



Sixth Framework Programme (2002-2006)

**MANUAL DE CAMPO PARA CENSOS SOBRE EL
TIPO DE MORTANDAD DE ÁRBOLES**

Authors

Kuo-Jung Chao & Dr. Oliver Phillips



November 2005

1. INTRODUCCION

Estamos interesados en comprender cómo mueren los árboles por dos motivos: primero, el modo de mortandad refleja factores causales subyacentes, que contribuyen a la muerte del árbol (Putz et al. 1983, Arriaga 2000, Cherubini et al. 2002). Segundo, el modo en que el muere el individuo también afecta la subsiguiente dinámica forestal, incluida la mortalidad, regeneración y crecimiento del ecosistema, y potencialmente su composición florística y su diversidad (Franklin et al. 1987, Phillips et al. 1994, Arriaga 2000). Los tipo de mortandad de los árboles individuales pueden categorizarse en “muertos en pie”, “desraizados”, o “quebrados”.

Los árboles que “mueren en pie” normalmente originan claros pequeños, y una vez que el tronco está suficientemente descompuesto, se desintegrará gradualmente y caerá desperdigado alrededor del árbol. Este tipo de claros de canopia favorece la regeneración de especies tolerantes a la sombra o se pueden recuperar por expansión de las copas adyacentes (Whitmore 1978, Krasny and Whitmore 1992). Un árbol “desraizado” está sujeto a fuerzas laterales en el tronco (e.g. caídas de otros árboles o perturbaciones por huracanes) que superan la capacidad de amarre en el suelo por parte de las raíces, pero no rompen el tronco (Putz et al. 1983). Esta mortandad puede perturbar las capas del suelo y provocar inversiones en los horizontes edáficos lo cual, a su vez, altera el micro-ambiente y tiende hacia la selección de semillas pioneras del banco del suelo, como las futuras germinadoras (Putz 1983). Con fuerzas laterales sobre el tronco de un árbol vivo que no son suficientemente fuertes para dislocar y romper las raíces inferiores, el árbol puede morir “quebrado” debido a su débil densidad o a su estructura desequilibrada (Putz et al. 1983, Everham III 1996). En esta situación, el resto del tronco remanente puede permitir que el árbol roto rebrote. La copa caída de un árbol quebrado, comparado con todo el tronco de un individuo desraizado, tiene menor impacto en el bosque. Además, los juveniles pioneros se regeneran con menor frecuencia en claros de canopia originados a partir de árboles quebrados, que en claros de árboles desraizados, debido a la falta de perturbación edáfica (Putz 1983, Putz et al. 1983, Arriaga 2000).

Algunas causas de mortandad pueden parecer obvias, como la fuerza del viento o incendios incontrolados, pero otras causas son ambiguas y complejas (Franklin et al. 1987). Gale &

Barfod (1999) sugieren que tipos diferentes de mortandad se deben a factores distintos: los árboles “muertos en pie” están mayoritariamente afectados por agentes bióticos, “quebrados” tienen su causa parcialmente en agentes físicos y parcialmente en agentes bióticos, mientras que los árboles “desraizados” se asocian principalmente a agentes físicos externos.

Un árbol puede “morir en pie” como resultado de senescencia intrínseca (Whitmore 1978), agentes bióticos extrínsecos, como sombra por competencia con canopias y lianas en estratos superiores (Putz 1984) y ataques de patógenos (Arriaga 2000, Cherubini et al. 2002), o por perturbaciones fisiológicas abióticas extrínsecas como rayos (Magusson et al. 1996), sequía e inundaciones (Swaine et al. 1987). Sin embargo, los factores que causan el desraizado de los árboles pueden ser similares a las de los árboles quebrados. Estas causas incluyen características intrínsecas específicas de cada especie (e.g. densidad de madera (Putz et al. 1983), anclaje de las raíces (Putz et al. 1983, Gale and Barfod 1999), arquitectura de los árboles (Putz et al. 1983), caídas extrínsecas de árboles (Lieberman et al. 1985) y perturbaciones abióticas como vientos catastróficos (Everham III 1996, Arriaga 2000). Por encima de todo, las propiedades de la madera pueden ser los factores intrínsecos más importantes que influyen las posibilidades de desraizamiento versus quebramiento (Putz et al. 1983). Otro estudio también propone que los modos de mortandad de los árboles están relacionados con la posición en la pendiente: a lo largo de la topografía desde valles hasta las cimas, más árboles mueren “en pie” que desraizados (Gale and Hall 2001) .

