). Los perímetros se midieron al inicio y al final de un año. Las mediciones finales no se tomaron exactamente 365 días después de las iniciales. Por tanto, las mediciones de incremento se inter- o extrapolaron linealmente a 365 días [incremento anual = (365)(incremento medido) / (número de días)]. Además, tomando mediciones con cinta métrica de troncos de forma irregular y con contrafuertes, el error de la medición puede ser grande. Consecuentemente, hubo datos no-reales ("outliers"). Por tanto, los incrementos diametrales mayores a 6.0 cm y igual o menor a 0 cm se eliminaron del análisis. De esta manera se eliminaron por ejemplo en el caso de *Pouteria sapota* 13 (4.6%) de los 282 datos originales.

Se usó el programa computacional SYSTAT 5.03 para ajustar los parámetros D_{Max} , a y b de la ecuación [4] con regresión no lineal y cuadrados mínimos ordinarios. En el caso de *Diospyros digyna* y *Cedrela odorata*, hubo menos datos para los diámetros entre 0 y 10 cm que para *Pouteria sapota*. Esto causa problemas para el algoritmo de la regresión no-lineal, ya que al aumentar repetidamente D_{Max} se disminuye a , hasta los dos parámetros llegan a valores extremos. La curvatura inicial de la función no

está bien indicada por los datos y la función se asemeja más a una línea recta. En este caso hubo que fijar D_{Max} en un valor que se puede escoger libremente, i aquí se tomó el mismo valor que resultó para *P. sapota* (351.19 cm). Por tanto, en las tablas 2 y 3 no se lleva a cabo el análisis de sensibilidad para D_{Max} .

Los resultados de los coeficientes de regresión para las tres especies se demuestran en las tablas 1-3 y en la figura 1 a la izquierda. El coeficiente de determinación (R^2) es 0.61 para *Pouteria sapota* ($n = 269$), 0.34 para *Diospyros digyna* ($n = 280$), y 0.11 para *Cedrela odorata* ($n = 278$). El programa también estima los errores estándares.

Una vez determinados los parámetros D_{Max} , a y b , la edad de cada árbol se puede estimar por medio de su diámetro (D) al usar la ecuación [3]. La figura 1 muestra las curvas de crecimiento del diámetro para las tres especies, y se puede ver cuánto tiempo tardan para ser grandes. Por ejemplo, se puede calcular que para crecer a 100 cm de diámetro, *Pouteria sapota* necesitaría 139 años, *Diospyros digyna* 237 años, y *Cedrela odorata* 108 años. Observe las grandes diferencias entre las especies.

Como edades máximas (EM) para la producción de frutos de *Pouteria sapota* y *Diospyros digyna* se calculó hasta una edad de 150 años, ya que no hubo contribuciones de cosechas después al valor presente neto de una plántula. Desde un punto de vista comercial, una cosecha en 150 años no tiene valor en la actualidad.

La cosecha de frutos se midió al cosechar realmente todos los frutos posibles en el periodo de mayo a julio de cada año durante tres años, y pesarlos en una báscula de mercado. Se graficó la cosecha anual de frutos sobre las edades estimadas de cada árbol (figura 1 a la derecha) y se empleó el modelo BRC por segunda vez con regresión no-lineal para determinar la curva de crecimiento promedio para la cosecha anual de frutos por árbol (F):

$$F = F_{Max}(1 - e^{-c \text{ Edad}})^d \quad [5a]$$

Similar a los coeficientes de regresión en la ecuación [2], F_{Max} es la máxima posible cosecha de frutos anual, alcanzada a una edad infinita (en kg, otra vez no un valor medido), c representa un parámetro correspondiente a una tasa de crecimiento (por año) y d un parámetro de la forma de la curva de crecimiento (sin unidad). La ecuación [5a] representa una función

continúa (por tanto la anotación F en lugar de F_i). Sin embargo, se debe aplicar solamente con edades enteras, para predecir las cosechas anuales de frutos como eventos discretos.

Los volúmenes de los troncos se midieron como conos truncados en dos partes, las cuales se sumaron. Para este propósito se midió el perímetro en la base, a la mitad y abajo de la copa del tronco, y se calcularon los diámetros. Además se midieron las alturas de cada segmento. Para los dos segmentos por separado se aplicó la fórmula: volumen = $(1/12)(\pi)(\text{altura})(D^2 + Dd + d^2)$, después se sumaron los dos volúmenes. Donde D es el diámetro inferior y d es el diámetro superior del segmento. Después se sumaron los dos volúmenes. Finalmente, se aplicó el modelo BRC en la siguiente versión:

$$V = V_{Max}(1 - e^{-c \text{ Edad}})^d \quad [5b]$$

En relación con la ecuación [1b] se mencionó que hay que buscar la edad óptima de cosecha, la cual maximiza el valor presente neto. Con la ecuación (5b), es decir el modelo BRC, esta edad óptima es: $i^* = \ln[c d / (r + m) + 1] / c$. En esta edad el crecimiento relativo ha disminuido a una tasa de $r + m$ (aquí 7%). La fórmula se deriva al despejar: $(CR =) r + m = c d / (e^{c \text{ Edad}} - 1)$.

Igual que en el caso de la ecuación [4], para *Diospyros digyna* y *Cedrela odorata* las curvas de la cosecha anual de frutos y del crecimiento del volumen del tronco, respectivamente, resultaron tener demasiados parámetros en la regresión no-lineal. Por tanto, se fijó F_{Max} en 62.102 kg (usando el valor de *Pouteria sapota*) y V_{Max} en 20 m³ (pensando que esto podría ser un valor máximo en la realidad). Las tablas 1-3 y la figura 1 a la derecha presentan los resultados. El coeficiente de determinación (R^2) es 0.33 para *P. sapota* ($n = 225$ cosechas en tres años), 0.21 para *D. digyna* ($n = 252$ cosechas en cuatro años), y 0.94 para *C. odorata* ($n = 100$ árboles). Observe en la Figura 1 (a la derecha abajo) que en el caso de *C. odorata* hubo un árbol con 6.1 m³, que influye fuertemente la curva de regresión, ya que faltan los árboles con volúmenes intermedios por haber sido talados (el árbol de 6.1 m³ fue talado poco después de su medición).

