presentado en
Silvicultura y Desarrollo Sostenible en
America Latina
Junior Internacional
IUFRO 20-24 Sept 1993

Modelos de Crecimiento y Producción en Arboles Tropicales: Datos de Grandes Parcelas Permanentes

by

Richard Condit[1]

Stephen P. Hubbell[1,2]

y

Robin B. Foster[1,3]

[1]Smithsonian Tropical Research Institute, Unit 0948, APO AA 34002-0948, USA, or Apartado 2072, Balboa, República de Panamá

[2]Department of Ecology, Evolution, y Behavior, Princeton University, Princeton, NJ 08544, USA

[3]Department of Botany, Field Museum of Natural History, Chicago, IL

Manejo sostenible de bosques tropicales requieren datos completos sobre la demografía de las especies importantes. Sin esta información, no se puede calcular la cantidad de madera a extraerse, ni el valor total del sistema (Ashton y Panayotou, 1993). Pero en la mayoría de los bosques, no tenemos la información mencionada de una grande parte de las especies. Qué es necesario para garantizar la producción sostenible? Qué sería el valor de un bosque manejado cuidadosamente?

El Centro de Investigaciónes Forestales del Trópico tiene como meta la rápida acumulación de información demográfica sobre muchas especies de árboles tropicales. Establecemos vínculos con otras organizaciones forestales de países tropicales, y trabajamos juntos en el establecimiento de grandes parcelas permanentes en bosques representativos de los tipos del mundo. El método es marcar parcelas de 50 ha en bosques nativos en regiones importantes en varios asuntos de manejo y conservación. El tamaño grande de parcelas en el trópico es necesario para conseguir suficientes muestras de la mayoría de los árboles en el bosque, porque en el trópico, la diversidad es alta y la densidad de cada especie es baja. Se incluyen en los censos todos los árboles con un diámetro mayor que 10 mm, para poder documentar el crecimiento y mortalidad de árboles a través de la mayoría de sus vidas.

Asociados con estos estudios del bosque nativo, desarrollamos estudios de la extracción y el valor de productos maderables o no-maderables del bosque. Por ejemplo, estamos estudiando la producción en tierras deforestadas y degradadas de algunas especies encontradas en la parcela de 50 ha en Panamá, y investigamos la deforestación por pueblecitos cerca de una parcela permanente en Sri Lanka. Ahoramismo, el Centro cuenta con colaboradores en Puerto Rico, Malasia, Tailandia, India, y Sri Lanka (Saw et al., 1991; Sukumar et al., 1992); cada grupo ha establecido una parcela grande en bosque nativo e inicia estudios del valor o manejo

del bosque en una manera apropriada para la situación local. En total, el Centro está analizando datos sobre el rendimiento de casi 2000 especies de árboles.

En el presente, nos enfocamos en estudios silviculturales que hemos iniciado con los datos de la parcela en la Isla de Barro Colorado en Panamá. Mostramos cálculos sobre la demografía de siete especies maderables más valiosas en la parcela, incluyendo cuatro que son entre las especies más productivas en Panamá y otras tres que son conocidas como especies de importancia en otros lugares. Calculamos qué sería la producción de madera a través de toda la vida de cada especie, y una aproximación del rendimiento económico de las especies en un bosque manejado.

MATERIALES Y METODOS

Especies. Cuatro de las especies analizadas son entre las diez más importantes en la producción de madera en Panamá (INRENARE, 1990): Prioria copaifera (familia Leguminosae: Caesalpinoidae, nombre común cativo), Tabebuia rosea (Bignoniaceae, roble), Calophyllum longifolium (Guttiferae, maría), y Hura crepitans (Euphorbiaceae, nuno). Tres otras especies son bien conocidas como árboles maderables en Latinoamérica, pero no son comunes en Panamá: Platymiscium pinnatum (Leguminosae: Papilionidae, quira), Tabebuia guayacan (Bignoniaceae, guayacán), y Cordia alliodora (Boraginaceae, laurel; vea Heuveldop et al., 1985; CATIE, 1986; Nichols y Gonzales, 1991).

Sitio del estudio. Se hizo el estudio en la Isla de Barro Colorado en el centro de Panamá. Más información sobre el clima, la fauna, y la flora de la isla se encuentra en Croat (1978) y Leigh et al. (1982). Se censó completamente la parcela de 50 ha en 1981-1983, 1985, y 1990 (Hubbell y Foster, 1983, 1986a, 1986b, 1990a, 1990b, 1992; Condit et al., 1992a, b; se llama el primero censo, que tardó dos años, el de 1982). Se explican los detalles de la metodología de medir árboles y estimación de crecimiento y mortalidad en Manokaran et al. (1990) y Condit et al. (1993a, b).

Producción de madera. Para calcular el volumen de madera de un árbol el bosque, necesitábamos una regresión entre diámetro (dap) y altura hasta la primera rama, que produce la relación siguenta: ln(altura) = m + n*ln(dap), donde "ln" significa el logaritmo natural, y m y n son parámetros de la regresión (Condit et al., 1994). Se calculó la área basal de un árbol como $\pi(\text{dap})^2/4$, y el volumen como área basal multiplicado por la altura. La relación logarítmica es importante: ln(volumen) = (2+n)ln(dap) + k, donde k es una constante = m + ln(π/4).

Se define el incremento instantáneo con logaritmos:

ii[dap] = {ln(dap_2)-ln(dap_1)}/t, o ii[vol] = {ln(volumen_2)-ln(volumen_1)}/t, donde ii[dap] significa crecimiento instantáneo en dap, ii[vol] el mismo en volumen, los suscritos 1 y 2 significan la primera y segunda medidas del árbol, y t es el tiempo entre medidas. La relación entre ii[dap] y ii[vol] es simple, debido a los logaritmos: ii[vol] = (2+n)*ii[dap]. Típicamente, la constante n es muy cerca de 0.67.

Condit et al. (1993b) describe el método para calcular la relación entre dap y edad de un árbol, basado en estimaciones de crecimiento a corto-plazo. Es un mejoramiento del método de los tiempos de paso, como el que utilizaron Richards (1952), Del Valle A. (1979), Whitmore (1984), Lieberman y Lieberman (1985), Lieberman et al. (1985a), y ter Steege (1990). No repetimos los detalles aquí.

En cada una de las siete especies, calculamos la relación entre dap y edad, la mortalidad, y el incremento instantáneo de volumen en diferentes tamaños. Podremos comparar el crecimiento instantáneo en el bosque con la tasa de mortalidad para calcular la producción de madera en diferentes tamaños, porque la tasa de crecimiento menos la tasa de mortalidad reflejará la producción de madera. También, podremos comparar la producción de madera con la tasa de descuento económico para calcular el valor total de un cohorte de árboles: la producción de madera menos la tasa de descuento da la producción económica del mismo cohorte.

Asumamos una tasa de descuento de 5%, un valor de $US100 por metro cúbico de madera, y calculamos el valor de un cohorte que empieza con 500 árboles.

RESULTADOS

Mortalidad. La tasa de mortalidad era entre 0.3% y 5.0%/año en las siete especies. Cuatro de las especies tenían tasas mayor que 2% en cada período, 1982-1985 y 1985-1990: Calophyllum, Cordia, Platymiscium, y Tabebuia rosea. Prioria en ambos períodos y Hura y Tabebuia guayacan en 1985-1990 tenían tasas menor de 0.5%/año. Las diferencias entre el grupo con alta mortalidad y el de baja mortalidad eran estadísticamente significativas. Condit et al. (1994) dan detalles sobre mortalidad en estas especies.

Relación proyectada entre dap y edad. Había tres tipos diferentes de relaciones entre dap y edad. Cordia tenía una curva en forma de "S", con crecimiento acelerando inicialmente, pero disminuyendo hasta cero en el tamaño de 450 mm dap. Tenía el crecimiento más rapido de todas las siete especies, alcanzando 300 mm dap en 70 años con el promedio de crecimiento, o 30 años con un crecimiento del promedio más una desviación estándar (DE). En Calophyllum, Hura, Prioria, y Tabebuia guayacan, crecimiento aceleró hasta por lo menos 600 mm dap, alcanzando 300 mm dap en 100-140 años con el promedio de crecimiento, o 50-75 años con un crecimiento de promedio+DE. Platymiscium y Tabebuia rosea tenían curvas en forma como el segundo grupo, pero con crecimiento más lento, alcanzando 300 mm dap en 200 años con el promedio de crecimiento, y 90 años con el promedio+DE. Condit et al. (1993b y 1994) ilustraron gráficas de las relaciones entre dap y edad en estas especies maderables y otras especies también.

Incremento instantáneo de volumen. En todas las especies, el incremento de volumen declinó con tamaño. En árboles pequeños, el incremento era máximo, el promedio como 10-16%/año y el promedio+DE como 20-30%/año (gráfica 1 muestra

datos de 1985-1990 en siete especies). Cordia tenía un incremento mucho más alto, 30% promedio y 65% promedio+DE (gráfica 1). En los árboles más grandes, el incremento era 3-8%/año. Los datos de 1982-1985 (no ilustrados) eran parecidos, pero con crecimiento un poco más alto en la mayoría de especies.

El incremento promedio interseca la tasa de mortalidad con descuento en un tamaño entre 40 mm y 200 mm dap en todas las especies en 1985-1990 (gráfica 2). Con el incremento de promedio+DE, las curvas de crecimiento cruzan las de mortalidad con descuento en tamaños muy diferentes en diferentes especies. En Platymiscium y Tabebuia rosea, las de crecimiento más lento, intersecan en el tamaño menos de 200 mm dap, pero en Hura y Prioria, se mantiene el crecimiento alto hasta más de 500 mm dap. Las cuatros especies incluidas en Gráfica 2 ilustran el rango de variación entre las siete especies analizadas.

