

## ¿POR QUÉ IMPLEMENTAR ESTUDIOS DE LARGO PLAZO EN EL BOSQUE SECO DEL CARIBE COLOMBIANO?

### WHY TO IMPLEMENT LONG-TERM STUDIES IN THE COLOMBIAN CARIBBEAN DRY FOREST?

*Esteban Álvarez, Irina Mendoza, Marco Pacheco, Zorayda Restrepo, Doris Benítez, Tomas Darío Gutiérrez, Olga Cecilia Ramírez, Juan Carlos Dib, Alvaro Roldan, Eduino Carbone, Esteban Zarza, Luis Alberto Velásquez, Marcela Serna, Cesar Velásquez, Yadis Álvarez, Oscar Jiménez, Marta Martínez, Alvaro Idarraga, Francisco Gómez*

#### RESUMEN

Los ecosistemas secos ocupan casi la mitad del área total de franja tropical y están entre los más amenazados por las actividades humanas a escala global. El reconocimiento creciente de la importancia de conservar los pocos remanentes que quedan y de iniciar actividades de restauración, resalta la importancia de establecer programas de monitoreo del bosque seco. En 2001 se inició el establecimiento de parcelas permanentes de monitoreo del bosque seco Caribe, con el apoyo de instituciones nacionales e internacionales; a la fecha existen 11 ampliamente distribuidas en algunos de los remanentes de bosque seco más importantes de la costa Caribe. Los resultados provenientes de la red incluyen el contenido de carbono y la diversidad del bosque en relación con variables climáticas, tasas de fijación de carbono y dinámica de poblaciones de especies importantes para la restauración. No obstante, la falta de apoyo institucional a nivel nacional y regional, con algunas excepciones importantes, pone en peligro la continuidad de este proyecto de alta importancia para la conservación del bosque seco en el contexto de la adaptación al cambio climático. Actualmente, otras instituciones han replicado esta iniciativa y avanzado aisladamente en el establecimiento de nuevos sitios de monitoreo de los bosques del Caribe. Es altamente prioritario trabajar por la integración de estos esfuerzos ya que pueden ser la base para un programa de monitoreo más ambicioso de los bosques del Caribe. Para ello se requiere el interés y el compromiso de instituciones e investigadores de la región Caribe.

**PALABRAS CLAVE:** Cambio climático, bosque seco tropical, diversidad, carbón, dinámica.

#### ABSTRACT

Dry forests represent almost half of the world's tropical forests and they are the most threatened ecosystems by human activities. The growing a knowledge in preservation of the few remaining underlines the significance of establishing monitoring strategies for dry forests which would illustrate their role in the context of the tropical forests' preservation. In 2001, we began to establish permanent monitoring parcels in the Caribe dry forest. Today, with the support of both, national and international institutions and local actors, a network of 11 widely spread across the region parcels has been established to cover the most important remnants of dry forest from the Caribbean coast, accounting all climatic gradients present. The results obtained by the network include: contents of carbon and forest diversity in relation with climatic variables, carbon fixation rates and population dynamics of important species for the restoration. However, the lack of institutional support at regional and national levels, with some important exceptions, puts at risk the continuity of this important project for the dry forest preservation in

#### Dirección de los autores:

Laboratorio de Servicios Ecosistémicos y Cambio Climático, Jardín Botánico de Medellín. Calle 73 N 51D - 14, Medellín, Colombia [esalvarez3000@gmail.com](mailto:esalvarez3000@gmail.com) (E.A., I.M., M.P., Z.R., D.B., Y.A). Red Amazónica de Inventarios Forestales, RAINFOR, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, Reino Unido (E.A., I.M., M.P., Z.R). Santuario de Vida Silvestre Los Besotes. Calle 17 No. 4-06 Santa Marta, Colombia. (T.D.G). CARDIQUE. Transv. 52 No. 16-190 Cartagena de Indias, Colombia. (O.C.R). Reserva Kalashe. Calle 30 No. 18-99 Santa Marta, Colombia. (J.C.D). Reserva Sanguaré. Calle 9 No. 43 B-36 Medellín, Colombia. (A.R). Universidad del Magdalena. Carrera 32 No 22 - 08 Santa Marta, Colombia. (E.C). Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo. Carrera 10 No. 20-30 Bogotá, Colombia. (E.Z). Reserva Campo Alegre. Carrera 18 No.13-20. Montería, Colombia. (L.A.V). Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria. Calle 78 B No. 72 A-220 Medellín, Colombia. (M.S). Integral S.A. Carrera 42 No. 52-36, Medellín Colombia. (C.C.V.) Ecoagua, Cr 1 17-92, Of 402, Santa Marta, Colombia. (O.J., M.M). Universidad de Antioquia, Calle 67 Número 53 - 108 Medellín, Antioquia (A.I., F.G).