Hay que destacar algunas consideraciones adicionales, cuando se quiere aplicar este método para estimar edades y proyectar la cosecha:

1. El nuevo método para determinar las edades de los árboles depende del supuesto de que los años en los cuales se miden los incrementos diametrales son representativos de otros años. En particular, las fluctuaciones del clima son de preocupación, ya que pueden causar incrementos inferiores o superiores en algunos años. Los tres años de este estudio resultaron ser un poco más fríos y más secos que el promedio de la temperatura y precipitación durante varias décadas, lo que podría causar un crecimiento más lento de lo que realmente se puede obtener.
2. Un problema estadístico resulta al medir el mismo árbol repetidamente por varios años, porque se espera generalmente que estas mediciones sean correlacionadas. Un árbol que crece bien en un año, tiende a crecer bien en otros años. Por ejemplo en el caso de *Pouteria sapota*, los coeficientes de correlación de Pearson para el crecimiento relativo logarítmico de los diámetros troncales en los años 1995-1997 fueron todos estadísticamente significativos [$r_{95-96} = 0.78$ ($n = 92$), $r_{95-97} = 0.67$ ($n = 84$), $r_{96-97} = 0.82$ ($n = 85$)]. En menor grado, también existen correlaciones significativas para las cosechas de los frutos para los mismos árboles entre diferentes años [$r_{94-95} = 0.50$ ($n = 72$), $r_{94-96} = 0.45$ ($n = 71$), $r_{95-96} = 0.31$ ($n = 74$)]. Aunque los parámetros en sí no se afectan por estas correlaciones, los intervalos de confianza pueden ser inexactos (Sullivan y Reynolds, 1976; West, 1995). Sin embargo, aquí el objetivo principal es estimar los parámetros de la regresión, mientras que los intervalos de confianza son de menor importancia.
3. Llevando a cabo las dos regresiones para las ecuaciones [4] y [5] independientemente, se supone que sus residuos no están correlacionados (Borders, 1989). Además, para obtener una estimación consistente de la regresión (es decir, aumentando el número de datos n mejora la estimación) los residuos no deben estar correlacionados con sus variables X correspondientes, aquí D y $Edad$, respectivamente (Maddala 1992, capítulo 9.1). Sin embargo, por ejemplo en el caso de *Pouteria sapota*, ningún coeficiente de correlación en los tres casos era estadísticamente significativo [$r_{u4-n5} = 0.02$ ($n = 221$), $r_{u4-D} = -0.02$ ($n = 269$), $r_{u5-Age} = 0.04$ ($n = 225$)].
4. Finalmente, los tres coeficientes de regresión del modelo BRC pueden estar correlacionados uno con el otro en las ecuaciones [4] y [5]. El programa SYSTAT calcula automáticamente estas correlaciones; el resultado para *Pouteria sapota* fue $r_{DMax-a} = -0.44$, $r_{DMax-b} = 0.70$, $r_{a-b} = 0.11$ ($n = 269$) and $r_{FMax-c} = -0.72$, $r_{FMax-d} = -0.69$, $r_{c-d} = 0.99$ ($n = 225$). Los parámetros altamente correlacionados pueden resultar en intervalos de confianza que son incorrectos, cuando éstos se construyen bajo el supuesto de que cada parámetro individualmente presenta una distribución normal independientemente de los otros dos parámetros. Aquí, para *Pouteria sapota* los intervalos de confianza para c y d , (calculados bajo este supuesto en la tabla 1) resultan ser negativos, una imposibilidad en el modelo BRC. Truncando c y d a cero causa situaciones extremas que son de interés, pero que no reflejan intervalos de confianza de 95%: Con $c = 0$, no hay ninguna cosecha de frutos, y con $d = 0$, desde el año 1 hasta el último año la cosecha de frutos es la máxima cosecha posible (F_{Max}).

1.2. Proyectando la sobrevivencia de los árboles

Cambiando a la sobrevivencia (S), el modelo más simple que se ha empleado es la función negativamente exponencial (Lieberman *et al.*, 1985; Condit *et al.*, 1995):

$$S = e^{-m \text{ Edad}} \quad [6]$$

En este modelo, se supone que la tasa anual de mortalidad esperada (m) de una cohorte es constante a lo largo de la vida de los árboles. Aunque este modelo no funciona bien para edades muy tempranas o muy ancianas (cuando la mortalidad es alta), es útil para el tipo de datos empleado aquí. Se tiene que suponer que con $i = 1$ año, las plántulas están ya bien establecidas en el campo, y así ya hayan pasado por la fase inicial cuando la mortalidad es relativamente alta. También se puede obtener una baja tasa de mortalidad a edad temprana al aplicar medidas de manejo (chapeo, riego, etc.). Las edades ancianas de los árboles no son de preocupación, ya que el factor de descuento ($e^{-r \cdot t}$) resulta en muy bajas o ninguna contribución de los árboles viejos al valor presente neto.

El parámetro crítico que se tiene que ajustar en la ecuación [6] para un sitio y una especie específica es la tasa anual de mortalidad (m). Durante los tres años del estudio, en el caso de *Pouteria sapota*, 6 de 100 individuos de árboles con diferentes diámetros (es decir, edades) murieron naturalmente en tiempos diferentes (4 en el primer año, 0 en el segundo, y 2 en el tercero). Por tanto, se estimó m en 0.02 para una cohorte sembrada [$\ln[1 + (4/100 + 0/96 + 2/96) / 3]$]. El resultado de mortalidad fue similar para *Diospyros digyna* y *Cedrela odorata*, así que en todos los casos se usó $m = 0.02$. En general es difícil obtener datos exactos de mortalidad para árboles adultos en el caso de las especies de la selva, porque se encuentran en baja densidad y se requieren extensas áreas para analizar varias poblaciones de por lo menos 100 árboles cada una. Sin embargo, la estimación de 2% para la tasa anual

de mortalidad aquí es consistente con resultados de otros estudios sobre árboles de la selva, llevado a cabo con poblaciones arbóreas más grandes y con condiciones variables del sitio y del clima (Lieberman *et al.*, 1985, Condit *et al.*, 1995).

