

Estudiando el Amazonas: la experiencia de la Red Amazónica de Inventarios Forestales

G. Lopez-Gonzalez ¹, O.L. Phillips ¹

(1) School of Geography, University of Leeds, Leeds, UK

➤ Recibido el 7 de diciembre de 2011, aceptado el 20 de marzo de 2012.

Lopez-Gonzalez, G., Phillips, O.L. (2012). Estudiando el Amazonas: la experiencia de la Red Amazónica de Inventarios Forestales. *Ecosistemas* 21(1-2):118-125.

El establecimiento y monitoreo de parcelas permanentes en los trópicos es indispensable para entender la dinámica y biodiversidad de los bosques tropicales. La conformación de la Red Amazónica de Inventarios Forestales (RAINFOR) ha permitido estudiar el Amazonas a nivel regional y ha promovido el intercambio de información entre investigadores independientes.

En esta revisión se presentan: a) los objetivos y lecciones aprendidas por la red RAINFOR; b) la importancia de ForestPlots.net como herramienta de apoyo para una red de parcelas forestales; y c) algunos de los principales descubrimientos científicos generados por RAINFOR.

RAINFOR es una red científica que en los últimos diez años ha colectado, organizado y analizado datos de más de 200 parcelas forestales. Las mediciones diamétricas y la información taxonómica se guardan y manejan en la base de datos ForestPlots.net. Algunos de los principales descubrimientos de RAINFOR incluyen: 1) el incremento en biomasa en el Amazonas; 2) la diferencia en las tasas de recambio y biomasa entre la región Occidente y los bosques del Centro-Este; 3) cambios a largo plazo en la densidad de lianas, e incrementos en la mortalidad a corto plazo en respuesta a la sequía.

Dada la importancia del Amazonas, debido a su gran diversidad y su contribución al ciclo global de carbono, es necesario continuar con proyectos de investigación que permitan entender su repuesta a los cambios ambientales.

Palabras clave: base de datos, biomasa, carbono, ForestPlots.net, parcelas a largo plazo, mortalidad, RAINFOR, reclutamiento.

Lopez-Gonzalez, G., Phillips, O.L. (2012). Studying the Amazon: the experience of the Amazon Forest Inventory Network. *Ecosistemas* 21(1-2):118-125.

Establishing and monitoring permanent plots in the tropics is essential to understand the dynamics and biodiversity of tropical forests. The development of the Amazon Forest Inventory Network (RAINFOR) has allowed researchers to study the Amazon at a regional level and has promoted the exchange of information between independent researchers.

This review presents: a) the objectives and lessons learnt by the RAINFOR network; b) the importance of ForestPlots.net as a tool for a forest plots network; and c) some of the major scientific discoveries generated by RAINFOR.

RAINFOR is a scientific network that in the last ten years has collected organised and analysed data from more than two hundred plots. Diametric measurements and taxonomic information are stored and managed in the database ForestPlots.net. Some of the key findings include: 1) the increase in biomass in the Amazon; 2) the difference in turnover rates and biomass between the West and Central-East regions; 3) long-term increases in liana densities, and short-term increase in mortality in response to drought. Given the importance of the Amazon, due to its diversity and its contribution to the global carbon cycle, it is necessary to develop research projects that will allow us to understand how it responds to environmental changes.

Key words: database, biomass, carbon, ForestPlots.net, long term plots, mortality, RAINFOR, recruitment

Introducción

Los bosques tropicales son sistemas con gran diversidad biológica, en los cuales se encuentran aproximadamente 50% de las especies terrestres (Heywood 1995). Los bosques tropicales además ofrecen servicios ecosistémicos con impacto a nivel global (Balvanera 2012), ya que procesan y almacenan cantidades significativas de carbono (Denman et al. 2007) y promueven la formación de nubes y lluvia a nivel regional (Bala et al. 2007).