DISCUSION

Los datos aquí muestran que tipicamente hay un tamaño óptimo de tala en algunos árboles tropicales. Cuando la curva que representa el incremento de volumen resulta más bajo que la tasa de mortalidad con descuento, los árboles no crecen suficientemente rápido para dar rendimiento. Sería necesario talar los árboles en el tamaño donde intersecan las dos curvas. En el bosque, sin manejo, el tamaño promedio de tala era menos de 200 mm dap en todas las especies, pero con crecimiento acelerado -- una desviación estándar (DE) por encima del promedio -- el tamaño era más grande, 500 mm o más en algunas especies (Hura, Prioria). En estas especies, sería rentable crecer algunos árboles más productivos hasta un tamaño bastante grande. En otras especies, Platymiscium pinnatum y Tabebuia rosea, aun con crecimiento de promedio+DE, la producción de madera en árboles mayor que 200 mm dap es tan lenta que no podríamos recomendar estas especies para manejo en bosques naturales.

Pero es importante reconocer que el tamaño óptimo de cosecha es muy variable. Predicciones tienen que venir de una localidad y una especie. Los datos aquí reflejan solamente el bosque de Barro Colorado, y solo son generalizaciones.

Los análisis económicos indican que el valor de un cohorte de árboles en un bosque natural con crecimiento promedio sería bajo. Solamente Cordia alliodora realizó un valor más de $US100 por 500 árboles, y solamente durante uno de los dos censos le alcanzó a este valor. Usamos la cantidad 500 árboles porque refleja aproximadamente la densidad de árboles de tamaño comercial en una hectárea. Un valor de $US100 por hectárea nos parece demasiado bajo para ser rentable.

Pero con crecimiento acelerado -- lo que alcanzaron algunas especies con una desviación estándar por encima del promedio -- realizaron 500 árboles un valor mayor que $US1000. Con sistemas silviculturales bien planeados, un bosque puede producir un buen valor por hectárea. Pero para alcanzar estos crecimientos tan rápidos, sería necesario cambiar mucho el bosque. Hay que abrir bastante el dosel, dejar entrar mucha más luz, y esto sería un cambio fundamental en la estructura del bosque.

Por estas razones, concluimos que el manejo de bosque natural no puede ser rentable. Sí, puede ser rentable la producción de madera en árboles tropicales, incluso en bosques mezclados de varias especies. Pero, para ser rentable, tiene que cambiar tanto el bosque natural que no sería un verdadero bosque natural después del manejo. Bosques donde se protege la biodiversidad no servirían para tala rentable; la tala rentable no serviría para la protección de la naturaleza.

AGRADECIMIENTOS

El Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales ha apoyado la parcela de 50 ha desde su inicio en 1980, logisticamente y economicamente. Más de 100 trabajadores de 10 países han trabajado en la parcela, y agradecemos especialmente a

S. Loo de Lao y R. Pérez, quienes actualmente manejan la parcela. Financiamiento de la parcela ha venido de la Fundación Nacional de Ciencias (USA), el Programa Smithsonian de "Scholarly Studies", la Fundación John D. y Catherine T. MacArthur, el Fondo de "World Wildlife", el Centro de Estudios en el Campo "Earthwatch", la Fundación Geraldine R. Dodge, y la Fundación Alton Jones. Este informe es una contribución del Centro de Investigaciones Forestales del Trópico, apoyado por la Fundación John D. y Catherine T. MacArthur.

BIBLIOGRAFIA

Ashton, P. S., y T. Panayotou, 1992. Not by Timber Alone: Economics and Ecology for Sustaining Tropical Forests. Island Press, Washington, D. C.

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), 1986. Silvicultura de especies promisorios para producción de leña en América Central: resultados de cinco años de investigación. Informe técnico, CATIE, no. 86.

Condit, R., S. P. Hubbell, y R. B. Foster, 1992a. Recruitment near conspecific adults and the maintenance of tree and shrub diversity in a neotropical forest. American Naturalist, 140: 261-286.

Condit, R., S. P. Hubbell, y R. B. Foster, 1992b. Stability and Change of a Neotropical Moist Forest Over a Decade. Bioscience 42: 822-828.

Condit, R., S. P. Hubbell, y R. B. Foster, 1993a. Mortality and growth of a commercial hardwood, "El Cativo", Prioria copaifera, in Panama. Aceptado por Forest Ecology y Management.

Condit, R., S. P. Hubbell, y R. B. Foster, 1993b. Identifying Fast-Growing Native Trees from the Neotropics Using Data from a Large, Permanent Census Plot. Aceptado por Forest Ecology y Management.

Condit, R., S. P. Hubbell, y R. B. Foster. 1993c. Temporal autocorrelation in growth rates of a tropical tree and its impact on estimates of lifetime growth. En preparación.

Condit, R., S. P. Hubbell, y R. B. Foster, 1994. Wood volume and production of tropical timber species: data from a large, permanent plot in Panama. Submitido al Journal of Tropical Forest Science.

Croat, T. R, 1978. Flora of Barro Colorado Island. Stanford University Press, Stanford, California.

Del Valle A., J. I, 1979. Curva preliminar de crecimiento del cativo (Prioria copaifera) en bosque virgen empleando el método de los tiempos de paso. Revista Facultad Nal. De Agronomia (Colombia), 32: 19: 19-26.

Heuveldop, J., L. Alpizar, H. W. Fassbender, G. Enriquez, y H. Folster, 1985. Sistemas agroforestales de cafe (Coffea arabica) con laurel (Cordia alliodora) y cafe con poró (Erythrina poeppigiana) en Turrialba, Costa Rica. II. Producción agricola, maderable y de residuos vegetales. Turrialba, 35: 347-355.

Holdridge, L. R., y G. Budowski, 1956. Report of an ecological survey of the Republic of Panama. Caribbean Forester, 17: 92-110.

Hubbell, S. P., R. Gullison, R. Condit, y R. B. Foster, 1991. The interaction of mortality and growth rates in neotropical trees. Presentado en el "Ecological Society of America symposium" en el 42 anual seminario de AIBS, San Antonio, Texas, USA.

Hubbell, S. P., y R. B. Foster, 1983. Diversity of canopy trees in a neotropical forest and implications for conservation. Pág. 25-41 en Tropical Rain Forest: Ecology y Management, S. L. Sutton, T. C. Whitmore, y A. C. Chadwick, eds. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Hubbell, S. P., y R. B. Foster, 1986a. Biology, chance, and the history and structure of tropical rain forest tree communities. Pág. 314-329 en Community ecology, J. Diamond y T. J. Case, eds. Harper y Row, New York.

Hubbell, S. P., y R. B. Foster, 1986b. Commonness and rarity in a neotropical forest: implications for tropical tree conservation. Pág. 205-231 en Conservation Biology: The Science of Scarcity y Diversity, M. Soulé, ed. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts, USA.

Hubbell, S. P., y R. B. Foster, 1990a. Structure, dynamics, and equilibrium status of old-growth forest on Barro Colorado Island. Pág. 522-541 en Four Neotropical Rain Forests, A. Gentry, ed. Yale University Press, New Haven, Connecticutt, USA.

Hubbell, S. P., y R. B. Foster. 1990b. The fate of juvenile trees in a neotropical forest: implications for the natural maintenance of tropical tree diversity. Pág. 317-341 en Reproductive Ecology of Tropical Forest Plants, M. Hadley y K. S. Bawa, eds. Parthenon Publishing, New Jersey, USA.

Hubbell, S. P., y R. B. Foster, 1992. Short-term population dynamics of a neotropical forest: why ecological research matters to tropical conservation and management. Oikos, 63:48-61.

INRENARE (Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables), 1990. Plan de Acción Forestal de Panamá. República de Panamá.

Lamb, F. B, 1953. The forests of Darien, Panama. Caribbean Forester, 14: 128-135.

Lang, G. E., y D. H. Knight. 1983. Tree growth, mortality, recruitment, and canopy gap formation during a 10-year period in a tropical moist forest. Ecology, 64: 1075-1080.

Leigh, E. G., Jr, S. A. Rand, y D. M. Windsor (eds.), 1982. The ecology of a tropical forest: seasonal rhythms y long-term changes. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C.

Lieberman, D., y M. Lieberman. 1987. Forest tree growth and dynamics at La Selva, Costa Rica (1969-1982). Journal of Tropical Ecology, 3: 347-358.

Lieberman, D., M. Lieberman, G. Hartshorn, y R. Peralta. 1985a. Growth rates and age-size relationships of tropical wet forest trees in Costa Rica. Journal of Tropical Ecology, 1: 97-109.

Lieberman, D., M. Lieberman, R. Peralta, y G. Hartshorn. 1985b. Mortality patterns and stand turnover rates in a wet tropical forest in Costa Rica. Journal of Ecology, 73: 915-924.

Lieberman, M., y D. Lieberman. 1985. Simulations of growth curves from periodic increment data. Ecology, 66: 632-635.

Linares P., R, 1987. Determinación del tipo de planton y la época del año adecuados para la plantación de cativo. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF), Serie Tecnica No. 23: 1-14.

Linares P., R, 1988. Estudio preliminar de la asociación catival en Colombia. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF), Serie Documentación No. 17: 1-76.

Linares P., R., y H. Martinez H, 1991. La regeneración natural temprana del bosque de cativo en choco - Colombia. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF), Serie Tecnica No. 30: 1-27.

Manokaran, N., J. V. LaFrankie, K. M. Kochummen, E. S. Quah, J. Klahn, P. S. Ashton, y S. P. Hubbell. 1990. Methodology for the 50-hectare research plot at Pasoh Forest Reserve. Research Pamphlet No. 102. Forest Research Institute of Malaysia, Kepong.