1.3. Análisis de sensibilidad

Para analizar cuál parámetro es crítico en determinar el valor presente neto, se proporciona un análisis de sensibilidad en las tablas 1-3 para cada parámetro del modelo y cada especie. La primera columna ("parámetro") muestra los 11 parámetros de entrada, y la segunda columna ("explicación") una breve explicación de cómo interpretarlos. La tercera columna ("valor original del parámetro") proporciona los valores originales de los parámetros de entrada, resultando en conjunto en un valor presente neto de MxP\$51.40 para *Pouteria sapota*, MxP\$-55.44 para *Diospyros digyna*, y MxP\$-25.48 para *Cedrela odorata*.

En el caso de *Pouteria sapota*, la curva promedio de crecimiento de la cosecha anual de frutos con el modelo BRC es 0.00 kg en los primeros años, llega a 0.01 kg a una edad de 25 años, aumenta a 60 kg con 83 años, y sube ligeramente varias décadas más. Para *Diospyros digyna*, la forma de la curva de cosecha se asemeja más a una recta, por lo que hay que ver donde empieza en realidad la primera cosecha. Los árboles más pequeños con cosecha tendrían 40 años, y esta cosecha sería de 1.85 kg en promedio. Por tanto, para el análisis de sensibilidad, se usó siempre como primera edad de cosecha la edad en que se alcanzaron 1.85 kg. Para *Cedrela odorata*, la edad de la tala se calculó con la fórmula $i^* = \ln[c d / (r + m) + 1] / c$, como se explicó en la sección 1.1 en conjunto con la ecuación [5b].

Después, en la columna 4 ("valor cambiado del parámetro") se escogieron límites superiores e inferiores. Cuando se contó con datos estadísticos, se calcularon límites correspondientes a intervalos de confianza de 95%, basados en una distribución normal (columna 5: intervalo de confianza). En dos casos (para c y d), el límite de confianza inferior era menor que cero, lo que no es posible en el modelo BRC, por lo que se truncaron a cero (véase el punto 4 de la sección 1.1). Para parámetros sin errores estándares, los

intervalos se escogieron considerando cuáles valores podrían presentarse en la realidad.

Para cada parámetro superior e inferior, se llevó a cabo el cálculo completo para obtener el valor presente neto, manteniendo todos los demás parámetros en su valor original. En el caso de a y b (para *Pouteria sapota* también D_{Max}), las edades superiores e inferiores se recalcularon para los datos de cosecha de fruto o madera, respectivamente (es decir, un total de 4 posibles edades para cada árbol; 6 para *P. sapota*). Subsecuentemente, la segunda regresión no-lineal con la ecuación [5a] se llevó a cabo para cada uno de los 4 (6) casos, y se calculó el nuevo valor presente neto con los nuevos parámetros de c y d combinados (los nuevos c y d sin embargo no se reportan en las tablas 1-3). Para *P. sapota* también se determinó el nuevo F_{Max} , mientras que para *Diospyros digyna* se había fijado F_{Max} y para *Cedrela odorata* V_{Max} .

La sexta columna de las tablas 1-3 (“% cambio en el parámetro”) calcula el porcentaje en que se desvió el valor del parámetro de su valor original. La séptima columna (“nuevo VPN”) proporciona el nuevo valor presente neto, y la octava columna (“% cambio del VPN”) el porcentaje en que cambió el valor presente neto, relativamente al valor presente neto original (MxP\$51.40 por plántula en el caso de *Pouteria sapota*). Finalmente, la última columna (“Relación de % cambios”) divide el “% cambio del VPN” entre el “% cambio en el parámetro”. La relación indica la sensibilidad del valor presente neto respecto al parámetro, es decir, el cambio del porcentaje promedio del valor presente neto que resulta de un cambio de 1% del parámetro. En términos económicos, esta relación se llama la elasticidad del valor presente neto al parámetro.

Como ejemplo, toma el parámetro a en la tabla 1 para *Pouteria sapota*. En la regresión no-lineal con la ecuación (4), el parámetro a se calculó en 0.0026237 (“valor original del parámetro”). Los límites de confianza de 95% de a , suponiendo aquí una distribución normal, son 0.0023363 y 0.0029111. La columna “% cambio en el parámetro” indica que 0.0023363 es 11% menos que el valor original de 0.0026237 $[(0.0026237 - 0.0023363)(100) / 0.0026237]$. Usando $a = 0.0023363$ en lugar de 0.0026237, con todos los demás parámetros quedando a su valor original, el valor presente neto resulta ser MxP\$25.19 (“nuevo VPN”). La columna “% cambio del VPN” muestra