2. OBJETIVOS DE ESTUDIO

Los objetivos de estudiar la forma de mortandad de los árboles se centran en mejorar nuestra comprensión sobre los patrones de mortalidad y las relaciones entre las condiciones ambientales y los procesos de mortalidad en la región de la Amazonía. Este Manual RAINFOR para el censo del modo de mortandad, basado en el estudio realizado en el viaje de campo a Venezuela en el 2004, pretende ser la base para un método estandarizado para futuros muestreos.

Las preguntas a responder en la investigación sobre el modo de mortandad son:

- 1) ¿Cuál es el tipo de mortandad dominante en la región Amazónica?
- 2) ¿Cuáles son la magnitud y la frecuencia de los patrones de caídas múltiples de árboles?
- 3) ¿Cambian las proporciones de cada tipo de mortandad con la clase de tamaño del árbol?
- 4) ¿Cuál es la proporción del modo de mortandad relacionada con las condiciones ambientales?

3. MÉTODO DE ESTUDIO

A. Establecimiento de la parcela:

Las parcelas para los censos sobre tipos de mortandad se basan en las parcelas de censo de RAINFOR (Red Amazónica de Inventarios Forestales; Amazon Forest Inventory Network)

B. Datos ambientales:

Los datos ambientales incluyen:

- 1) GPS: empleo de un receptor manual de 12 canales, para localizar la posición de las parcelas de estudio en el mapa.
- 2) Pendiente: con ayuda de un clinómetro, se mide cada 20m el ángulo de la pendiente. Para ello se observan y anotan los ángulos de inclinación entre dos objetos verticales de 1.3m de altura
- 3) Posición de la pendiente: valle, media-pendiente, alta-pendiente, meseta o cima.
- 4) Elevación (m): mediante la lectura del GPS.
- 5) Muestras de suelo
 - a. Tipos principales de suelos, con muestras para llevar a analizar al laboratorio (mirar los manuales de RAINFOR sobre protocolos de muestreo de suelos)
 - b. Categorías de drenaje en una escala del 1 al 10.
 - c. Profundidad.
- 6) Historia de perturbación:
 - a. Tipo
 - b. Frecuencia
 - c. Magnitud

C. Tipo de mortandad del árbol:

1) Criterio:

- a. Modo de mortalidad: Cada árbol con $DBH \geq 10$ cm que está o estaba enraizado en la zona de muestreo.

2) Anota (revisa Tabla1):

- a. Número de cuadrante
- b. Número de placa del árbol muerto
- c. Especie, si se puede reconocer.
- d. Diámetro del árbol muerto; el diámetro a una altura de 1.3m en los datos de censos anteriores.
- e. Tipo de mortandad
 - i. En pie: Los árboles que murieron de pie y posteriormente se colapsaron se reconocen por los restos de su canopia, que aparece frecuentemente desperdigada en todas las direcciones alrededor del árbol muerto. Los bordes rotos de los restos de material se caracterizan por ser lisos, sin astillas prominentes. Los daños a la vegetación vecina parecen ser más recientes que la edad aparente del tronco muerto. Los árboles muertos en pie suelen tener también troncos más blandos, que se han fragmentado en segmentos lisos en sus bordes. Se anota la altura del árbol también. Notas de campo anteriores pueden indicar que un árbol estaba aproximándose a un balance negativo de carbono (e.g. viejo, senescente, o asfixiado por lianas).
 - ii. Quebrados: los árboles tienen las ramas de la canopia adjuntas al extremo superior del tronco caído y con el tronco visiblemente partido. Las secciones de ruptura se caracterizan por tener astillas. Los daños a la vegetación vecina parecen ser simultáneos con el momento de la ruptura. Calcula la altura del trozo de tronco remanente. Ves con cuidado con los árboles partidos a los 0 m que son diferentes a los árboles desraizados y anota este hecho.
 - iii. Desraizados: árboles tumbados con las raíces descubiertas, y con suelo entre las raíces.
 - iv. Desvanecidos: Si no hay piezas de madera en la localidad anotada en algún censo anterior y la zona de los alrededores, se anotan como desvanecidos.
 - v. Signo de interrogación: Si el árbol está demasiado descompuesto para identificar el modo de mortandad con un grado razonable de confianza.