context of climatic change adaptation. Nowadays, other institutions have replied to this initiative and have made advances on their own, establishing new monitoring sites in the Caribbean forests. It is of high priority to work for the integration of these efforts in order to create a more ambitious strategy for monitoring the Caribbean forests. For this, interest and compromise from regional institutions and researchers are required.

**KEY WORDS:** Climatic change, dry forest, monitoring, diversity, carbon, dynamic.

## INTRODUCCIÓN

Aproximadamente 42% de la franja tropical terrestre corresponde a algún tipo de clima estacional seco, alcanzando una proporción de 49% en América Central y del Caribe (Murphy y Lugo, 1995). Las regiones con bosque seco tropical (Bs-T) están entre las más densamente pobladas del mundo y han sido seriamente degradadas, en una área total mucho mayor que la correspondiente a los bosques húmedos y pluviales (Mooney et al., 1995). Actualmente existe cerca de 1 millón de km<sup>2</sup> de remanentes de bosque seco en las tres regiones tropicales (Miles et al., 2006); la mitad en Sudamérica, y el área restante repartida en la misma proporción entre América Central, África y Asia. En Colombia existe poca claridad frente a la extensión del Bs-T (Ruiz y Fandiño, 2009), pero su estado de conservación es igual de alarmante. El estudio más citado señala que apenas el 1.5% de la extensión original de 80.000 km<sup>2</sup> de bosque seco correspondía a remanentes de vegetación natural en la década de los años 90 del siglo pasado (Etter, 1993, 1998), pero otros datos (IDEAM et al., 2007) registran 10.000 km<sup>2</sup> principalmente con vegetación secundaria.

En términos generales, el 97% del área remanente de Bs-T está en peligro y aunque la exposición a los diferentes tipos de amenaza varía entre las regiones, los bosques secos neotropicales parecen ser especialmente sensibles a la amenaza del cambio climático (Miles et al., 2006). En Colombia, el incremento en el nivel del mar puede afectar drásticamente los ecosistemas de la línea de costa en el Caribe (Castaño et al., 2010); adicionalmente, en la región se encuentran algunas de las áreas con las más altas temperaturas (promedio anual) para todo el neotrópico las cuales presentan una tendencia al incremento (IDEAM, 2009). También, los eventos anómalos de huracanes (Ruiz Linares y Fandiño Orozco, 2010) y de reducción de la precipitación registrados recientemente para el norte de Suramérica (Coelho et al., 2006; Lewis et al., 2011), pueden tener un impacto negativo sobre los remanentes de bosque seco en el Caribe colombiano.

Debido a su gran extensión, los bosques secos son valiosos en términos de su diversidad biológica y posiblemente por su función como fuentes o sumideros de CO<sub>2</sub> atmosférico (Jaramillo et al., 2003; Grace et al., 2006). Aunque la información es escasa, algunos trabajos sugieren que los bosques secos pueden tener un papel preponderante en ciclo global del carbono, más allá de lo que se ha sugerido hasta el momento; evidencias dispersas muestran por ejemplo que el carbono contenido en la biomasa subterránea de los bosques secos puede ser hasta tres veces mayor que la de los bosques húmedos (Cuevas, 1995; Sanford y Cuevas, 1996). Por lo tanto, es importante cuantificar la diversidad, la estructura, la biomasa, el contenido de carbono y la dinámica del bosque seco tropical con el fin de generar información que permita identificar con precisión el papel que desempeñan en el ciclo global del carbono y en el control del clima del planeta.