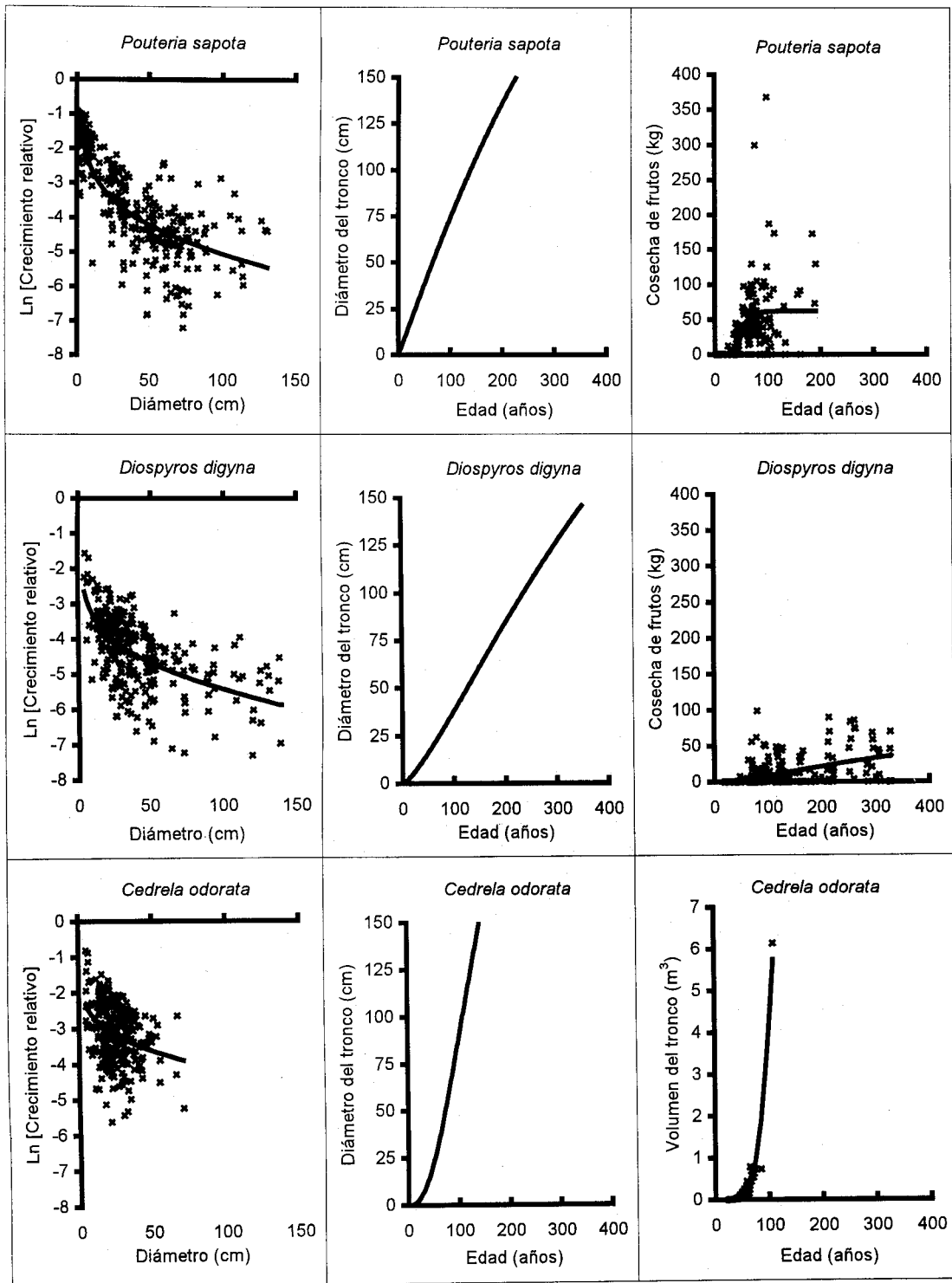


Figura 1. A la izquierda se determinaron los parámetros a, b y DMax de la ecuación [4] por regresión no-lineal para las tres especies. En medio se demuestra la curva de crecimiento promedio del diámetro, resultando con la ecuación [2] y los parámetros determinados a la izquierda. Después de calcular la edad de cada árbol por medio de su diámetro y la ecuación (3), a la derecha se combinan las edades con los datos de la cosecha anual de frutos o del volumen del tronco.

Tabla 1.

Análisis de sensibilidad para la producción de frutos de Pouteria sapota (Mamey)

Parámetro	Explicación	Valor original del parámetro	Valor cambiado del parámetro	Intervalo de confianza	% cambio en el parámetro	Nuevo VPN en MxP\$	% cambio del VPN	Relación de % cambios
<i>a</i>								
[1/año]	coeficiente de la tasa de crecimiento para la determinación de la edad	0.0026237	0.0023363 0.0029111	inferior 95% superior 95%	-11.0 +11.0	25.19 81.61	-51.0 +58.8	4.7 5.4
<i>b</i>								
	coeficiente de la forma de la curva de crecimiento para la determinación de la edad	1.0590	0.9479 1.1701	inferior 95% superior 95%	-10.5 +10.5	143.13 7.21	+178.5 -86.0	-17.0 -8.2
<i>D_{max}</i>								
[cm]	diámetro promedio máximo	351.19	282.47 419.90	inferior 95% superior 95%	-19.6 +19.6	7.63 108.01	-85.2 +110.1	4.4 5.6
<i>c</i>								
[1/año]	coeficiente de la tasa de crecimiento de la cosecha anual de frutos	0.093059	0 0.190115	truncado superior 95%	-100.0 +104.3	-30.00 410.12	-158.4 +697.9	1.6 6.7
<i>d</i>								
	coeficiente de la forma de la curva de crecimiento de la cosecha anual de frutos	87.318	0 488.586	truncado superior 95%	-100.0 +459.5	2453.81 -7.58	+4673.9 -114.7	-46.7 -0.2
<i>F_{max}</i>								
[kg]	cosecha anual promedio máxima de frutos	62.102	49.093 75.112	inferior 95% superior 95%	-20.9 +20.9	34.34 61.05	-33.2 +18.8	1.6 0.9
<i>m</i>								
	tasa anual de mortalidad	0.02	0.01 0.04	no	-50.0 +100.0	120.34 -4.10	+134.1 -108.0	-2.7 -1.1
<i>p</i>								
[Mex\$/kg]	precio por unidad	4.52	3.83 5.21	inferior 95% superior 95%	-15.3.0 +15.3.0	32.03 70.76	-37.7 +37.7	2.5 2.5
<i>C</i>								
[Mex\$/kg]	costo por unidad	1.62	0.62 2.62	no	-61.7 +61.7	79.46 23.33	+54.6 -54.6	-0.9 -0.9
<i>r</i>								
	tasa anual de descuento	0.05	0.03 0.07	no	-40.0 +40.0	258.22 -4.10	+402.4 -108.0	-10.1 -2.7
<i>K</i> [Mex\$/árbol]	valor presente por árbol de todos los costos de manejo	30.00	10.00 50.00	no	-66.7 +66.7	71.40 31.40	+38.9 -38.9	-0.6 -0.6

VPN = valor presente neto, calculado con la ecuación (1a); US\$1 = MxP\$9-10 en mayo 1999; % cambio del VPN = 100% = MxP\$1.40, el resultado con los parámetros originales; "relación de % cambios" = elasticidad del VPN respecto al parámetro = (% cambio del VPN) / (% cambio en el parámetro); la primera cosecha se da según el modelo BRC con la ecuación (5a), que en los primeros años resulta en $F_1 = 0.00$ kg/año.