Manokaran, N., y K. M. Kochummen. 1987. Recruitment, growth and mortality of tree species in a lowland dipterocarp forest in Peninsular Malaysia. Journal of Tropical Ecology, 3: 315-330.

Mayo Melendez, E., 1965. Algunas características ecológicas de los bosques inundables de Darién, Panamá, con miras a su posible utilización. Turrialba, 15: 336-347.

Nichols, D., y E. González, eds, 1991. Especies nativas y exóticas para la reforestatión en la zona sur de Costa Rica. Memoria II de 12-14 de febrero, 1989, Organización para Estudios Tropicales y Dirección General Forestal, organizadores. Oficina de Publicaciones de la UNED, San José, Costa Rica.

Richards, P. W, 1952. The tropical rain forest. Cambridge University Press. Cambridge.

Rovira S., J. A., A. Castro, y R. Gutíerrez, 1987. Inventario forestal - Piloto, Río Balsas - Pihuila, Corregimiento de Camogantí, Distrito de Chepigana, Provincia de Darién. Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables (Paraiso, República de Panamá), Informe Técnico (unpublished).

Saw, L. G., J. V. LaFrankie, K. M. Kochummen, y S. K. Yap. 1991. Fruit trees in a Malaysian rain forests. Economic Botany, 45: 210-136.

Sukumar, R., H. S. Dattaraja, H. S. Suresh, J. Radhakrishnan, R. Vasudeva, S. Nirmala, y N. V. Joshi, 1992. Long-term monitoring of vegetation in a tropical deciduous forest in Mudumalai, southern India. Current Science, 62: 608-616.

Swaine, M. D., J. B. Hall, y I. J. Alexander. 1987a. Tree population dynamics at Kade, Ghana. Journal of Tropical Ecology, 3: 331-345.

Swaine, M. D., D. Lieberman, y F. E. Putz, 1987b. The dynamics of tree populations in tropical forest: a review. Journal of Tropical Ecology, 3: 359-366.

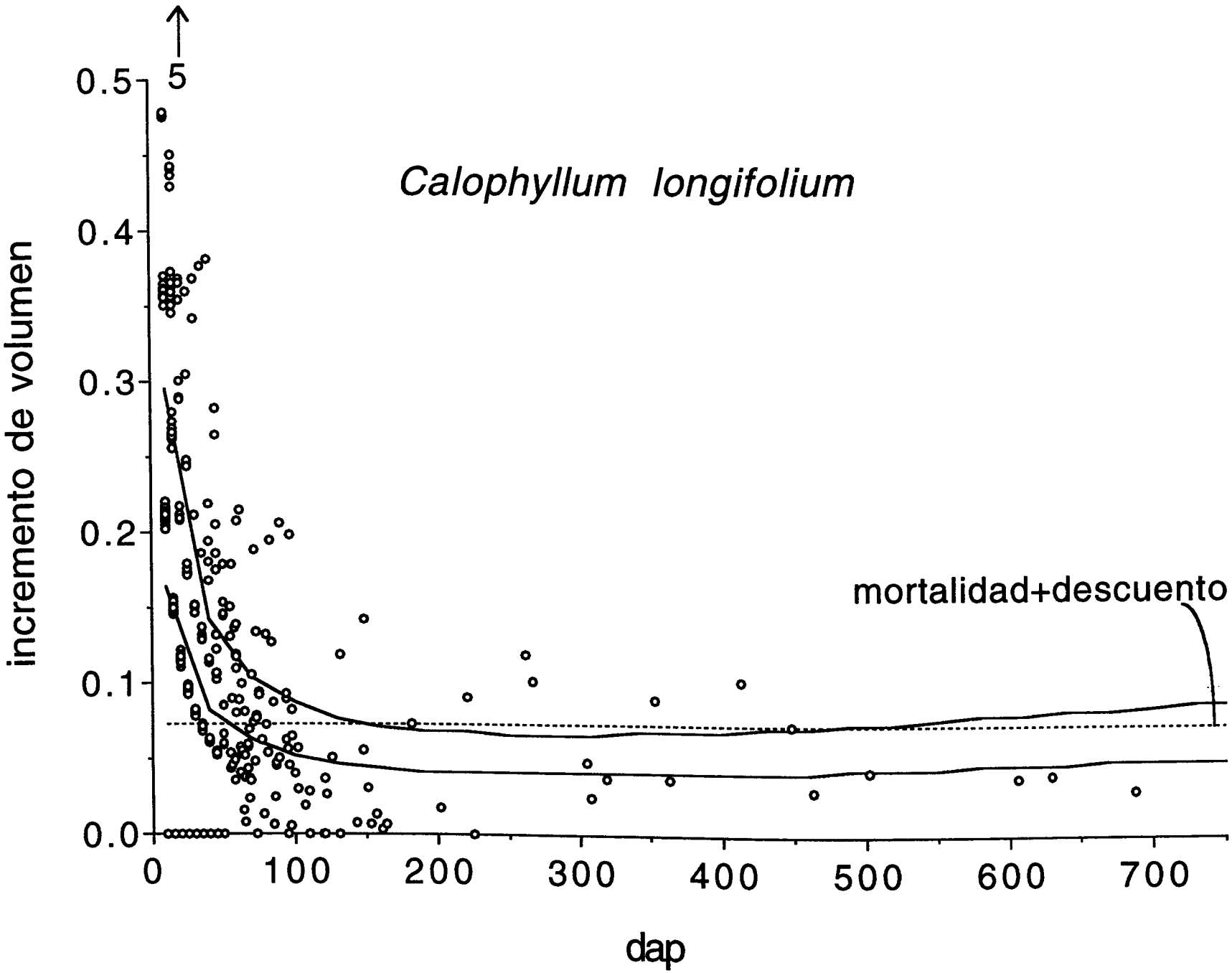
ter Steege, H, 1990. A monograph of wallaba, mora and greenheart. The Tropenbos Foundation. Ede, Nederlandia.

Whitmore, T. C, 1984. Tropical rain forests of the far east. Clarendon Press. Oxford.

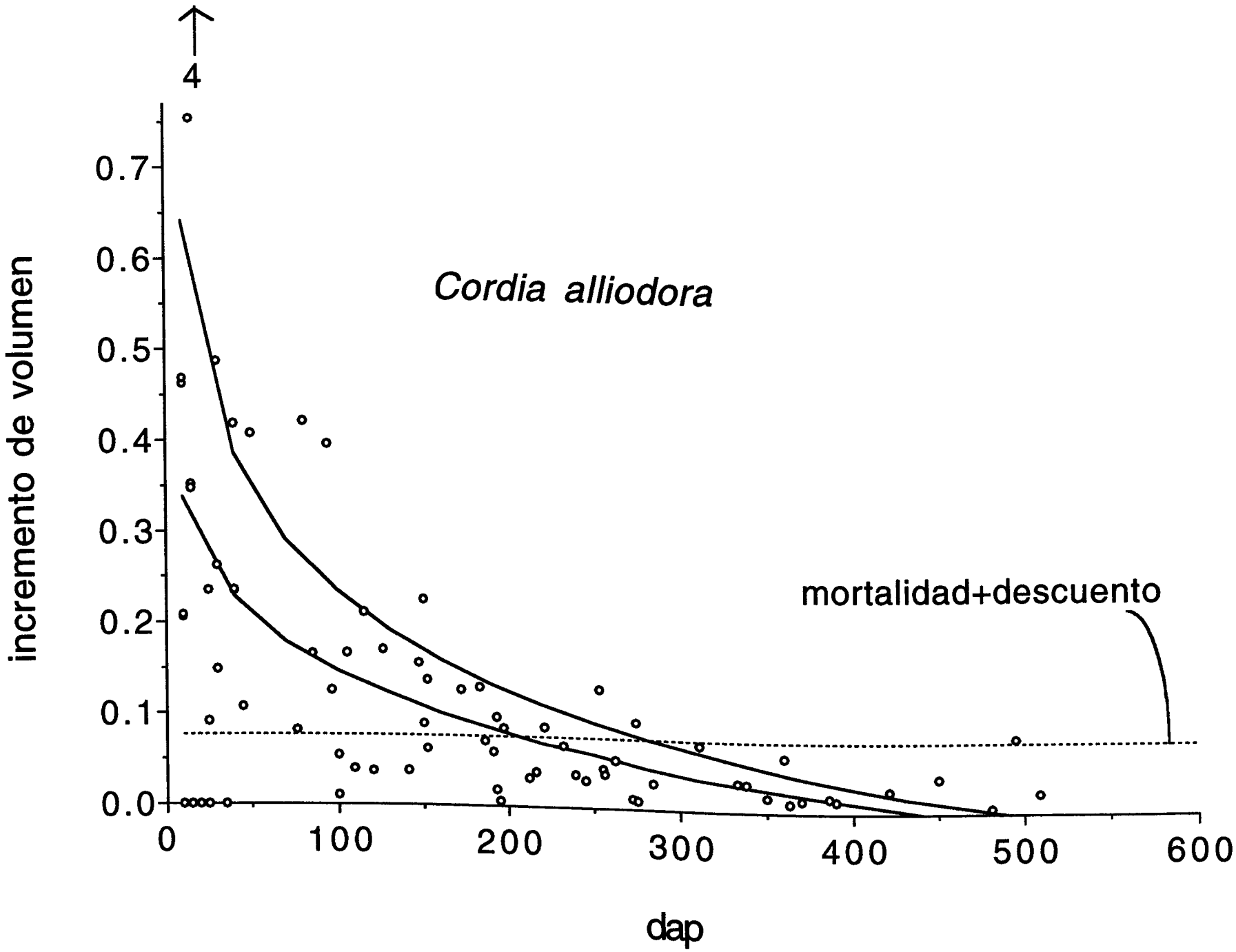
LEYENDAS DE GRAFICAS

Gráfica 1. Incremento instantáneo de volumen en siete especies, datos de 1985-1990. Cada punto representa un árbol. La línea sólida inferior representa la regresión binomial entre el incremento de volumen y el logaritmo de dap, y la línea sólida superior representa la regresión binomial de los residuos alrededor de la primera línea (vea Condit et al., 1993b, para más detalles). La línea interumpida representa la suma de la tasa de mortalidad de cada especie y la tasa de descuento (asumiendo 5%, o 0.05, en todos los casos). La flecha con número arriba a la izquierda significa que había algunos puntos afuera (por encima) de la gráfica, siempre en los tamaños menores de 50 mm dap.