Para evaluar el balance de carbono en los bosques y comprender mejor el efecto ambiental en el crecimiento de los árboles es necesario disponer de sitios de monitoreo a largo plazo. Por esta razón, el establecimiento de parcelas permanentes de vegetación (PPV, de aquí en adelante), se ha extendido en forma considerable en la última década contribuyendo a identificar el papel preponderante de los bosques tropicales en el ciclo global de carbono (Malhi et al., 2002). Los estudios con base en PPV han permitido comprobar el efecto negativo de la deforestación de los bosques tropicales en el clima del planeta y al mismo tiempo han proporcionado el conocimiento requerido para justificar la necesidad de conservarlos y de crear para ello mecanismos eficientes de financiación (IPCC, 2007). Adicionalmente, los estudios de monitoreo del bosque son importantes para el ordenamiento y restauración de cuencas hidrográficas, la conservación de hábitats, la explotación maderera de bajo impacto, entre muchas otras actividades relacionadas con el manejo del bosque (Franklin y Swanson, 2010). A pesar de su importancia, el monitoreo ha recibido poca atención en las regiones tropicales secas.

En Colombia existen iniciativas importantes para establecer una red de parcelas permanentes (Álvarez et al., 2002, 2007; Vallejo et al., 2005), pero se requiere incrementar los esfuerzos en ecosistemas como el bosque seco tropical, cuya importancia se ha subestimado en relación con los bosques húmedos (Álvarez et al., 2008). Desde comienzos de la década pasada en colaboración con un gran número de investigadores y organizaciones, locales y nacionales (Fundación Ecoparque Los Besotes, Proyecto Titi, Reserva Sanguaré, Reserva Kalashe, Parques Nacionales, Fundación CONVIDA, Interconexión Eléctrica S.A., CARDIQUE, Jardín Botánico de Medellín y RAINFOR, entre otras), hemos establecido PPV en algunos de los remanentes de bosque seco más importantes de la costa Caribe de Colombia y a la fecha se cuenta con unas 11 parcelas distribuidas ampliamente en la región. A pesar de las dificultades y escaso apoyo financiero, se ha podido generar información de algunas de las pocas áreas conservadas, desarrollando simultáneamente un proceso de capacitación de instituciones y jóvenes investigadores del Caribe. En este contexto, es alentador que la comunidad científica y las instituciones del Caribe colombiano (particularmente la Universidad del Magdalena) estén actualmente interesadas y comprometidas con la idea de iniciar investigaciones ecológicas a largo plazo del bosque seco (Salamanca et al., 2011).

Con el objetivo de poner un referente a estos esfuerzos, en este trabajo se presenta una descripción del trabajo de monitoreo del bosque seco desarrollado en la última década y discutimos la importancia del proyecto para contribuir a corto, mediano y largo plazo al conocimiento de la diversidad, el ciclo del carbono y dinámica de las poblaciones de árboles de los bosques secos del Caribe. Este artículo tiene un enfoque similar a otros (Malhi et al., 2002; Franklin y Swanson, 2010; Kattge et al., 2011; Anderson et al., 2012) donde se discuten aspectos relacionados con la implementación de estudios ecológicos de largo plazo y pretende: 1) Discutir la importancia de implementar un proyecto de monitoreo de los bosques del Caribe; 2) Presentar una síntesis de resultados existentes sobre su composición, estructura y dinámica; 3) A partir de la luz de estos resultados y de experiencias internacionales exitosas, presentar recomendaciones que puedan contribuir a la consolidación de un proyecto de monitoreo en la región.

## **IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE MONITOREO DEL BOSQUE CON ÉNFASIS EN LA REGIÓN CARIBE**

### **Generalidades del monitoreo del bosque**

En general, las PPV se han utilizado para evaluar la dinámica del bosque haciendo énfasis en las poblaciones y la comunidad de árboles, pero permitiendo además una enorme variedad de estudios ecológicos de largo plazo relacionados con todos los componentes bióticos y abióticos del ecosistema (Vallejo et al., 2005). En la última década, el énfasis en los servicios ecosistémicos provenientes de los bosques (regulación hídrica, conservación de la biodiversidad, almacenamiento y fijación de carbono, provisión de alimentos, entre otros, MEA, 2003) le dió un nuevo valor a las PPV. Por ejemplo, actualmente el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia (SINA) pretende implementar una red de PPV para la cuantificación y monitoreo de los Servicios Ecosistémicos del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia (Álvarez, 2012).