Tabla 2.
Análisis de sensibilidad para la producción de frutos de Diospyros digna (Zapote negro)

Parámetro	Explicación	Valor original del parámetro	Valor cambiado del parámetro	Intervalo de confianza	% cambio en el parámetro	Nuevo VP/N en MxP\$	% cambio del VP/N	Relación de % cambios
<i>a</i> [1/año]	coeficiente de la tasa de crecimiento para la determinación de la edad de la curva de crecimiento para la determinación de la edad	0.0020699	0.0019825 0.0021574	inferior 95% superior 95%	-4.2 +4.2	-36.08 -54.93	-1.2 +0.9	0.3 0.2
<i>b</i>	coeficiente de la forma de la curva de crecimiento para la determinación de la edad	1.3256	1.2082 1.4430	inferior 95% superior 95%	-8.9 +8.9	-50.83 -57.83	+8.3 -4.3	-0.9 -0.5
<i>D_{max}</i> [cm]	diámetro promedio máximo	351.19	no					
<i>c</i> [1/año]	coeficiente de la tasa de crecimiento de la cosecha anual de frutos de la curva de crecimiento de la cosecha anual de frutos	0.004163	0.002388 0.005937	inferior 95% superior 95%	-42.6 +42.6	-59.54 -47.32	-7.4 +14.6	0.2 0.3
<i>d</i>	coeficiente de la forma de la curva de crecimiento de la cosecha anual de frutos	1.873	1.090 2.656	inferior 95% superior 95%	-41.8 +41.8	-4.32 -59.65	+92.2 -7.6	-2.2 -0.2
<i>F_{max}</i> [kg]	cosecha anual promedio máxima de frutos	62.102	no					
<i>m</i>	tasa anual de mortalidad	0.02	0.01 0.04	no	-50.0 +100.0	-51.47 -58.56	+7.2 -5.6	-0.1 -0.1
<i>P</i> [MxP\$/kg]	precio por unidad	3.75	1.75 5.75	inferior 95% superior 95%	-53.3 +53.3	-61.11 -49.77	-10.2 +10.2	0.2 0.2
<i>C</i> [MxP\$/kg]	costo por unidad	2.14	1.14 3.14	no	-46.7 +46.7	-52.60 -58.27	+5.1 -5.1	-0.1 -0.1
<i>r</i>	tasa anual de descuento	0.05	0.03 0.07	no	-40.0 +40.0	-43.21 -58.56	+22.1 -5.6	-0.6 -0.1
<i>K</i> [dos árboles]	Valor presente por árbol de todos los costos de manejo	60.00 /(2 árboles)	20.00 100.00	no	-66.7 +66.7	-15.44 -95.44	+72.2 -72.2	-1.1 -1.1

VP/N = valor presente neto, calculado con la ecuación (1a); US\$1 = MxP\$9.10 en mayo 1999; “% cambio del VP/N”: 100% = MxP\$-55.44, el resultado con los parámetros originales; “relación de % cambios” = elasticidad al parámetro = (% cambio del VP/N) / (% cambio en el parámetro); la primera cosecha se supone cuando la curva de crecimiento llega a 1.85 kg /año, ya que el modelo no resulta en $F_t = 0.00$ kg/año en los primeros años.

Tabla 3.
Análisis de sensibilidad para la producción de madera de Cedrela odorata (Cedro)

Parámetro	Explicación	Valor original del parámetro	Valor cambiado del parámetro	Intervalo de confianza	% cambio en el parámetro	Nuevo VPV MxP\$ [año]	% cambio del VPV	Relación de % cambios
a [1/año]	coeficiente de la tasa de crecimiento para la determinación de la edad	0.0094331	0.0062611 0.0126050	inferior 95% superior 95%	-33.6 +33.6	-29.66 [100.0] -9.69 [67.9]	-16.4 +62.0	0.5 1.8
b	coeficiente de la forma de la curva de crecimiento para la determinación de la edad	2.7918	1.1603 4.4233	inferior 95% superior 95%	-58.4 +58.4	212.97 [36.3] -29.66 [112.5]	+935.8 -16.4	-16.0 -0.3
D_{ave} [cm]	diámetro promedio máximo	351.19	no					
c	coeficiente de la tasa de crecimiento de la cosecha anual de frutos	0.024330	0.022233 0.026427	inferior 95% superior 95%	-8.6 +8.6	-27.31 [84.5] -22.87 [76.7]	-7.2 +10.2	0.8 1.2
d	coeficiente de la forma de la curva de crecimiento del volumen del tronco	17.451	13.870 21.033	inferior 95% superior 95%	-20.5 +20.5	-21.70 [72.4] -27.26 [87.0]	+14.8 -7.0	-0.7 -0.3
V_{trc} [m ³]	volumen promedio máximo del tronco	20.000	no					
M	tasa anual de mortalidad	0.02	0.01 0.04	no no	-50.0 +100.0	-19.62 [85.9] -29.01 [71.7]	+23.0 -13.9	-0.5 -0.1
P [MxP\$/m ³]	precio por unidad	1240.00	740.00 1740.00	no no	-40.3 +40.3	-27.99 [80.4] -22.96 [80.4]	-9.9 +9.9	0.2 0.2
C [MxP\$/m ³]	costo por unidad	340.00	90.00 590.00	no no	-73.5 +73.5	-24.22 [80.4] -26.72 [80.4]	+4.9 -4.9	-0.1 -0.1
r	tasa anual de descuento	0.05	0.03 0.07	no no	-40.0 +40.0	-4.71 [92.5] -29.01 [71.7]	+81.5 -13.9	-2.0 -0.3
K [MxP\$/árbol]	valor presente por árbol de todos los costos de manejo	30.00	10.00 50.00	no no	-66.7 +66.7	-5.48 [80.4] -45.48 [80.4]	+78.5 -78.5	-1.2 -1.2

VPV = valor presente neto, calculado con la ecuación (1b); US\$1 = MxP\$9-10 en mayo 1999, “% cambio del VPV”: 100% = MxP\$-25.48 al talar después de 80.4 años, el resultado con los parámetros originales; “relación de % cambios” = elasticidad del VPV respecto al parámetro = (% cambio del VPV) / (% cambio en el parámetro).

que MxP\$25.19 es 51.0% menor que el valor presente original de MxP\$51.40 $[(51.40-25.19)(100)/51.40]$. Finalmente, la última columna "relación de % cambios" muestra que la elasticidad del valor presente neto respecto al parámetro a es 4.7. Cada decremento de 1% del valor de a reduce al valor presente neto en promedio un 4.7% (observe que los cálculos se llevaron a cabo con más de una décima, así que 4.7 en lugar de $-51.0\% / -11.0\% = 4.6$ resultó).

Se podría criticar que es necesario considerar cambios en varios parámetros al mismo tiempo. Sin embargo, dado que los factores que influyen los parámetros son múltiples e independientes, se espera que cuando un parámetro resulta estar por encima de su valor promedio, entonces es probable que otro parámetro quede por debajo de su valor promedio. De esta manera, el efecto sobre el valor presente neto de que varios parámetros varían estocásticamente al mismo tiempo, se amortiguaría hasta cierto grado. De todos modos, la determinación de la distribución estadística y los límites de confianza para el valor presente neto es un tema interesante de investigación para el futuro.