Los bosques del Amazonas juegan un papel importante en el ciclo de carbono, se ha estimado que estos bosques procesan anualmente mediante fotosíntesis y respiración 18 Pg C, lo que equivale aproximadamente a más del doble del CO₂ por emisiones de origen fósil (Mahli y Grace 2000). Debido a su contribución en el ciclo de carbono, cambios relativamente pequeños en la dinámica de los bosques del Amazonas pueden potencialmente afectar la concentración de CO₂ en la atmósfera y afectar la tasa de cambio climático (Phillips et al. 2009a).

El establecimiento y monitoreo de parcelas permanentes en los trópicos ha contribuido al entendimiento de la dinámica y biodiversidad de los bosques tropicales y su relación con el clima y suelos locales. En esta revisión se presentan: a) los objetivos y lecciones aprendidas por la Red Amazónica de Inventarios Forestales (RAINFOR); b) la importancia de ForestPlots.net como herramienta de manejo y análisis de datos de parcelas forestales; y c) algunos de los principales descubrimientos científicos generados por RAINFOR.

Objetivos y Estrategias de la Red Amazónica de Inventarios Forestales

La Red Amazónica de Inventarios Forestales (RAINFOR) se estableció en un inicio como parte de CARBONSINK - una contribución Europea al experimento de gran escala de la atmósfera en el Amazonas (The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia, LBA, <http://lba.cptec.inpe.br/lba/>). La red ha crecido y se ha fortalecido gracias a la visión a largo plazo de los investigadores miembros de la misma. En la actualidad RAINFOR cuenta con más de cien participantes de América del Sur, Europa y los Estados Unidos. Los miembros de RAINFOR son investigadores independientes interesados en estudiar diferentes aspectos de la ecología del Amazonas.

Los objetivos científicos de la red son: a) relacionar la biomasa, la estructura y las dinámicas de los bosques con el clima local y las propiedades del suelo, b) comprender el impacto del clima y el suelo en los cambios futuros de la estructura y la dinámica del bosque, c) estudiar las relaciones entre productividad, mortalidad, biomasa y biodiversidad, d) investigar el impacto del cambio climático en la biomasa y la productividad de los bosques Amazónicos, y e) examinar la variabilidad de la biodiversidad de árboles y su relación con los suelos y el clima a través de la Amazonía. RAINFOR también tiene como objetivos facilitar el intercambio de ideas y de información entre los miembros de la red, promover el desarrollo de jóvenes investigadores, principalmente de los países que conforman el Amazonas, y difundir los resultados sobre el balance de carbono en el Amazonas al público general, la comunidad científica y los tomadores de decisiones (Malhi et al. 2002, www.rainfor.org).

Estrategias para el funcionamiento de RAINFOR

Promover una red internacional no es una tarea fácil ya que hay que tener en cuenta las preocupaciones científicas y prácticas de los diferentes participantes, así como las diferencias culturales y de lenguaje. En la etapa inicial del establecimiento de RAINFOR se identificaron y discutieron las dificultades para su funcionamiento entre las que destacan: a) protección de los derechos de los proveedores/colectores de datos; b) protocolos estandarizados para la colecta de datos; 3) selección no aleatoria de sitios de muestreo (Malhi et al. 2002).

En nuestra experiencia, para establecer una red duradera y eficiente es necesario contar con un código de ética y políticas de intercambio de datos y publicación que proteja los derechos de propiedad. El código de ética RAINFOR (http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/rainfor/pages/manuals_eng.html) especifica que el intercambio de datos acordado entre investigadores no implica la transferencia de derechos para la publicación de los datos. Los proveedores de datos deben ser informados de las posibles publicaciones que incluyan sus datos, además deben ser invitados como co-autores y participar en la preparación científica de artículos que utilicen sus datos. Esta estrategia enriquece el proceso de intercambio de información y promueve el intercambio de ideas.