Nota 1: Si el individuo está en estado de descomposición (e.g. 2.5 o superior, en la escala visual de 1 a 3 para categorizar el grado de descomposición, mirad nota “g” abajo), entonces cualquier interpretación del tipo de mortandad sería desconfiable sin evidencia adicional. Los individuos con grado de descomposición ≥ 2.5 pueden ser retirados de la base de datos. Este es frecuentemente el caso cuando el tiempo inter-censal es largo.

Nota 2: Si la situación actual del árbol es la de “partida” pero con serias señales de que el individuo primero se murió en pie y después se rompió, se clasificará como “en pie→ roto” (codificado como 1-3).

Nota 3: El modo de mortandad de árboles recientemente muertos puede mantenerse incierta. Por ejemplo, árboles en la vera de un río pueden morir “en pie” primero y después caerse por la falta de anclaje de las raíces.

- f. Dirección de la caída: usa una brújula para medir la dirección de la base al borde de la copa de un árbol desraizado, o en el caso del árbol partido, hasta el final de la rama.
- g. Estima el grado de descomposición de la madera:
 - 1: Intacto: Hay más del 75% de la madera intacta y/o dura, y en ocasiones con pequeñas ramitas adjuntas. Puede tratarse de un tronco recientemente caído.
 - 1.5: Ligeramente dañado: la superficie de la corteza presenta algún daño, o puede ser una pieza de madera donde la corteza se ha descompuesto pero la madera todavía está dura.
 - 2: Dañado y en mala condición: El tronco ha experimentado alguna decadencia y se encuentra en grado de descomposición entre 1.5 y 2.5.
 - 2.5: Algo descompuesto: Parte de la madera es friable.
 - 3: Descompuesto: Hay más del 75% de la madera blanda y descompuesta, un golpe de machete penetra con facilidad y la madera se derrumba si se pisa.
- h. Con o sin contrafuertes en las raíces. Si tiene contrafuertes, entonces mide la altura y la anchura del contrafuerte.
- i. Eventos múltiples de caídas de árboles:
 - i. El árbol “matador” (que mató a otros, KO (killed others)) es el árbol más largo que yace sobre otro árbol o residuos en descomposición.
 - ii. Los árboles muertos por otro (OK (others killed)), están físicamente debajo de otro árbol caído. Hay que anotar el número de placa del árbol “matador”

- iii. ¿Cuántos árboles murieron en la caída de un árbol?. Calculad la magnitud del evento de caída contando todos los árboles tumbados con $DBH \geq 10$ cm, incluyendo los árboles fuera de la parcela.

Nota 1: Recordad que tenéis que distinguir entre árboles “matadores” que estaban enraizados dentro de la parcela y los que estaban enraizados fuera, para ser capaces de derivar estimaciones precisas por unidad de área.

Nota 2: Se supone que en general, los árboles en un evento de caída múltiple deberían estar en un estado de descomposición semejante. A veces no se puede encontrar un árbol específico pero se sabe que estaba situado cerca de otro árbol que se conoce en el campo, en estos casos tendemos a tratar el árbol en cuestión como “desvanecido”. Aunque la densidad de la madera y el diámetro del tronco pueden ser dos de los efectos que contribuyen a grados diferentes de descomposición, si el “árbol matador” candidato parece haber caído recientemente (en grado de descomposición entre 1 y 1.5) y el posible “árbol muerto” está completamente desvanecido, solemos tratar a los individuos desvanecidos como muertos en un evento distinto, en vez de haber sido muerto por el tronco caído recientemente.