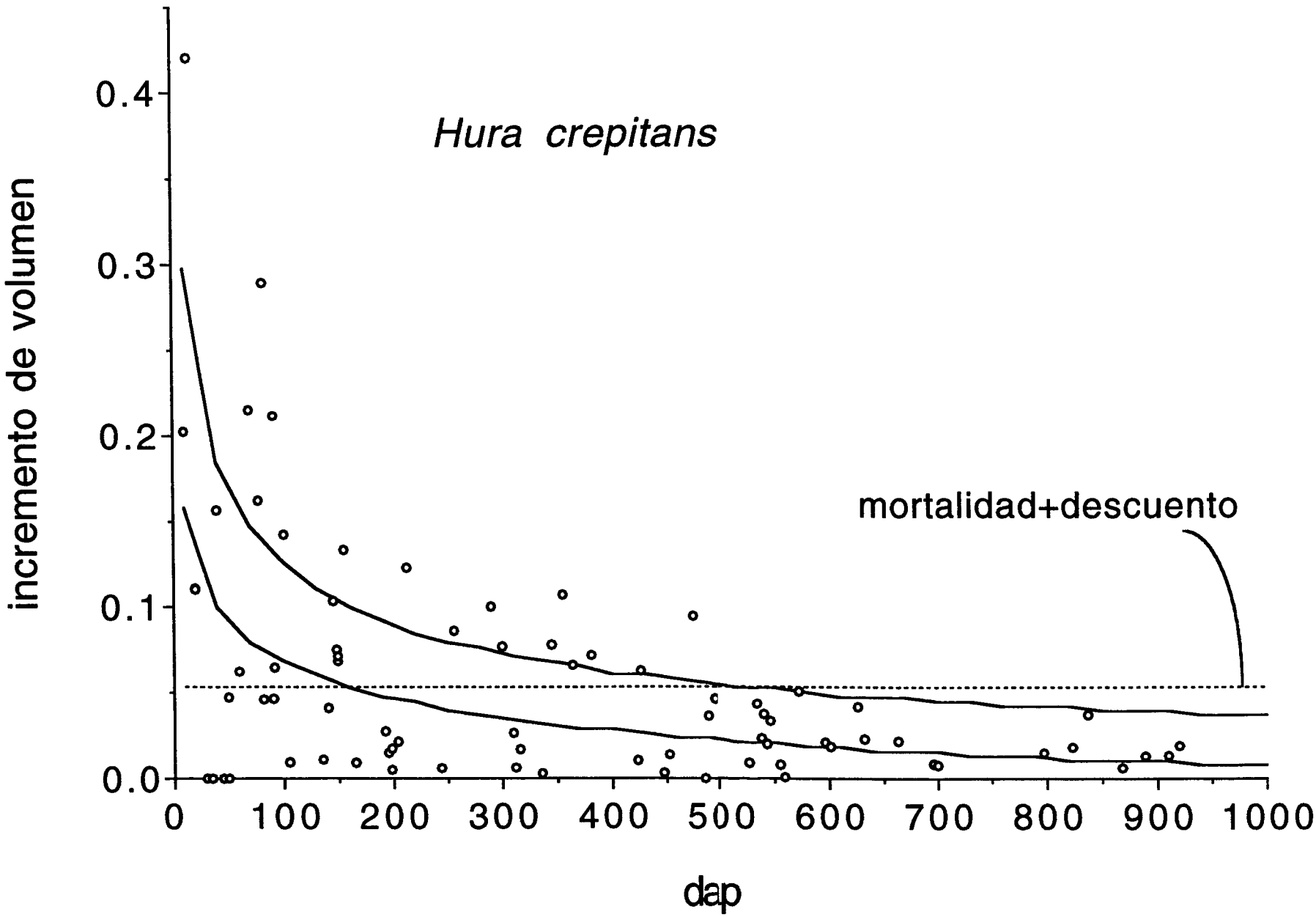
Gráfica 2. Parte superior: relación entre volumen (metros cúbicos) y edad, calculada con el método de Condit et al. (1993b) para un árbol, multiplicada por 500 para representar un cohorte de 500 árboles, y reducida por la tasa anual de mortalidad. Los árboles empiezan con tamaño de 10 mm dap (año cero). Las curvas sólidas representan datos de 1982-1985, y las curvas interumpidas los de 1985-1990. La curva inferior en cada par se derivó del incremento promedio, y la curva superior del incremento promedio+DE. Parte inferior: la relación entre el valor del cohorte de 500 árboles ($US) y edad, calculado multiplicando el volumen de 500 árboles por $US100 y descontando el 5% por año. Las cuatro curvas significan lo mismo que aquéllas en la parte superior.


Calophyllum longifolium
incremento de volumen
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
5
0
100
200
300
400
500
600
700
dap
mortalidad+descuento