Uno de los principales retos para el análisis de datos históricos provenientes de diferentes fuentes es la disparidad de metodologías aplicadas para la toma y colecta de datos. Para facilitar la comparación entre sitios se han desarrollado metodologías estándar las cuales se deben aplicar durante las re-mediciones o en el establecimiento de nuevas parcelas. En las parcelas RAINFOR se etiquetan, identifican, miden y monitorean todos los árboles con un diámetro mínimo de 10 cm a 1.3 m (diámetro a la altura del pecho, dap). El diámetro de los árboles con deformidades o contrafuertes se mide por encima

de éstas y el punto de medición es registrado en las hojas de campo. En las subsecuentes campañas de monitoreo se registra si los árboles previamente medidos están vivos o muertos, los árboles sobrevivientes son re-medidos y los árboles que son reclutados (árboles que alcanzan un dap ≥ 10 cm) son etiquetados, identificados y medidos. Esto permite calcular; a) área basal; b) biomasa aérea, utilizando ecuaciones alométricas (Baker et al. 2004a; Chave et al. 2005; Feldpausch et al. 2010); c) crecimiento de los árboles; d) reclutamiento en cada censo, en función del número de individuos; y e) mortalidad, en número de individuos muertos en cada censo. La información detallada sobre el establecimiento y monitoreo de las parcelas de la red se encuentra en el manual de establecimiento y remediación (Phillips et al. 2009b; http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/rainfor/pages/manuals_eng.html).

RAINFOR también ha desarrollado protocolos para el análisis de suelos y hojas, monitoreo intensivo de suelos, hojas, altura de los árboles, raíces y densidad de la madera (http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/rainfor/pages/manuals_eng.html). Además se ha trabajado en el análisis de datos de múltiples sitios y el desarrollo de bases de datos que faciliten el manejo de la información, las cuales se presentan más adelante.

Para la selección de nuevos sitios de muestreo la estrategia RAINFOR incluye el establecimiento de nuevas parcelas a través de los diferentes ejes edáficos y climáticos presentes en el Amazonas (Malhi et al. 2002). Las nuevas parcelas deben establecerse de manera aleatoria dentro de una localidad, teniendo en cuenta el tipo de suelo, acceso adecuado a la parcela, perturbaciones atropogénicas potenciales y financiamiento para el monitoreo a largo plazo (Phillips et al. 2009b), y evitando en la medida de lo posible sesgos relacionados con la accesibilidad (proximidad a caminos) o estado sucesional del bosque (Malhi et al. 2002).

La primera campaña de campo de RAINFOR se realizó en el año 2001 (Malhi et al. 2002), durante la cual se re-midieron menos de 100 parcelas. Actualmente la red cuenta con más de 200 parcelas (Fig. 1). El incremento en el número de parcelas refleja: 1) la incorporación de nuevos participantes a la red, los cuales inicialmente establecieron parcelas de manera independiente, y 2) el establecimiento de nuevas parcelas RAINFOR.



Figura 1. Mapa de las parcelas RAINFOR. Parcelas establecidas y monitoreadas por miembros de RAINFOR (☆); Parcelas establecidas por otras redes y colaboradores con las cuales RAINFOR ha establecido convenios de intercambio de información (○). En el mapa se muestra la ubicación aproximada de las regiones Este, Oeste y Centro del Amazonas.

Base de datos ForestPlots.net: una herramienta para el análisis de datos de parcelas monitoreadas a largo plazo

En los primeros años, después del establecimiento de RAINFOR, cada investigador independiente guardaba y manipulaba su información en archivos que no seguían un formato estándar. Al aumentar el número de parcelas y miembros de la red, surgió la necesidad de compilar la información de manera estandarizada. En el año 2004 se diseñó la base de datos RAINFOR, con la cual por primera vez se consolidó la información de la red y se estandarizó la taxonomía de los árboles monitoreados (Peacock et al. 2007). Sin embargo, esta base de datos tenía una funcionalidad limitada y su acceso estaba restringido a un usuario a la vez. Para facilitar el acceso a la información colectada por la red se desarrolló la base de datos y aplicación Forestplots.net (Lopez-Gonzalez et al. 2010). ForestPlots.net permite a los usuarios manejar su información en línea de manera segura, y promueve el intercambio de información entre la comunidad científica. La funcionalidad de la base de datos se describe en detalle en Lopez-Gonzalez et al. (2010).