2. DISCUSIÓN

El valor presente neto esperado por plántula sembrada se calculó en MxP\$51.40 para producir los frutos de *Pouteria sapota* (Mamey), MxP\$-55.44 para producir los frutos de *Diospyros digyna* (Zapote negro) y MxP\$-25.48 para crecer la madera de *Cedrela odorata* (Cedro) en Los Tuxtlas. El valor presente neto positivo para *P. sapota* indica que se puede esperar que la siembra de plántulas de esta especie sea una inversión económicamente rentable desde el punto de vista comercial. Este resultado confirma la conclusión de estudios anteriores que los productos forestales no-maderables, como los frutos comestibles, pueden ser recursos valiosos de la selva tropical (Peters *et al.*; 1989, Schulze *et al.*; 1994). Sin embargo, el resultado para las otras dos especies demuestra que hay que tener cuidado en la selección de la especie, el sitio y su manejo.

El valor de un pastizal de ganado (es decir, con vacas) en la región de Los Tuxtlas es de MxP\$2000 a MxP\$10 000 por hectárea, y esto también es aproximadamente su valor presente neto (Ricker y Daly, 1998: 221-223). Para que un sistema de enriquecimiento sea competitivo con este valor, se

tendrían que sembrar entre 40 y 200 plántulas de *Pouteria sapota* por hectárea ($2000 / 51.40 = 40$; $10\ 000 / 51.40 = 195$). Esta comparación es válida para dos situaciones diferentes. Primero, un propietario de terreno puede poseer selva, la cual se podría enriquecer o alternatively convertir en pastizal. Para poder concluir que 40-200 plántulas de *P. sapota* logran que el enriquecimiento sea competitivo, uno tendría que suponer que los costos de la conversión de selva a pastizal (mano de obra, comprar semillas de pasto, alambre, y una vaca materna) y los beneficios (vender o usar madera existente) sean iguales. Segundo, un propietario de terreno puede poseer un pastizal que puede mantener como tal o alternatively reforestar. En este caso, las vacas y la cerca existentes se podrían vender y así proporcionar un beneficio adicional, causando así que aún menos plántulas de *P. sapota* por hectárea podrían hacer la reforestación competitiva.

Sembrar 40-200 plántulas de *Pouteria sapota* por hectárea es posible dentro de un sistema de manejo forestal seminatural que conserva mucha biodiversidad. Mientras la producción comercial de frutos puede requerir la selección de árboles, injertación y poda, y el desarrollo de una copa amplia en lugar de un tronco alto, estos requerimientos deberían de todos modos permitir la implementación exitosa de un sistema de enriquecimiento seminatural. Hay una variedad de posibilidades, las extremas siendo la extracción de frutos silvestres de la selva natural por un lado, y el establecimiento de un monocultivo intensivo por el otro. Observe que los cálculos incluyen una tasa anual de mortalidad esperada de 2%, así que cada año van a quedar menos árboles de los sembrados, es decir, cada año el bosque se vuelve más natural (a la edad de 30 años, se espera que 55% de los árboles sembrados permanezcan todavía).

Las tablas 1-3 proporcionaron el análisis de sensibilidad. Para *Pouteria sapota* en la tabla 1, la columna “nuevo VPN” demuestra que uno puede confiar en la viabilidad económica de la siembra de enriquecimiento en Los Tuxtlas con esta especie: Solamente 4 de los 22 límites en la columna “valor cambiado del parámetro” contienen un valor presente negativo en la columna “nuevo VPN”. También vale la pena mencionar otro estudio (Ricker et al. 1999b), en el cual el valor presente neto con otros modelos para *Pouteria sapota* resultó en MxP\$102.79, el doble de la cantidad obtenida en este análisis.

La penúltima columna, de las tablas 1-3 “% cambio del *VPN*” indica el nivel de incertidumbre. Se puede ver cuáles parámetros se deberían estimar con mayor exactitud para obtener una estimación más certera del valor presente neto (es decir, con menos varianza). Para comparar los parámetros en la penúltima columna, se puede analizar la diferencia entre los valores superiores e inferiores $[58.8 - (-51.0) = 109.0$ para *a* en la tabla 1]. Ordenando las diferencias en forma descendiente, la secuencia resultante empieza con el parámetro para la forma de la curva de crecimiento de la cosecha anual de frutos (*d*) teniendo la diferencia más alta, seguido por el parámetro para la tasa del crecimiento de la curva de cosecha anual de frutos (*c*), la tasa anual de descuento (*r*), el parámetro para la forma de la curva de crecimiento para la determinación de la edad (*b*), y la tasa anual de mortalidad (*m*). Observe que los límites de confianza son inexactos para los parámetros *b* y *d*, como se anotó en el punto 4 de la sección 1.1.

La figura 1 a la derecha muestra claramente para *Pouteria sapota* y *Diospyros digyna* el alto nivel de incertidumbre acerca del incremento de la cosecha anual de frutos con la edad, y así sobre los parámetros *c* y *d*. En el futuro se debería investigar más esta variación para encontrar un manejo que asegure una curva de crecimiento de la cosecha de frutos que se incremente rápidamente. En los tres años del estudio fueron notorias las altas fluctuaciones de la cosecha anual por árbol. Este fenómeno se puede observar también en las correlaciones de las cosechas por árbol entre años. Como se presentó en el punto 2 de la sección 1.1, éstas resultan ser bajas (aunque estadísticamente significativas), variando para *Pouteria sapota* entre 0.31 y 0.50. Estas fluctuaciones entre años hacen difícil la comparación de sitios con el objetivo de encontrar el lugar óptimo, porque un sólo árbol en un sitio puede producir una gran cosecha en un año y una pequeña en otro año, escondiendo de esta manera el efecto del lugar.