Aunque los protocolos para el establecimiento de PPV están estandarizados, las preguntas de investigación y la escala de trabajo requieren de diferentes aproximaciones metodológicas. En este sentido, es importante mencionar que actualmente existen redes internacionales de monitoreo, enfocadas en coleccionar y analizar información a escala global, con protocolos accesibles en internet. Ya que es necesario garantizar que los resultados sean comparables en la mayor escala posible, al momento de definir los objetivos de un proyecto de monitoreo del bosque es fundamental consultar de manera detallada los alcances y métodos de proyectos como RAINFOR ([www.rainfor.org](http://www.rainfor.org)), CTFS (<http://www.ctfs.si.edu/plots/>), TRY ([www.try-db.org](http://www.try-db.org)) y TropiDRY ([tropi-dry.eas.ualberta.ca](http://tropi-dry.eas.ualberta.ca)).

Es necesario también plantear objetivos concretos pero flexibles para incorporar en el tiempo nuevas preguntas de investigación o diferentes aproximaciones metodológicas. El proyecto RAINFOR es un buen ejemplo de este enfoque (Malhi et al., 2002). El interés principal de RAINFOR en sus inicios fue el de entender la relación entre los bosques de Amazonia y el ciclo global de carbono; a medida que se recopilaban nuevos datos se hallaron evidencias de que variables como la

composición y diversidad de especies arbóreas debían ser tenidas en cuenta para entender los patrones de almacenamiento (Baker et al., 2004) y fijación de carbono (Keeling et al., 2008). Esto presentó un nuevo reto para los investigadores que debían enfrentar la enorme diversidad del bosque tropical e impulsó el desarrollo de una nueva línea de investigación dirigida a interpretar la relación entre los rasgos funcionales de las especies (un rasgo funcional se define como cualquier característica medible de un individuo - morfológica, anatómica, bioquímica, fisiológica o fenológica - que afecta potencialmente su comportamiento o su éxito (Kattge et al., 2011), y el funcionamiento de los ecosistemas en el contexto del cambio climático global (McMahon et al., 2011). Este nuevo enfoque fue la base para la creación de una red que actualmente constituye uno de los proyectos más importantes y prometedores a escala global en relación con el conocimiento, uso, conservación y valoración del bosque tropical (ver proyecto TRY en <http://www.try-db.org>; Kattge et al., 2011).

En particular, el estado de conservación del bosque seco tropical es crítico hasta el punto que actualmente se acepta la necesidad de adelantar acciones de restauración en grandes escala mediante la recuperación de áreas degradadas y el manejo de vegetación secundaria (Vieira y Scariot, 2011). De tal manera, un proyecto de monitoreo para el Caribe debe considerar además de los remanentes de bosque conservado, el establecimiento de PPV en gradientes de sucesión vegetal que abarquen la mayor porción posible de la variación ambiental regional. Esta estrategia permitirá tener información suficiente para diseñar protocolos eficientes de restauración del bosque seco. En este sentido los macro-objetivos de un proyecto de monitoreo del bosque a escala del Caribe deben estar dirigidos a:

- Analizar los patrones de riqueza, composición y estructura de árboles y otras plantas leñosas en gradientes sucesionales y ambientales.
- Medir los rasgos de las especies más importantes en cada tipo de vegetación e identificar grupos funcionales, en relación con servicios ecosistémicos.

- Cuantificar la dinámica de los diferentes tipos de vegetación en términos de mortalidad/reclutamiento y cambios en el área basal y la biomasa para los diferentes gradientes.
- Relacionar estructura y dinámica de los diferentes tipos de vegetación con variables ambientales y la diversidad funcional.
- Entender la relación entre productividad primaria neta, mortalidad, biomasa y su potencial de extrapolación a escala regional.
- Cuantificar y monitorear los servicios ecosistémicos de los diferentes tipos de vegetación.