Esta aplicación también proporciona acceso al público a los datos de las remediciones realizadas desde el 2008 cuando la red recibió una beca importante del programa Andes y Amazonia de la Fundación Moore (Gordon and Betty Moore Foundation). A la fecha, más de 150 censos de parcelas re-medidas desde el año 2008 se encuentran disponibles al público. Los interesados en ver y utilizar esta información sólo deben registrarse y aceptar las condiciones de uso (<http://www.forestplots.net/RequestAccess.aspx>).

De acuerdo con la información registrada en el "Global Index on Plot-Based Vegetation Databases" (GIVD; <http://www.givd.info/>; Dengler et al. 2011), ForestPlots.net es una de las pocas bases de datos diseñada para el estudio de los bosques tropicales. Esta base de datos cuenta no sólo con datos del Amazonas (RAINFOR, Mahli et al. 2002) sino también de África (African Tropical Rainforest Observation Network, AfriTRON, Lewis et al. 2009a) y otras regiones de los trópicos.

Descubrimientos científicos generados por RAINFOR

Phillips y Gentry (1994) documentaron por primera vez el incremento de las tasas de recambio de los bosques tropicales, incluyendo el Amazonas, y el incremento en la densidad de lianas y estranguladoras en parcelas localizadas en el Neotrópico. En un estudio subsecuente Phillips et al. (1998) encontraron un incremento en la biomasa aérea en parcelas Neotropicales, sugiriendo que los bosques de esta región actúan como un sumidero de carbono.

Estos resultados generaron un debate sobre las posibles causas de los cambios en la dinámica de los bosques tropicales, incluyendo problemas metodológicos y estadísticos como posibles causas (Clark 2002). Durante el establecimiento de RAINFOR se discutieron los posibles impactos de los errores metodológicos y de selección de sitio mejorando la estrategia de muestreo y de análisis de la red. El impacto de los diferentes problemas de muestreo de parcelas forestales se discute en profundidad en Phillips et al. (2002).

En esta sección se presentan algunos de los principales resultados publicados desde del establecimiento de RAINFOR. Baker et al. (2004a) estudiaron los cambios en la biomasa aérea utilizando 59 sitios del Amazonas, con parcelas establecidas entre 1979 y 1998. Los cambios en la biomasa de cada parcela se evaluaron comparando la biomasa en el año de establecimiento (fecha promedio de establecimiento = 1988) y el último muestreo (previo al año 2002; fecha promedio del último censo = 2000). Las parcelas estudiadas presentaron un incremento en la biomasa aérea desde su establecimiento equivalente a $1.22 \pm 0.40 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Estos resultados sugieren una tasa de cambio equivalente o tal vez mayor a la reportada previamente por Phillips et al. (1998).

Además del incremento en biomasa, también se han observado diferencias regionales en la biomasa aérea de los bosques del Amazonas. Los bosques de la región Centro y Este del Amazonas presentan en general una biomasa aérea mayor que los bosques del Noroeste o Sureste (Baker et al. 2004b). La diferencia en la biomasa aérea está relacionada con la densidad específica de la madera de las especies encontradas en estos sitios. Las regiones con alta biomasa presentan una mayor proporción de especies con valores altos de densidad específica de la madera, dominadas por familias con madera densa como Lecythidaceae, Chrysobalanaceae, y la subfamilia Caesalpinaceae.