Nota 3: Si un árbol está “muerto en pie” pero es aplastado por un árbol que cae, entonces sólo anotamos que está aplastado por otro (anotando el número del árbol que lo aplastó). No consideramos esta situación como un evento de caídas múltiples.

j. Señales de daños anteriores: lianas/ corazón podrido/termitas/insectos/fuego...

k. Si es un tronco muerto pero con un rebrote de ≤ 10 cm de DBH, entonces anotamos “con rebrote”.

Tabla 1 Hoja de campo para el tipo de mortandad

Censo de tipo de mortalidad: Lugar _____ Nombre parcela _____ Anotador/a _____ Fecha censal ___/___/___
(d/m/y)

Cuadrante	Sub-cuadrante	No	Especie	Diámetro (cm)	Tipo de mortandad ^a	Altura (m)	Altura tronco remanente (m)	Direcc. caída	Grado de descomp ^b	con contraf. altura (m) ^c	Caídas múltiples	Notas ^e	
a			b				c		d			e	
1	Muerto, en pie		1	Muerto recientemente			YB	Con raíces con contrafuertes	Solo	Solo		D	Con enfermedad
2	Muerto, desraizado		1.5	Ligeramente dañado			YS	With stilt root	KO	Muerto, “árbol matador”		I	Infestación por insectos
3	Muerto, partido		2	Dañado y en mala condición			N	Sin contrafuertes y and stilt root	OK	Muerto, “muerto por otro” anota el número de árbol que lo mató.		L	Por lianas
V	Desvanecido		2.5	Algo descompuesto						* Anota cuántos árboles murieron en el evento		P	Daño físico previo
			3	Descompuesto				*Anota la altura de la raíz				S	Estrangulador

* Anota los árboles muertos que están **enraizados dentro** de la parcela.

4. ALGUNOS ANALISIS DE DATOS SUGERIDOS, DEPENDIENDO EN LAS PREGUNTAS QUE MOTIVARON LA INVESTIGACION

(1) Analizar la información básica de mortalidad:

a. Tasa anual de mortalidad (m)

$$N_1 = N_0 (1-m)^t$$

$$m = 1 - (N_1/N_0)^{1/t}$$

N_0 y N_1 son conteos de población al principio y al final del intervalo de medición (t) (Sheil *et al.* 1995)

b. Coeficiente exponencial de mortalidad (λ)

$$\lambda = \log_e (N_0/N_1)/t$$

N_0 y N_1 son conteos de población al principio y al final del intervalo de medición (t) (Sheil *et al.* 1995)

(2) Analizar los datos sobre el tipo de mortandad

- a. La proporción de diferentes tipos (en pie, desraizado, roto, desvanecido y otros) de mortandad.
- b. El número de eventos de caídas múltiples de árboles y la frecuencia de distribución de cuántos árboles murieron en el evento.
- c. La orientación de los árboles caídos. ¿Hay una dirección predominante?
- d. La proporción de los tipos de mortandad de árboles en diferentes clases de tamaño (tests Kolmogorov-Smirnov para muestras dobles (revisar (Putz *et al.* 1983)). El diámetro de las clases usadas en este estudio son:

Clase 1: $10 \text{ cm} \leq X < 20 \text{ cm}$; Clase 2: $20 \text{ cm} \leq X < 40 \text{ cm}$; Clase 3: $40 \text{ cm} \leq X$

(3) Usar el test de **Mantel**, **ANOVA** or **William's corrected G-test** para averiguar la (co)relación entre tipo de mortandad, propiedades de los árboles y variaciones en los gradientes ambientales: clases de DBH, clase de altura, densidad de madera, pendiente, posición en pendiente, elevación, categoría de suelo, drenaje del suelo, profundidad del suelo, y frecuencia de perturbación (Gale and Barfod 1999).