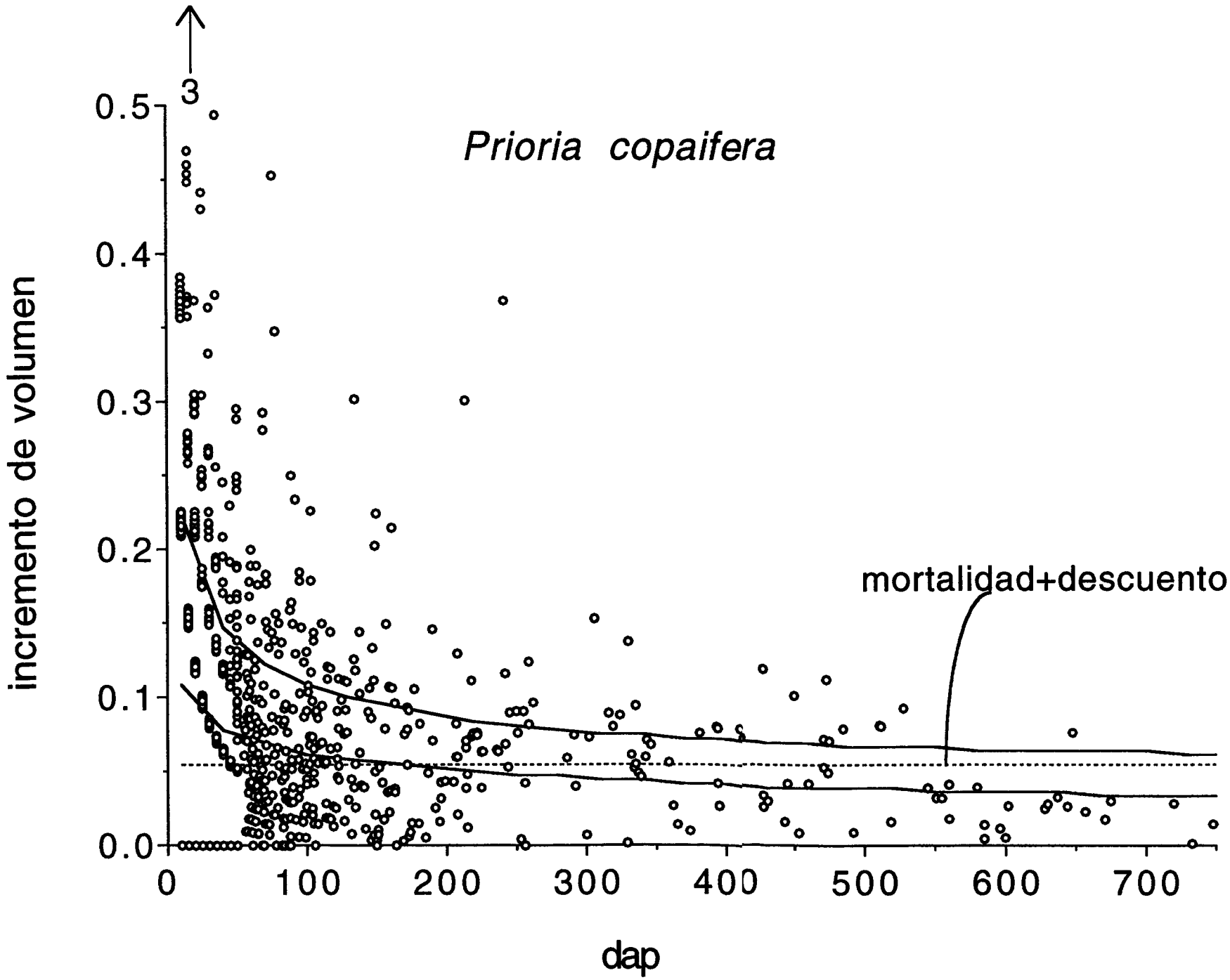
Gráfica 1A



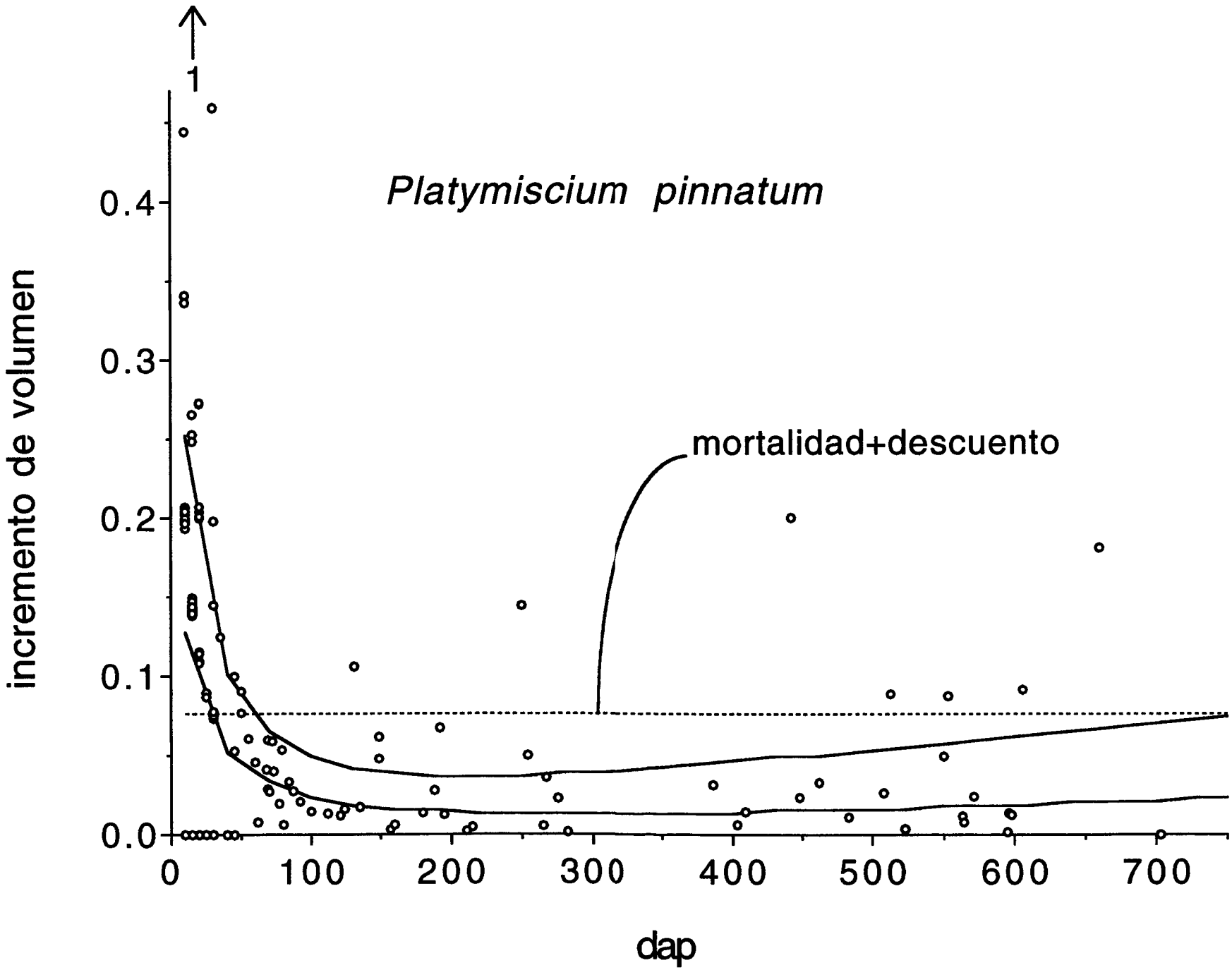
Gráfica 13
Condit et al.



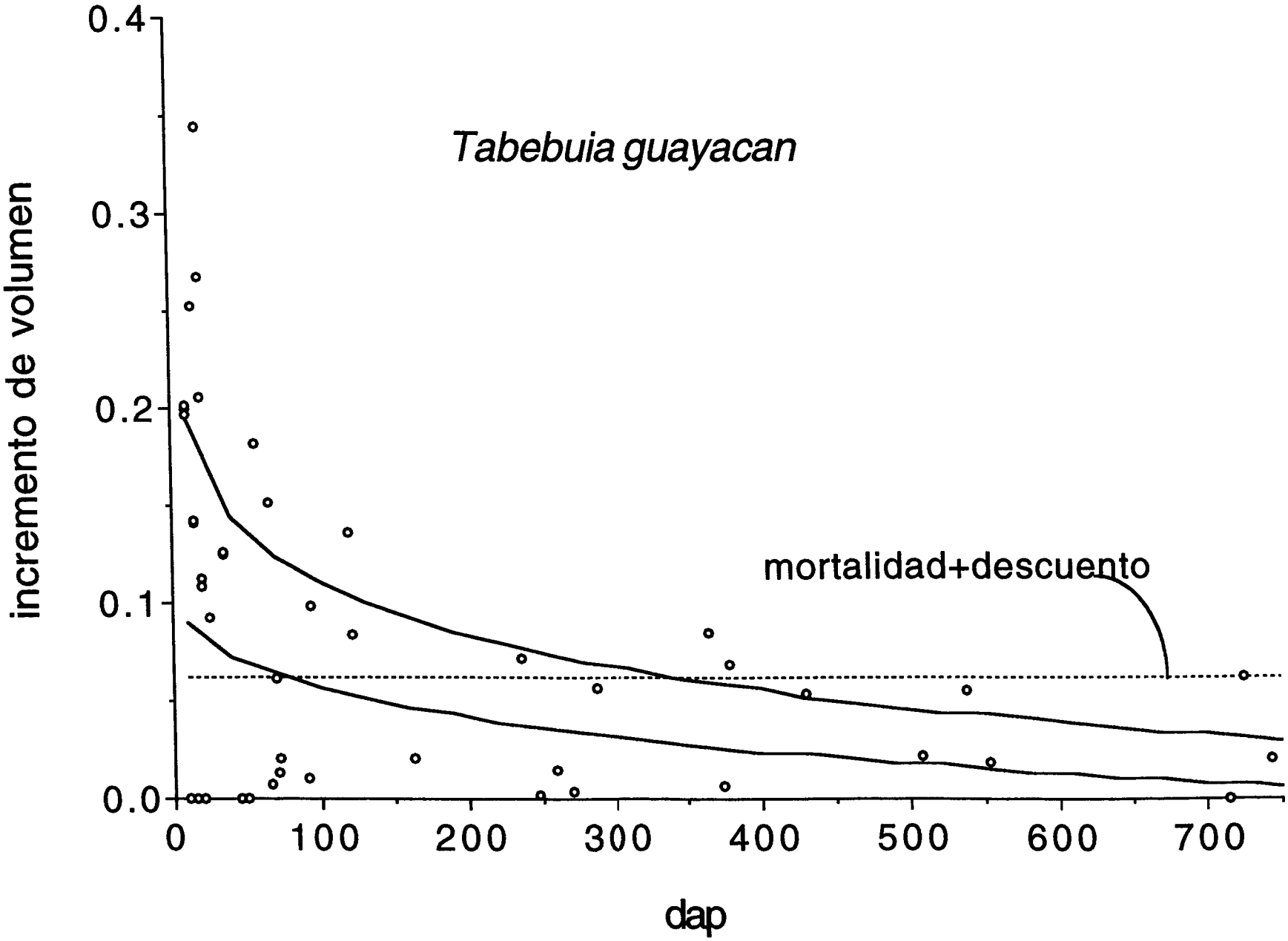
Gráfica 1C
Cantidad


Prioria copaifera
incremento de volumen
dap
mortalidad+descuento
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0
100
200
300
400
500
600
700
3