El estudio de la dinámica del Amazonas realizado por Lewis et al. (2004a), documentó por primera vez, para esta región, los cambios en los flujos de mortandad y crecimiento en décadas recientes. El análisis de 50 parcelas monitoreadas a largo plazo indica que, en las tres décadas anteriores al 2002, éstas mostraron un incremento en el área basal ($0.10 \pm 0.04 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), densidad de individuos ($0.94 \pm 0.63 \text{ individuos ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), tasas de reclutamiento y mortandad. Además, en estas parcelas se encontró que la ganancia en términos de incremento del área basal y reclutamiento excedían de manera consistente las

pérdidas en área basal y de individuos, por lo menos en las décadas de los 80 y 90. El incremento en las tasas de crecimiento y mortalidad, junto con el incremento en área basal sugieren que los cambios observados en la dinámica de estas parcelas corresponden a un incremento de los recursos disponibles.

En relación a la magnitud de la dinámica forestal, los bosques del Amazonas se pueden clasificar de manera general en lentos y rápidos (Lewis et al. 2004a). Los bosques rápidos se localizan en su mayoría en la región Oeste, y los bosques lentos en las regiones Centro y Este. Ambos tipos de bosques han mostrado un incremento en las tasas de reclutamiento y mortalidad, e incrementos del área basal. Las tasas de recambio absolutas de los bosques rápidos son, en promedio, el doble de las observadas en los bosques lentos. Análisis recientes muestran que esta gran diferencia en la ecología de los bosques amazónicos se debe a factores edáficos, y en particular, a las características físicas de los suelos. Los suelos de la región Oeste son menos profundos, mas arcillosos y más susceptibles a ser anegados (p.e., Aragão et al. 2009; Chao et al. 2008; Quesada et al. 2009).

Un estudio reciente sobre la biomasa del Amazonas, en el cual se incluyen 123 parcelas distribuidas a lo largo de diferentes gradientes ambientales por toda la cuenca del Amazonas, detectó un incremento en la biomasa aérea en la mayoría de las parcelas para el periodo de 1980 a 2005 (Phillips et al. 2009a). Estos resultados son consistentes con resultados previos que indican que la productividad del Amazonas está incrementando.

En África, donde se encuentra el 30% de los bosques tropicales (Mayaux et al. 2005), un análisis similar realizado por la Red de Observación de Bosques Tropicales de África (African Tropical Rainforest Observation Network, AfriTRON, www.afritron.org) encontró que los bosques tropicales de África tuvieron un incremento en la biomasa aérea en el periodo 1968-2007 (Lewis et al. 2009a). Al extrapolar y combinar la información de las parcelas monitoreadas en el Amazonas y los bosques tropicales de África, se estima que, de manera conjunta, estos bosques actúan como un sumidero de carbono (Lewis et al. 2009a).

A pesar de que el Amazonas ha ganado biomasa por muchos años, este proceso puede ser revertido fácilmente por cambios en el clima. En el 2005 el Amazonas sufrió una sequía anómala asociada con un incremento en la temperatura de la superficie del Océano Atlántico. Coincidiendo con la sequía se encontró que la mitad de las parcelas monitoreadas por la red tuvieron una disminución en biomasa. Esta disminución se debe a eventos ocasionales de mortalidad y una reducción del crecimiento generalizada. Además se encontró que los árboles que murieron durante la sequía tenían una densidad de la madera menor que los árboles muertos previos a este evento, lo que sugiere que las sequías pueden impactar la composición de los bosques del Amazonas (Phillips et al. 2009a). Esto sugiere que, si el clima cambia en el Amazonas a un régimen con sequías más severas y frecuentes, se afectaría la capacidad del Amazonas para actuar como sumidero de carbono (Phillips et al. 2009a).

Es probable que los cambios en la composición de especies y función del bosque se presenten a la par de los cambios observados en la estructura y dinámica de los bosques del Amazonas. Phillips et al. (2002) encontraron en parcelas localizadas en la región Oeste del Amazonas un incremento en la densidad, área basal y tamaño promedio de las lianas. Por otro lado, se ha encontrado que las lianas también reducen el crecimiento diamétrico y el incremento de la biomasa aérea de los árboles hospedadores por, aproximadamente, $0.51 \text{ Mg peso seco ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (van der Heijden y Phillips 2009). El incremento en la dominancia de las lianas, al afectar el incremento de biomasa y carbón de los bosques tropicales puede alterar su función en el ciclo del carbono.