### **El ambiente del Caribe y su potencial para evaluar los efectos del cambio climático en los bosques**

La región árida y semiárida de la costa Caribe abarca cerca de 75,000 Km<sup>2</sup> en siete departamentos. De acuerdo con el mapa de zonas de vida de Colombia (Espinal y Montenegro, 1977) en la región Caribe se encuentran seis zonas de vida que van desde el bosque seco premontano hasta el matorral desértico subtropical, con predominancia del bosque seco tropical (Figura 1 y Tabla1). En esta misma figura se muestra también datos de clima para la región, extraídos de Worldclim (Hijmans et al., 2005), mostrando que existen gradientes relativamente amplios de precipitación promedio anual (300-2000 mm), estacionalidad de la precipitación (40 - 115 de desviación estándar de la precipitación mensual en mm) y temperatura promedio anual (18 - 29 °C). En una región que no tiene barreras geográficas que constituyan un factor de aislamiento estricto de las poblaciones de árboles, los gradientes existentes representan una oportunidad única para evaluar el efecto de la variación climática en la composición y estructura de los escasos bosques primarios que aún existen en el área. Por otra parte, la presencia de grandes extensiones de bosques secundarios (13% del área total), rodeado por una matriz de sabanas en su mayoría con gramíneas introducidas (44% del total) (IDEAM et al., 2007) permitirían adicionalmente implementar estudios enfocados en los procesos de sucesión y restauración del bosque seco en relación con el clima.

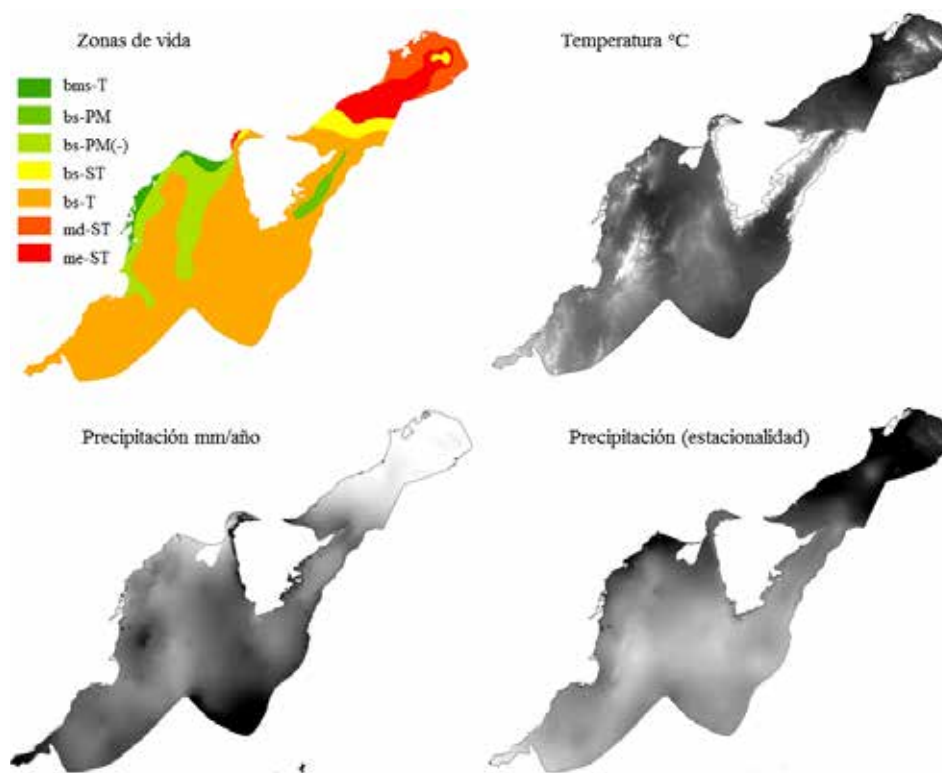


Figura 1. El ambiente del bosque seco de la costa Caribe. Se presentan el área por zonas de vida. bms-T: bosque muy seco tropical, bs-PM: bosque seco premontano, indicando la transición fría (-); bs-ST: bosque seco sub tropical; bs-T: bosque seco Tropical; md-ST: matorral desértico sub tropical; matorral espinoso sub tropical. (Espinal y Montenegro 1963), la temperatura promedio anual (oC), la precipitación promedio anual (mm/año) y la estacionalidad de la precipitación (desviación estándar de la precipitación promedio mensual en mm) de acuerdo con World climate (Hijmans et al., 2005). Los tonos de grises indican áreas de mayores (negro) a menores valores (blanco) para cada variable (ver texto para las magnitudes de las variables).