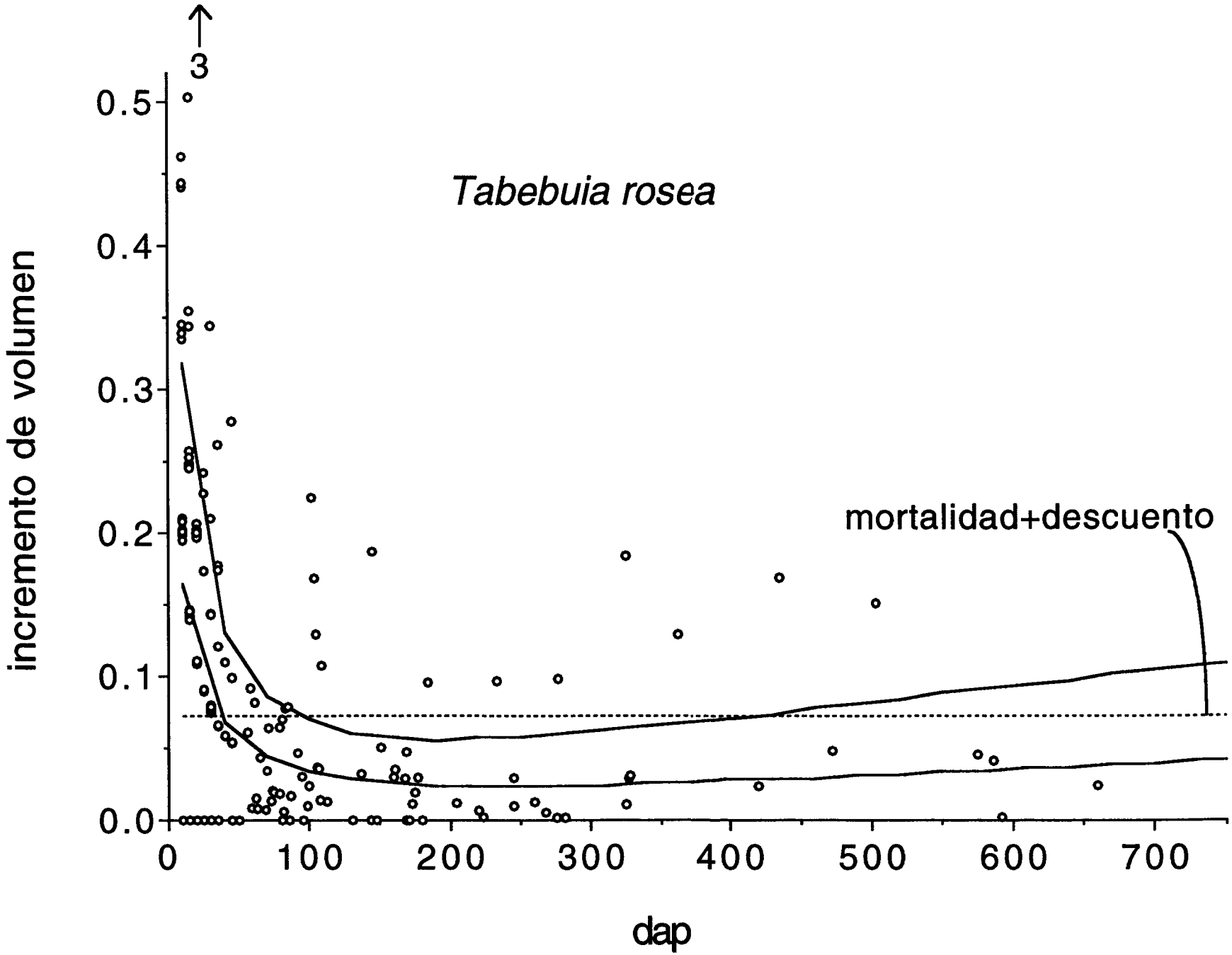
Gráfica 1E



Gráfica 17
Continúa ...

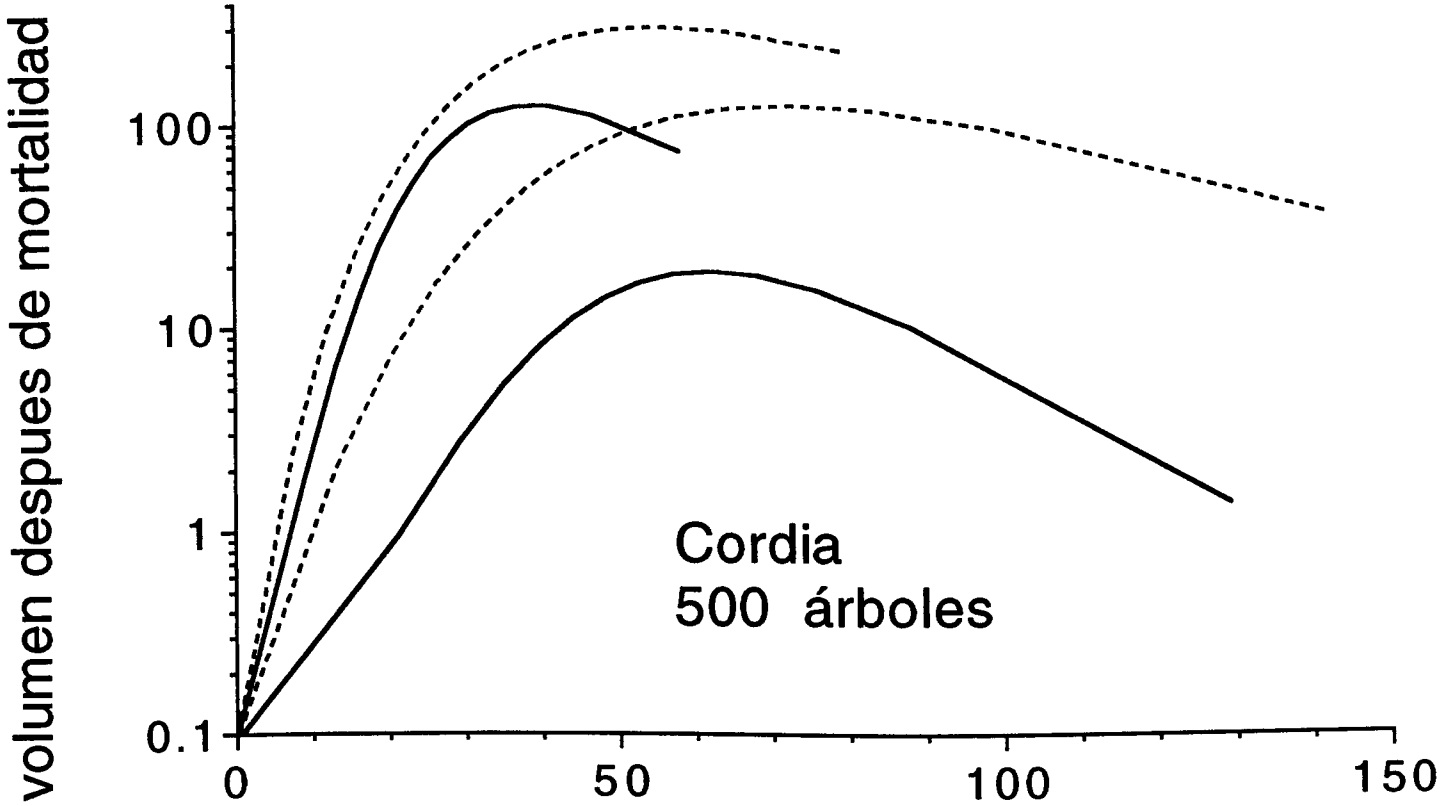


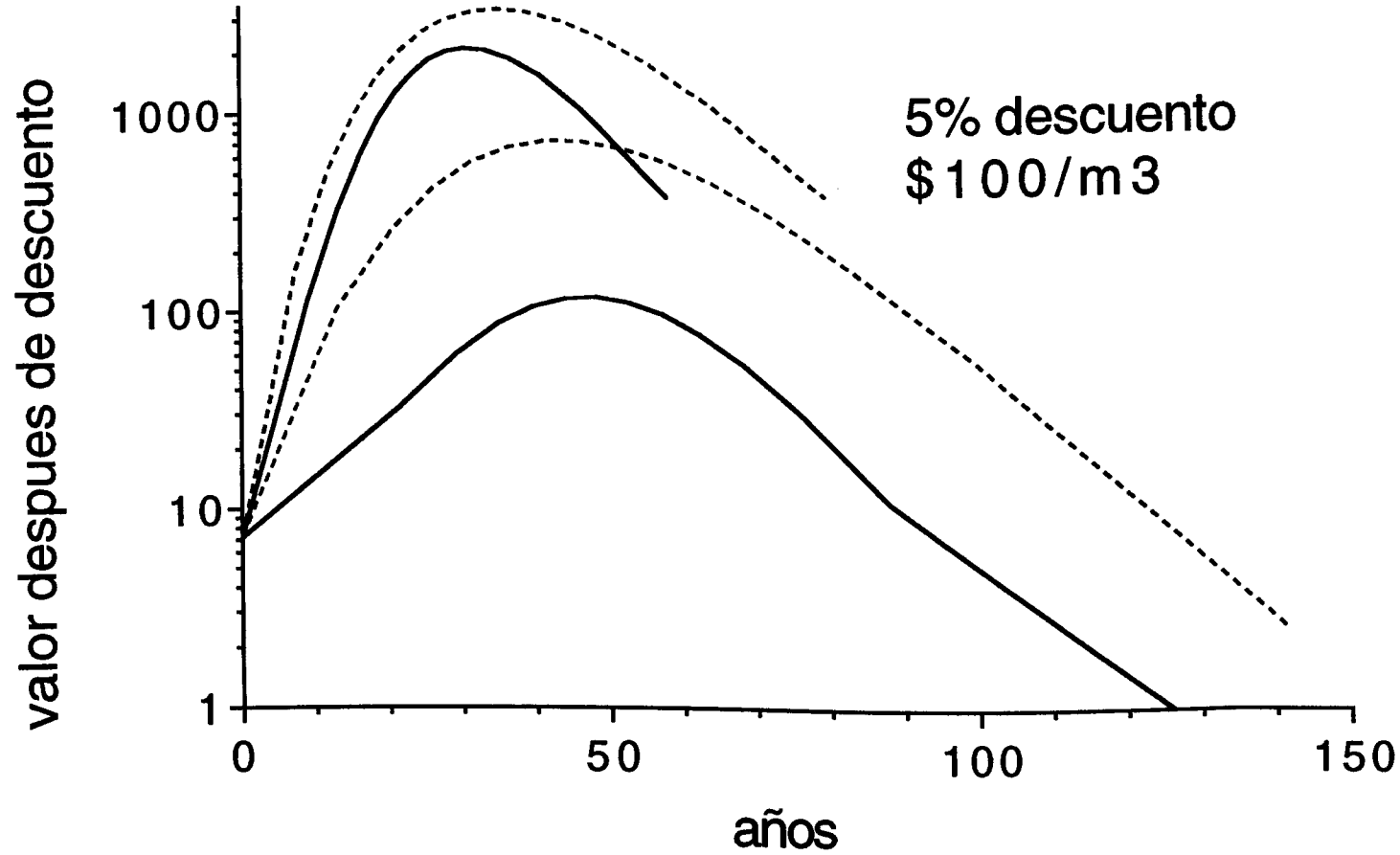
Gráfica 1F
Comb[illegible]


Tabebuia rosea
mortalidad+descuento
incremento de volumen
dap
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
3
0
100
200
300
400
500
600
700