¿Qué factores afectan a los bosques del Amazonas?

Lewis et al. (2004a) identificaron nueve posibles factores que afectan el crecimiento, reclutamiento y mortalidad de los árboles en bosques tropicales: a) incrementos en la temperatura atmosférica; b) cambios en la precipitación; c) cambios en la radiación solar; d) cambios en la frecuencia y/o intensidad de eventos con condiciones climáticas extremas; e) aumento de la concentración atmosférica de CO_2 ; f) incremento en la deposición de nutrientes (N y P); g) ozono y deposición ácida; h) presión por caza; i) cambio de uso del suelo; y j) cambios biológicos como la abundancia de lianas.

De los factores mencionados por Lewis et al. (2004a), los dos cambios ambientales más generalizados y evidentes que los bosques tropicales han experimentado en las décadas recientes son: a) un incremento en temperatura de $0.026 \pm 0.005^\circ\text{C a}^{-1}$ de 1978 a 1998 (Malhi y Wright 2004), y b) un incremento en las concentraciones atmosféricas de CO_2 de 1.66 ppm a^{-1} ó $0.46\% \text{ a}^{-1}$ desde 1980 a 2007 (Keeling y Whorf 2008).

El incremento en la biomasa aérea y la dinámica de los bosques del Amazonas sugiere que los cambios observados en esta región responden a un incremento en la disponibilidad de recursos que promueven el crecimiento. El incremento del CO_2 atmosférico es probablemente la causa principal de los cambios observados debido a su efecto positivo en las tasas de crecimiento, el cual se ha observado en plantas individuales y bosques completos. Sin embargo, dado que los posibles factores que afectan el crecimiento pueden afectar al bosque de manera conjunta, es necesario continuar su monitoreo. El

impacto de los diferentes factores ambientales en la dinámica de los árboles se discute en profundidad en Lewis et al. (2004b) y Lewis et al. (2009b).

El futuro de la Red Amazónica de Inventarios Forestales

Los bosques del Amazonas continúan siendo monitoreados por RAINFOR. Los datos de 150 campañas de campo post-sequía del 2005 están siendo utilizadas para evaluar si la biomasa y la dinámica de los bosques han regresado a niveles previos a ésta. En el año 2010 el Amazonas sufrió otra sequía severa, durante la cual también se realizaron mediciones. El análisis de los datos colectados en años recientes ayudará a entender qué tan susceptible es el Amazonas a la sequía, y qué especies de árboles y grupos funcionales son más resistentes a la misma.

Para responder a las nuevas interrogantes es necesario continuar involucrando a jóvenes investigadores, estudiantes de maestría y doctorado en el proceso de investigación. La organización de talleres en técnicas de campo y de análisis de datos y redacción de artículos debe ser parte complementaria a las actividades de monitoreo de parcelas. Recientemente RAINFOR organizó un taller de análisis de datos y desarrollo de manuscritos en el cual se dio entrenamiento a jóvenes investigadores en el uso de ForesPlots.net. Además se utilizaron los datos disponibles públicamente en esta aplicación para aprender nuevas técnicas de análisis estadístico.

El intercambio de ideas e información con otras redes permite examinar hipótesis a nivel continental, pantropical y global. Por ejemplo, la colaboración con AfriTRON permitió corroborar que el incremento en biomasa aérea no se limita sólo a los bosques del Amazonas. Además, al establecer convenios con otras redes se evita la duplicidad en la colecta de información y se maximiza el uso de la información capturada por los diferentes grupos. RAINFOR colabora con la Red de Información Botánica (BIEN, <http://www.nceas.ucsb.edu/featured/enquist>) y la Red de Diversidad de Árboles del Amazonas (Amazon Tree Diversity Network, ATDN, <http://web.science.uu.nl/Amazon/ATDN/>). Las ventajas del intercambio de datos han sido discutidas previamente en esta revista (Alonso y Valladares 2006).