La última columna, de las tablas 1-3 “relación de % cambios”, indica la sensibilidad o elasticidad del valor presente neto respecto a cada parámetro. Para ordenar los parámetros según alta a baja sensibilidad del valor presente neto a ellos, uno puede calcular promedios de los dos valores que corresponden a los límites inferiores y superiores $[(4.7 + 5.4) / 2 = 5.0$ para *a* en la tabla 1]. Para *Pouteria sapota* en la tabla 1, la secuencia resultante empieza con el parámetro para la forma de la curva de crecimiento de la cosecha anual de frutos (*d*) con el promedio más grande de los valores

de sensibilidad, seguido por el parámetro para la forma de la curva de crecimiento para la determinación de la edad (b), la tasa anual de descuento (r), el parámetro para la tasa de crecimiento para la determinación de la edad (a), y el diámetro promedio máximo (D_{Max}). Estos parámetros deberían recibir atención especial por parte del manejo forestal, porque un pequeño cambio en el parámetro puede tener un efecto grande sobre el valor presente neto. Observe que el parámetro a también influye mucho la edad de la primera producción en el modelo.

Es interesante destacar que todos los parámetros, a los cuales el valor presente neto es altamente sensible, son parámetros biológicos, excepto la tasa anual de descuento que es una variable macroeconómica y no-manejable por el propietario. El reto de maximizar el valor comercial de la plantación de enriquecimiento resulta ser aquí primordialmente un reto biológico. Aunque asegurar la comercialización es importante, los precios y costos en este momento son de preocupación secundaria. La prioridad debería ser la selección de variedades frutales de alta calidad que crezcan rápidamente, así como la búsqueda del sitio adecuado y el posible mejoramiento del crecimiento por manejo (incluyendo la fertilización).

Para *Diospyros digyna*, la tabla 2 demuestra que el esquema de plantaciones de enriquecimiento como analizado aquí, no resulta ser viable desde el punto de vista comercial, ya que el valor presente neto resulta negativo (MxP\$-55.44). Además, en la columna "nuevo VPN", ningún valor presente neto resulta positivo, indicando que la variación encontrada no incluye la posibilidad de una situación favorable. Esta especie crece demasiado lenta, produce menos cosecha anual de frutos en comparación con *Pouteria sapota*, empieza a producir tarde (40 años), y tiene altos costos de manejo porque hay que sembrar más plántulas ya que algunas resultarán ser machos. Por tanto, para esta especie se debería experimentar con injertación y fertilización para asegurar una producción temprana en todos los árboles establecidos.

La especie maderable *Cedrela odorata* en la tabla 3 también tiene un valor presente neto negativo de MxP\$-25.48, a una edad óptima de tala de 80.4 años. Sin embargo, en la columna "nuevo VPN" hay un valor presente neto positivo, en el caso de una forma de la curva de crecimiento más favorable: Con $b = 1.1603$ (tabla 3), la segunda regresión resulta en $c = 0.032894$ y $d = 4.887$ (no mostrado en la tabla 3), lo que llega al valor

presente neto de MxP\$212.97 a una edad óptima mucho más joven de 36.3 años (tabla 3). Esto indica que para *C. odorata* hay incertidumbre acerca del resultado comercial que se puede obtener. En otro análisis, con otros modelos y un crecimiento más favorable para Los Tuxtlas (Ricker *et al.*, 1999b), resultó un valor presente neto positivo y relativamente alto, de MxP\$85.73 a una edad óptima de 48 años. Para esta especie se tendría que refinar la proyección de crecimiento para la estimación de su valor. En el campo, resulta ser importante buscar sitios favorables para su siembra.

En 1998, el gobierno federal de México declaró la región geográfica de Los Tuxtlas como reserva de la biosfera. Esto ha causado un nuevo interés en promover el manejo forestal y la reforestación, y a desmotivar la expansión de la ganadería y la agricultura. Aunque dos de los tres especies arbóreas en el presente análisis resultaron en un valor presente neto negativo, esto no debería desmotivar el experimentar con diferentes especies. Existe un número de especies arbóreas que deberían recibir atención en el manejo forestal (Ibarra-Manríquez *et al* 1997). Algunas especies podrían sembrarse para un mercado local o hasta la subsistencia, reduciendo así costos de transporte y comercialización. Aparte de *Pouteria sapota*, *Cedrela odorata* y otras especies más podrían resultar con un valor presente neto positivo con un manejo adecuado y en sitios adecuados. Una especie arbórea nativa que es especialmente promisoría es *Pimenta dioica* (L.) Merr., cuyos frutos se conocen bien en el mercado nacional como "pimienta gorda" y en el internacional como "allspice".

La combinación de múltiples especies arbóreas para el mercado local, nacional y posiblemente internacional aseguraría un ingreso al productor aun y cuando exista incertidumbre acerca de los parámetros biológicos y económicos: Mientras la utilidad neta en un año dada para una sola especie puede resultar baja (por una cosecha pequeña o un precio bajo), es poco probable que resulte baja para todas las especies al mismo tiempo. Esta diversificación comercial enriquece la región no solo biológicamente, sino también culturalmente, en comparación con la especialización exclusiva en la ganadería. Además, el enriquecimiento propuesto requiere principalmente de mano de obra, casi sin necesidad de inversión financiera. Por tanto, resulta ser factible para los campesinos pobres que poseen tierra pero no poseen capita monetario.

Desafortunadamente es difícil convencer a los campesinos locales de cambiar el uso actual de sus tierras. Hay que recordar que mucha de ellos no saben leer ni escribir, y generalmente quieren seguir las mismas actividades de su comunidad. Los campesinos pobres no son emprendedores. Hay que destacar que este sistema de enriquecimiento no propone sustituir repentinamente todas las otras actividades comerciales que los propietario de terrenos realizan. Más bien, se recomienda el enriquecimiento en islas de selva que todavía quedan, pero que están amenazadas por la expansión de los pastizales de ganado. Una vez que los campesinos empiezan a manejar estas islas de selva con un impacto moderado, entonces van a considerarlas valiosas y van a estar interesados en conservarlas. Proyectos piloto, en combinación con servicios de extensión y apoyo para la comercialización, deberían ser capaces de introducir y promover este tipo de manejo forestal.

También hay que destacar que el aprovechamiento de árboles existentes con productos no-maderables, disminuye considerablemente el tiempo para esperar la primera cosecha, y aumenta así fuertemente el valor comercial: Se deberían conservar y no talar o quemar los árboles existentes con productos no-maderables. Finalmente es importante notar que la inversión en el sector forestal es necesariamente a largo plazo (décadas). Por tanto, una condición básica consiste en aclarar y proteger la propiedad de los terrenos, un problema que no se ha resuelto en muchas partes de Los Tuxtlas y las regiones forestales tropicales en general.