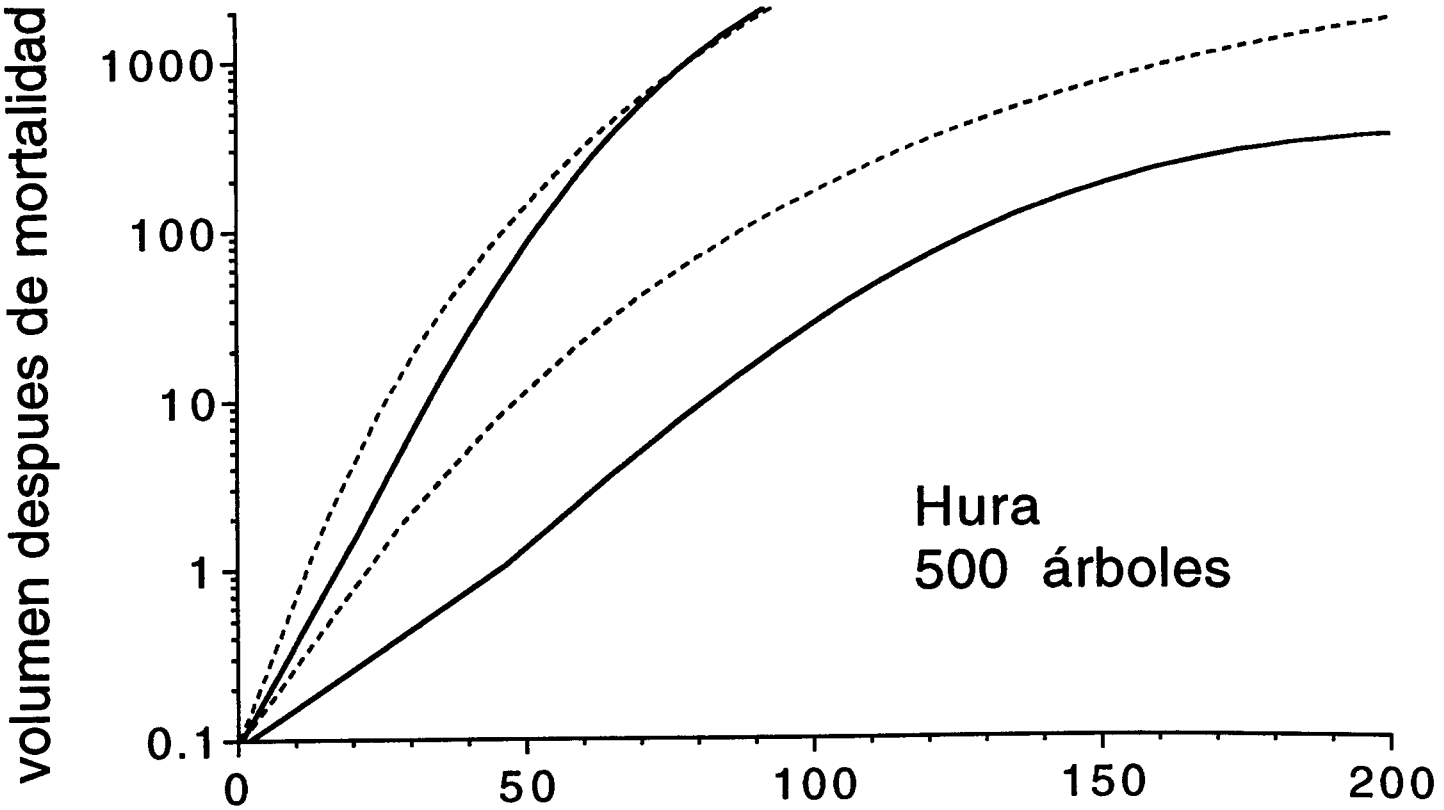
Gráfica 16

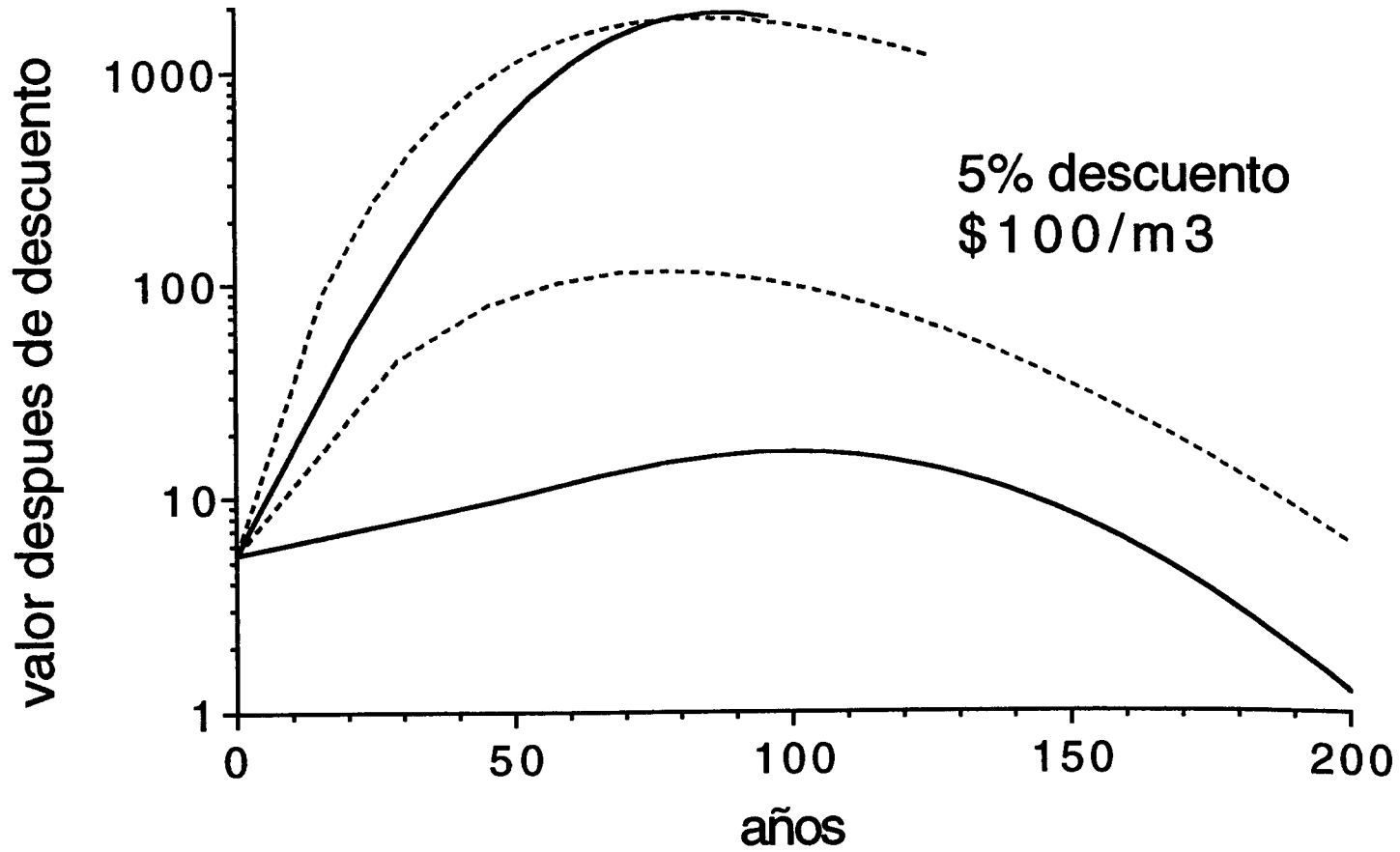
Gráfica 2A
Condicional





Gráfica 2B
Cond. et al.