Conclusión

El establecimiento de la Red Amazónica de Inventarios Forestales ha facilitado el entendimiento de los procesos ecológicos en el Amazonas. El desarrollo de la Red ha permitido la consolidación y la estandarización de la información, así como la estandarización de los protocolos de muestreo, lo que permite la comparación entre sitios y evaluar la ecología del Amazonas a nivel regional.

El análisis de las parcelas RAINFOR ha permitido establecer que los bosques del Amazonas son dinámicos y actúan como un sumidero de carbono y que las condiciones de sequía pueden revertir este proceso. Es necesario continuar monitoreando los bosques del Amazonas para evaluar su respuesta al cambio climático y participar en el diseño de mejores estrategias de manejo y conservación de los bosques de esta región.

Agradecimientos

El desarrollo de RAINFOR y ForestPlots.net es posible gracias al financiamiento y apoyo de Gordon Moore Foundation, y diferentes fondos de investigación de la Unión Europea y la Natural Environment Research Council (NERC), incluyendo el programa NERC-AMAZONICA.

Referencias

- Alonso, B., Valladares, F. 2006. Bases de datos y metadatos en ecología: compartir para investigar en cambio global. *Ecosistemas* 15(2):83-88.
- Aragão, L.E.O.C., Malhi, Y., Metcalfe, D.B., Silva-Espejo, J.E., Jiménez, E., Navarrete, D., Almeida, S., Costa, A.C.L., Salinas, N., et al. 2009. Above- and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils. *Biogeosciences*. 6:2441-2488.
- Baker, T.R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., Erwin, T., Higuchi, N., Killeen, T.J., et al. 2004a. Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 359:353-365.

- Baker, T. R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., Erwin, T., Killeen, T.J., Laurance, S.G., et al. 2004b. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology* 10:545-562.
- Bala, G., Caldeira, K., Wickett, M., Phillips, T.J., Lobell, D.B., Delire, C., Mirin, A. 2007. Combined climate and carbon-cycle effects of large-scale deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 104:6550-6555.
- Balvanera, P. 2012. Los servicios ecosistémicos que proveen los bosques neotropicales. *Ecosistemas* 21(1): 136-147.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., et al. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145:87-99.
- Chao, K-J, Phillips, O.L., Monteagudo, A., Torres-Lezama, A., Vásquez-Martínez, R. 2009. How do trees die? Mode of death in northern Amazonia. *Journal of Vegetable Science* 20:260-268.
- Clark, D.A. 2002. Are tropical forests an important global carbon sink?: revisiting the evidence from long-term inventory plots. *Ecological Applications* 12:3-7.
- Dengler, J., Jansen, F., Gloeckler, F., Peet, R.K., De Caceres, M., Chytry, M., Ewald, J., Oldeland, J., Lopez-Gonzalez, G., et al. 2011. The Global Index of Vegetation-Plot Databases (GIVD): a new resource for vegetation science. *Journal of Vegetable Science* 22:582-597.
- Denman, K.L., Brasseur, G., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P.M., Dickinson, R.E., Hauglustaine, D., Heinze, C., Holland, E. et al. 2007: Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. En: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (eds.). *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IVth*, pp: 501-587. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Feldpausch, T.R., Banin, L., Phillips, O.L., Baker, T.R., Lewis, S.L., Quesada, C.A., Affum-Baffoe, K., Arets, E.J.M.M., et al. 2010. Height-diameter allometry of tropical forest trees. *Biogeosciences* 8:1081-1106.
- Heywood, V.H. 1995. *Global Biodiversity Assessment*. United Nations Environment Programme. Cambridge University Press, Cambridge.
- Keeling, C.D., Whorf, T.P. 2008. *Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO sampling network in Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge TN, USA.
- Lewis, S.L., Lopez-Gonzalez, G., Sonke, B., Affum-Baffoe, K., Baker, T.R., Ojo, L.O., Phillips, O.L., Reitsma, J.M., White, L., et al. 2009a. Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature* 457:1003–U1003.
- Lewis, S.L., Lloyd, J., Sitch, S., Mitchard, E.T.A., Laurance, W.F. 2009b. Changing ecology of tropical forests: evidence and drivers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 40:529-549.
- Lewis, S.L., Malhi, Y., Phillips, O.L. 2004a. Fingerprinting the impacts of global change on tropical forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 359:437-62
- Lewis, S.L., Phillips, O.L., Baker, T.R., Lloyd, J., Malhi, Y., Almeida, S., Higuchi, N., Laurance, W.F., Neill, D.A., et al. 2004b. Concerted changes in tropical forest structure and dynamics: evidence from 50 South American long-term plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 359:421-436.
- Lopez-Gonzalez, G., Lewis, S.L., Burkitt, M., Phillips, O.L. 2010. ForestPlots.net: a web application and research tool to manage and analyse tropical forest plot data. *Journal of Vegetable Science* 22:610-613.
- Malhi, Y., Grace, J. 2000. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology and Evolution* 15:332-337.
- Malhi, Y., Phillips, O.L., Lloyd, J., Baker, T., Wright, J., Almeida, S., Arroyo, L., Frederiksen, T., Grace, J., et al. 2002. An international network to monitor the structure, composition and dynamics of Amazonian forests (RAINFOR). *Journal of Vegetable Science* 13:439-450.