5. LISTA CON INVENTARIO DEL EQUIPO

Categoría	Elementos	Notas
Creación parcela		
	Cuerda	Para marcar los bordes de la parcela
	Marcadores permanentes	Para marcar coordenadas en la cuerda
Datos ambientales		
	Clinómetro	Para medir la pendiente
	Brújula	Para medir la dirección de los árboles caídos
	GPS	Para localizar la parcela
	Equipo para muestreo suelos	
	Machete	
Tipo de mortandad		
	Bolígrafos/rotuladores	
	Clipboard	
	Hojas impresas para anotar	≈ 25 hojas por hectárea
	Tipo de mortandad	(10 muestras por hoja)
	Hojas impresas para anotar	
	Madera muerta	
	Cintas diamétricas de 2 m × 2	Para medir diámetro
	Cintas métricas de 30 m	Ayudar a medir los bordes de la parcela
	Binoculares/prismáticos	
	Libretas de notas/cuadernos	

6. REFERENCIAS

- Arriaga, L. 2000. Types and causes of tree mortality in a tropical montane cloud forest of Tamaulipas, Mexico. *Journal of Tropical Ecology* **16**:623-636.
- Cherubini, P., G. Fontana, D. Rigling, M. Dobbertin, P. Brang, and J. L. Innes. 2002. Tree-life history prior to death: two fungal root pathogens affect tree-ring growth differently. *Journal of Ecology* **90**:839-850.
- Everham III, E. M. 1996. Forest damage and recovery from catastrophic wind. *The Botanical Review* **62**:114-185.
- Franklin, J. F., H. H. Shugart, and M. E. Harmon. 1987. Tree death as an ecological process. *BioScience* **37**:550-556.
- Gale, N., and A. S. Barfod. 1999. Canopy tree mode of death in a western Ecuadorian rain forest. *Journal of Tropical Ecology* **15**:415-436.
- Gale, N., and P. Hall. 2001. Factors determining the modes of tree death in three Bornean rain forests. *Journal of Vegetation Science* **12**:337-346.
- Krasny, M. E., and M. C. Whitmore. 1992. Gradual and sudden forest canopy gaps in Allegheny northern hardwood forest. *Canadian Journal of Forest Research* **22**:139-143.
- Lieberman, D., M. Lieberman, R. Peralta, and G. S. Hartshorn. 1985. Mortality patterns and stand turnover rates in a wet tropical forest in Costa Rica. *Journal of Ecology* **73**:915-924.
- Magusson, W. E., A. P. Lima, and O. De Lima. 1996. Group lightning mortality of trees in a Neotropical forest. *Journal of Tropical Ecology* **12**:899-903.
- Phillips, O., P. Hall, A. H. Gentry, S. A. Sawyer, and R. Vásquez. 1994. Dynamics and Species richness of tropical rain forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* **91**:2805-2809.
- Putz, F. E. 1983. Treefall pits and mounts, buried seeds, and the importance of soil disturbance to pioneer trees on Barro Colorado Island, Panama. *Ecology* **64**:1069-1074.
- Putz, F. E. 1984. The natural history of lianas on Barro Colorado Island, Panama. *Ecology* **65**:1713-1724.
- Putz, F. E., P. D. Coley, K. Lu, A. Montalvo, and A. Aiello. 1983. Uprooting and snapping of trees: Structural determinants and ecological consequences. *Canadian Journal of Forest Research* **13**:1011-1020.
- Sheil, D., D. F. R. P. Burslem, and D. Alder. 1995. The interpretation and misinterpretation of mortality rate measures. *Journal of Ecology* **83**:331-333.
- Swaine, M. D., D. Lieberman, and F. E. Putz. 1987. The dynamics of tree populations in the tropical forest: a review. *Journal of Tropical Ecology* **3**:359-366.
- Whitmore, T. C. 1978. Gaps in the forest canopy. *in* P. B. Tomlinson and M. H. Zimmermann, editors. *Tropical Trees as Living Systems -- The Proceedings of the Fourth Cabot Symposium*. Cambridge University Press, Cambridge.