Gráfica 2c
Condé et al

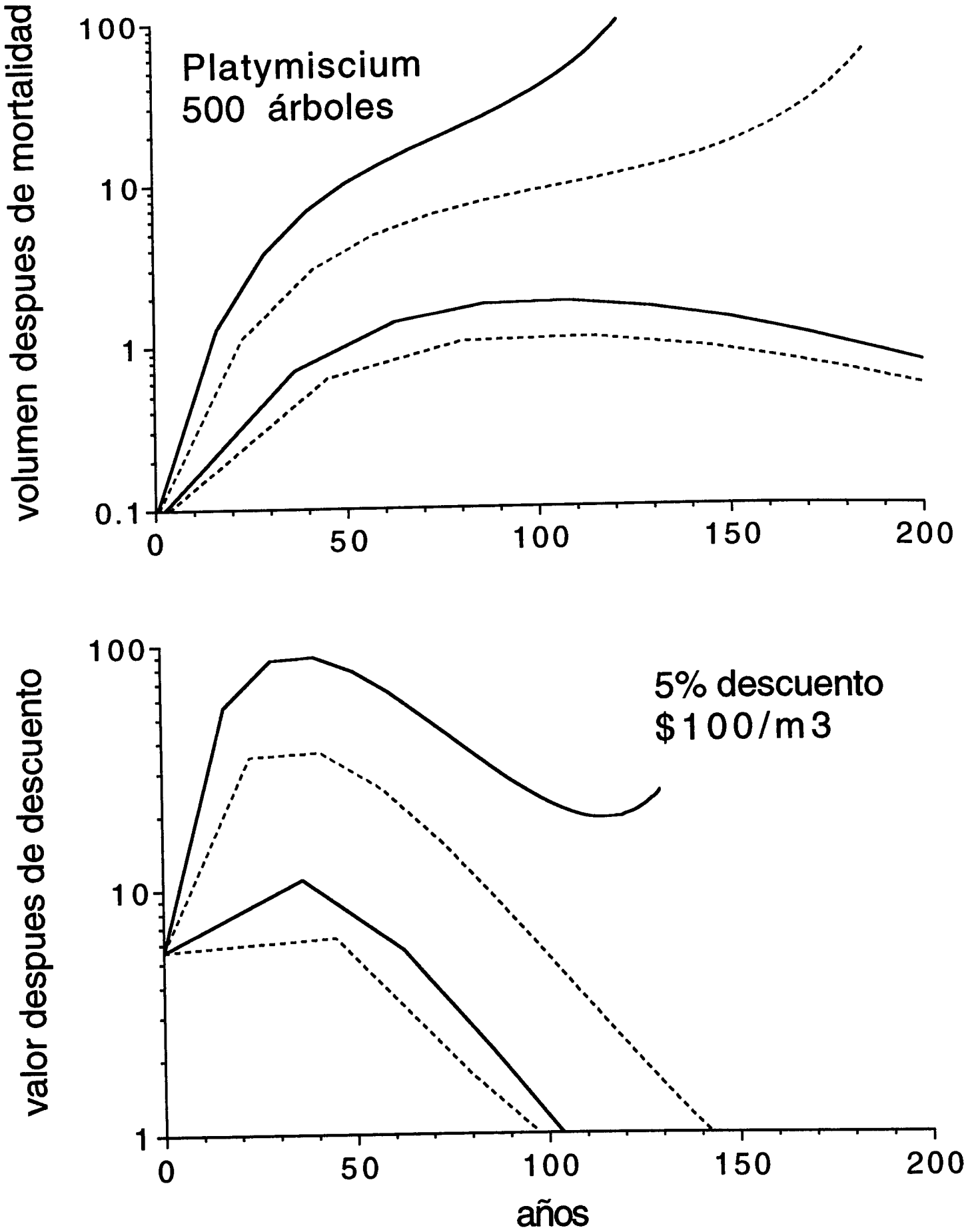
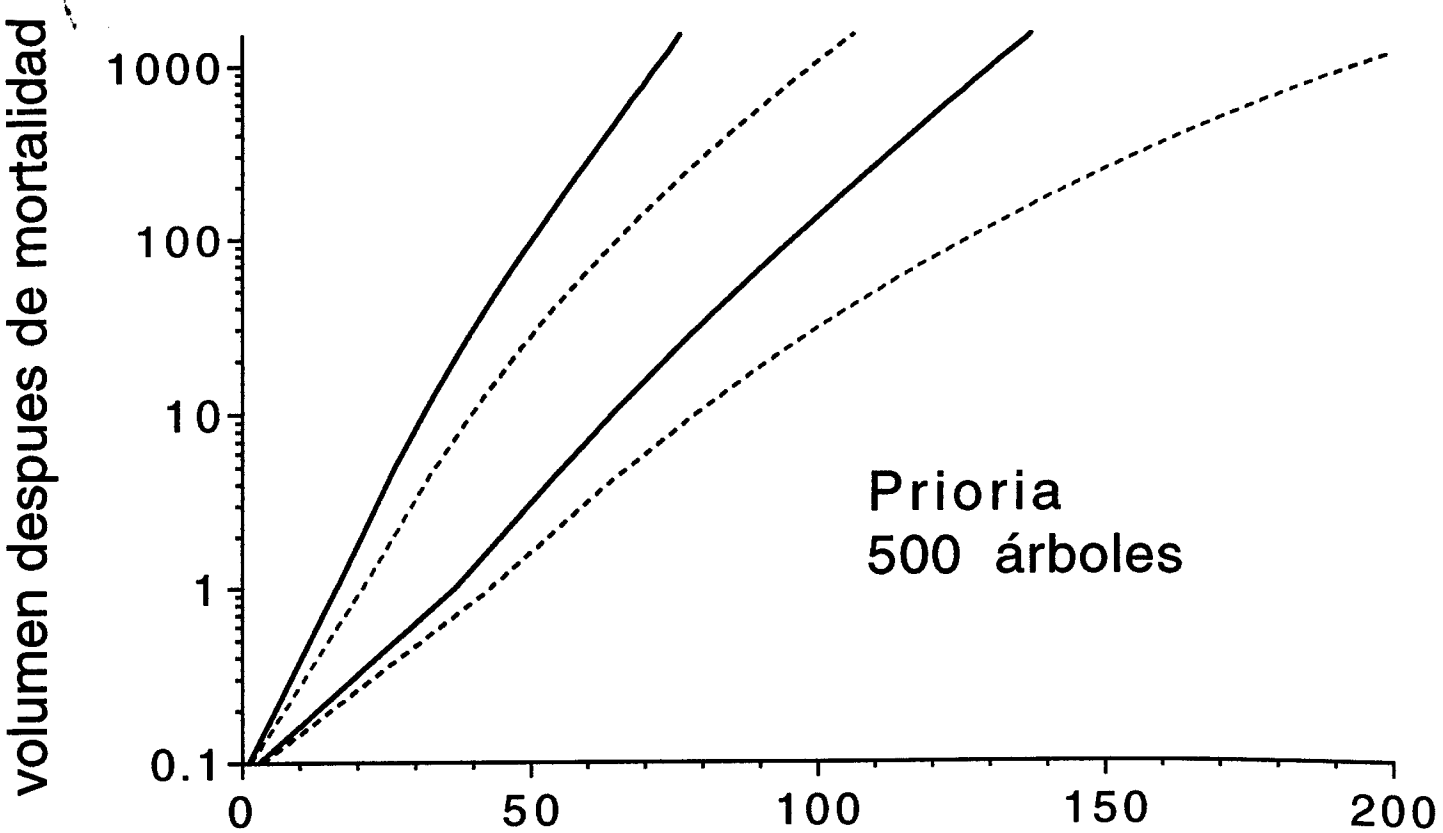
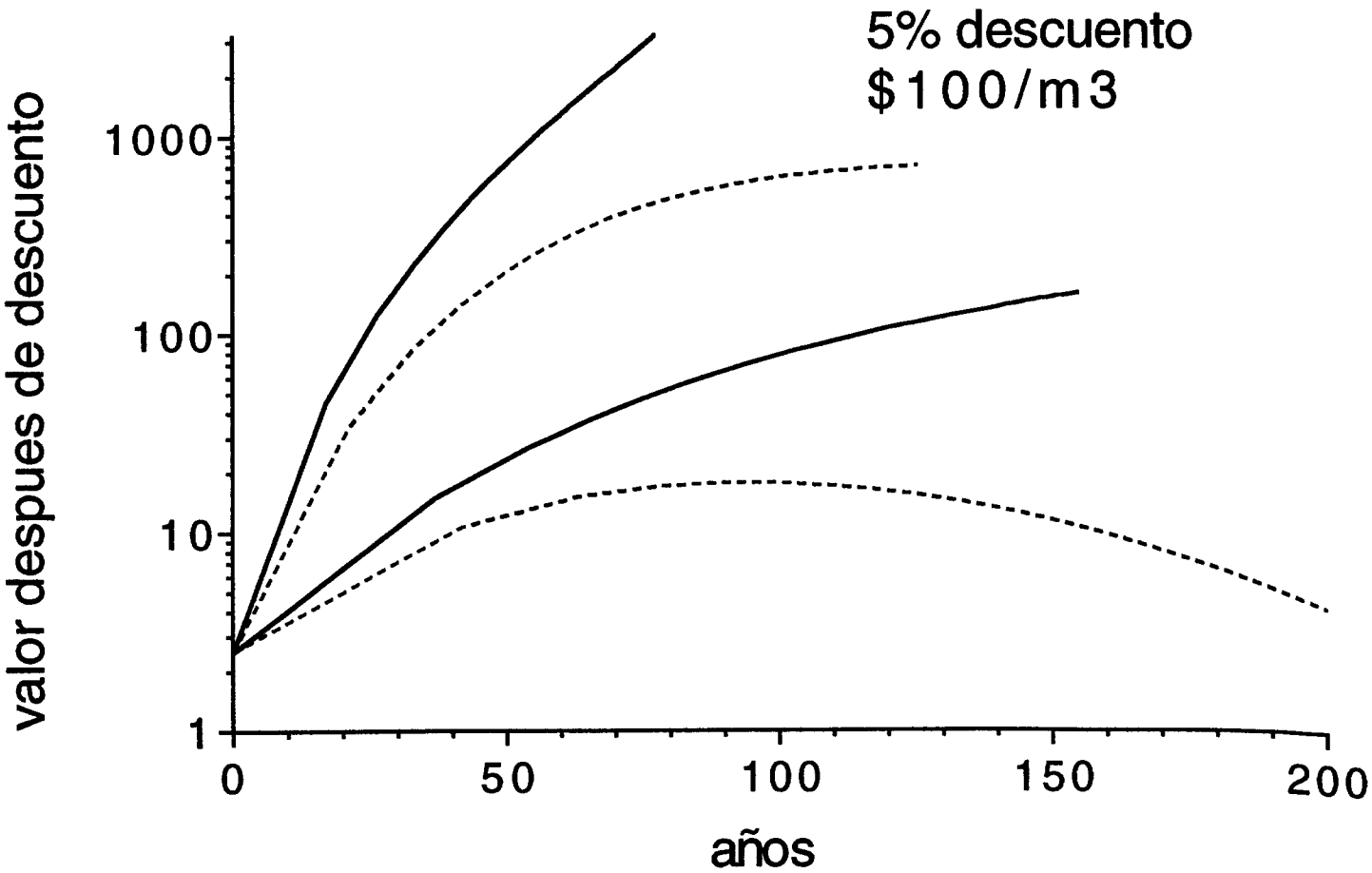



Gráfico 2D
Condé et al.