- Malhi, Y., Wright, J. 2004. Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 359:311-29.
- Mayaux, P., Holmgren, P., Achard, F., Eva, H., Stibig, H., Branthomme, A. 2005. Tropical forest cover change in the 1990s and options for future monitoring. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 360:373-384.
- Peacock, J., Baker, T.R., Lewis, S.L., Lopez-Gonzalez, G., Phillips, O.L. 2007. The RAINFOR database: monitoring forest biomass and dynamics. *Journal of Vegetable Science* 18:535-542.
- Phillips, O.L., Aragao, L., Lewis, S.L., Fisher, J.B., Lloyd, J., Lopez-Gonzalez, G., Malhi, Y., Monteagudo, A., Peacock, J., et al. 2009a. Drought sensitivity of the Amazon Rainforest. *Science* 323:1344-1347.
- Phillips, O.L., Baker, T.R., Feldpausch, T.R., Brienen R. 2009b. RAINFOR field manual for plot establishment and remeasurement. Disponible en:
http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/rainfor/manuals/RAINFOR_field_manual_version_June_2009_ENG.pdf
- Phillips, O.L., Gentry, A.H. 1994. Increasing turnover through time in tropical forests. *Science* 263:954–58
- Phillips, O.L., Malhi, Y., Higuchi, N., Laurance, W.F., Nunez, P.V., Vasquez, R.M, Laurance, S.G., Ferreira, L.V., Stern, M., et al. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long-term plots. *Science* 282:439-442.
- Phillips, O.L., Malhi, Y., Vinceti, B., Baker, T.R., Lewis, S.L., Higuchi, N., Laurance, W.F., Vargas, P.N., Martinez, R.V., et al. 2002. Changes in growth of tropical forests: Evaluating potential biases. *Ecological Applications* 12:576-587.
- Phillips, O.L., Martinez, R.V., Arroyo, L., Baker, T.R., Killeen, T., Lewis, S.L., Malhi, Y., Mendoza, A.M., Neill, D., et al. 2002. Increasing dominance of large lianas in Amazonian forests. *Nature* 418:770-774.
- Quesada, C.A., Lloyd, J., Anderson, L.O., Fyllas, N.M., Schwarz, M., Czimczik, C.I. 2011. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences* 8:1415-1440.
- van der Heijden, G.M.F., O.L. Phillips. 2009. Liana infestation impacts tree growth in a lowland tropical moist forest. *Biogeosciences* 6:2217-2226.