CONCLUSIONES

La selva tropical sigue siendo destruida, porque los propietarios de los terrenos piensan que pueden ganar más dinero al convertir la selva en pastizal de ganado. Un estudio de caso en la selva de los Tuxtlas (Veracruz) reveló que el enriquecimiento con árboles de la especie frutal *Pouteria sapota* (Mamey) en la selva de los Tuxtlas tiene un valor comercial positivo. Dependiendo del valor del terreno, al sembrar entre 40 y 200 plántulas por hectárea dentro de la selva natural, se tiene un valor presente neto esperado que es superior al valor de una hectárea de pastizal de ganado existente. Por otro lado, el valor presente neto esperado para sembrar árboles de la especie frutal *Diospyros digna* (Zapote negro) resultó negativo; para esta especie se tendría que lograr un crecimiento más rápido. Finalmente, para al

producción de madera de *Cedrela odorata* (cedro), un valor presente positivo es factible solamente bajo condiciones favorables que permitan un rápido crecimiento.

Además de presentar este estudio de caso, el capítulo proporcionó un método general de cómo poder hacer las proyecciones de crecimiento y el análisis de costo-beneficio sobre el manejo forestal en la selva tropical.

RECONOCIMIENTOS

Agradezco a Roberto Escalante y Fidel Aroche la invitación a contribuir con el presente trabajo. La investigación se basa en datos colectados y modelos desarrollados anteriormente (Ricker, 1998; Ricker *et al.*, 1999a, 1999b). Quiero agradecer nuevamente el apoyo financiero del Programa Universitario de Alimentos, así como el apoyo de Héctor M. Hernández M., Guillermo Ángeles y en el campo de Miguel A. Sinaca C. Finalmente, doy las gracias a mi esposa Lorena Chong M. por la revisión del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- Berck, P., "The economics of timber: A renewable resource in the long run", *The Bell Journal of Economics*, 10: 447-462, 1979.
- Borders, B. E., "Systems of equations in forest stand modeling", *Forest Science*, 35: 548-556, 1989.
- Cairns, M. A., R. Dirzo, y F. Zadroga, "Forests of Mexico-A diminishing resource?", *Journal of Forestry*, Julio 21-24, 1995.
- Condit, R., S. P. Hubbell, y R. B. Foster, "Mortality rates of 205 neotropical tree and shrub species and the impact of a severe drought", *Ecological Monographs*, 65: 419-439, 1995.
- Dirzo, R., y M. C. García, "Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a neotropical area in Southeastern Mexico," *Conservation Biology*, 6: 84-90, 1991.
- Hoyos F., J., *Frutales en Venezuela*. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle (Monografía 36), Caracas, Venezuela. 375 pp., 1989.
- 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 of their market potential". *Economic Botany*, 51: 362-376, 1997.
- Jacoby, G. C. "Overview of tree-ring analysis in tropical regions", *IAWA Bulletin*, n.s. 10: 99-108, 1989.
- Lieberman, D., M. Lieberman, R. Peralta, y G. S. Hartshorn, "Mortality patterns and stand turnover rates in a wet tropical forest in Costa Rica", *Journal of Ecology*, 73: 915-924, 1985.
- Maddala, G. S., *Introduction to Econometrics*, Macmillan Publishing Company, Nueva York, EUA. 631 pp., 1992.
- Morton, J. F., *Fruits of Warm Climates*, J. F. Morton, 20534 SW 92 Ct., Miami, FL 33189, EUA, 505 pp., 1987.
- Pacheco, L., *Flora de Veracruz 16: Ebenaceae*, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz, MxPico, 21 pp., 1981.

- Pennington, T. D. *Flora Neotropica Monograph 52: Sapotaceae*, The New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York, EUA, 770 pp., 1990.
- Pennington, T. D. B. T. Styles, y D. A. H. Taylor, *Flora Neotropica Monograph 28: Meliaceae*, The New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York, EUA, 470 pp., 1981.
- Peters, C. M., A. H. Gentry, y R. O. Mendelsohn, "Valuation of an Amazonian rainforest," *Nature*, 339: 655-656, 1989.
- Pienaar, L. V., y K. J. Turnbull, "The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands", *Forest Science*, 19: 2-22, 1973.
- 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, and Graduate School, New Haven, Connecticut, EUA, 262 pp., 1998.
- Ricker, M., y D. C. Daly, *Botánica económica en bosques tropicales: principios y métodos para su estudio y aprovechamiento*, Editorial Diana, MxPico, D. F., MxPico, 293 pp; 1998.
- Ricker, M., R. O. Mendelsohn, D. C. Daly, y G. Ángeles, "Enriching the rainforest with native fruit trees: an ecological and economic analysis in Los Tuxtlas (Veracruz, Mexico)", *Ecological Economics*, 31: 439-448, 1999a.
- Ricker, M., R. Bye, G. Ibarra-Manríquez, M. Martínez-Ramos, C. Siebe, J. L. Palacio P., R. Valenzuela R., y G. Ángeles, "Diversidad y manejo de los bosques mexicanos: aspectos microeconómicos", *Investigación Económica*, LIX: 77-109, 1999b.
- Ricker, M., C. Siebe, S. Sánchez B., K. Shimada, B. C. Larson, M. Martínez-Ramos, y F. Montagnini, "Optimising seedling management: *Pouteria sapota*, *Diospyros digyna*, and *Cedrela odorata* in a Mexican rainforest", *Forest Ecology and Management*, en prensa.
- Schulze, P. C., M. Leighton, M., y D. R. Peart, "Enrichment planting in selectively logged rain forest: a combined ecological and economic analysis", *Ecological Applications*, 4: 581-592, 1994.
- Sullivan, A. D., y M. R. Reynolds Jr., "Regression problems from repeated measurements" *Forest Science*, 22: 382-385, 1976.

- Verheij, E. W. M., y R. E. Coronel (editores), *Plant Resources of South-East Asia 2: Edible Fruits and Nuts*, Pudoc, Wageningen, Los Países Bajos, 446 pp., 1991.
- West, P. W., "Application of regression analysis to inventory data with measurements on successive occasions", *Forest Ecology and Management*, 71: 227-234, 1995.
- Zeide, B., "Analysis of growth equations", *Forest Science*, 39: 594-616, 1993.