Tabla 1. Distribución por zonas de vida de las áreas áridas y semiáridas en la Costa Caribe.

NOMBRE	CÓDIGO	ÁREA (km <sup>2</sup> )	% ÁREA
Bosque muy seco tropical	bms-T	1569,7	2,1
Bosque seco premontano	bs-PM	1231,5	1,6
Bosque seco premontano (Transición cálida)	bs-PM(-)	8844,4	11,8
Bosque Seco subtropical	bs-ST	2583,1	3,5
Bosque seco tropical	bs-T	50560,1	67,7
Matorral desértico subtropical	md-ST	4313,4	5,8
Monte espinoso subtropical	me-ST	5569,0	7,5
<b>Total</b>		<b>74671,2</b>	<b>100,0</b>

## **Cambio climático y los bosques del Caribe**

Evidencias actuales indican que el cambio climático puede tener un gran efecto sobre los bosques tropicales modificando las tasas de crecimiento y mortalidad de los árboles e incrementando la frecuencia de las perturbaciones, especialmente la de los incendios forestales (Phillips et al., 2009, 2010). Aunque en general se conoce muy poco sobre la influencia de la variación ambiental en la estructura y dinámica de estos ecosistemas, se presume que los bosques secos de tierras bajas son altamente vulnerables.

En el caso de los bosques de la costa Caribe de Colombia (CCC) la situación puede ser crítica debido al efecto potencial de procesos como el incremento en el nivel del mar (Castaño et al., 2010), la temperatura (IDEAM, 2009), la incidencia de eventos anómalos de huracanes (Ruiz Linares y Fandiño Orozco, 2010) y de reducción de la precipitación reportados recientemente para Suramérica (Coelho et al., 2006; Lewis et al., 2011). Concretamente, diferentes estudios predicen que la región Caribe de Colombia será más seca (Nagy et al., 2006) y más cálida (World Bank, 2012) en las próximas décadas. Sin embargo, dado que en la región sur del país se predice un incremento en la precipitación, las inundaciones resultantes en las llanuras aluviales de los ríos del Caribe serían otro factor de alteración de los bosques. Adicionalmente, los deltas de los ríos también corren el riesgo de inundaciones más intensas y prolongadas por el incremento en el nivel del mar (IPCC, 2001; Vergara, 2005). Por último, el efecto combinado de la intensificación de la sequía y la degradación del suelo en la región, podría duplicar el área de los desiertos (Bueno et al., 2008).

## **¿QUÉ TANTO SE CONOCE SOBRE LOS BOSQUES DEL CARIBE Y SU RELACION CON EL CLIMA?**

El establecimiento de PPV en la costa Caribe se inició en 2001. A la fecha existen 11 PPV en nueve localidades de siete departamentos de la costa Caribe y abarcan una parte representativa del gradiente ambiental de la región. Concretamente, las parcelas están ubicadas en cuatro de las seis zonas de vida (bms-T, bs-PM, bs-ST, bs-T) con el mayor número de parcelas en el bs-T (Tabla 2, Figura 2). Y se pueden considerar representativas de la variación climática de la región Caribe. Durante el evento Sinergia Caribe, realizado en por la Universidad del Magdalena en septiembre de 2011 (<http://sinergiacaribe.unimagdalena.edu.co/>), se presentaron diversos trabajos que resumen la información ecológica de las parcelas permanentes; estos trabajos incluyen resultados sobre florística (Adarve et al., 2011), contenido de carbono (Fernández et al., 2011), dinámica del bosque (Mendoza et al., 2011), herramientas de restauración (Álvarez y Cogollo, 2011a) y vulnerabilidad de los bosques del Caribe al cambio climático (Álvarez et al., 2011b). Además de las parcelas permanentes de bosque seco, estos trabajos utilizaron datos de otros inventarios temporales localizados en la porción húmeda de la costa Caribe (Antioquia y Choco principalmente) y de bosques secos de otras regiones en Colombia, lo que permite tener un contexto amplio de sus características. En este aparte del artículo se resumen y discuten los resultados más relevantes para ilustrar el potencial que tienen las parcelas permanentes actuales para el estudio de la estructura, dinámica y restauración de los bosques del Caribe.

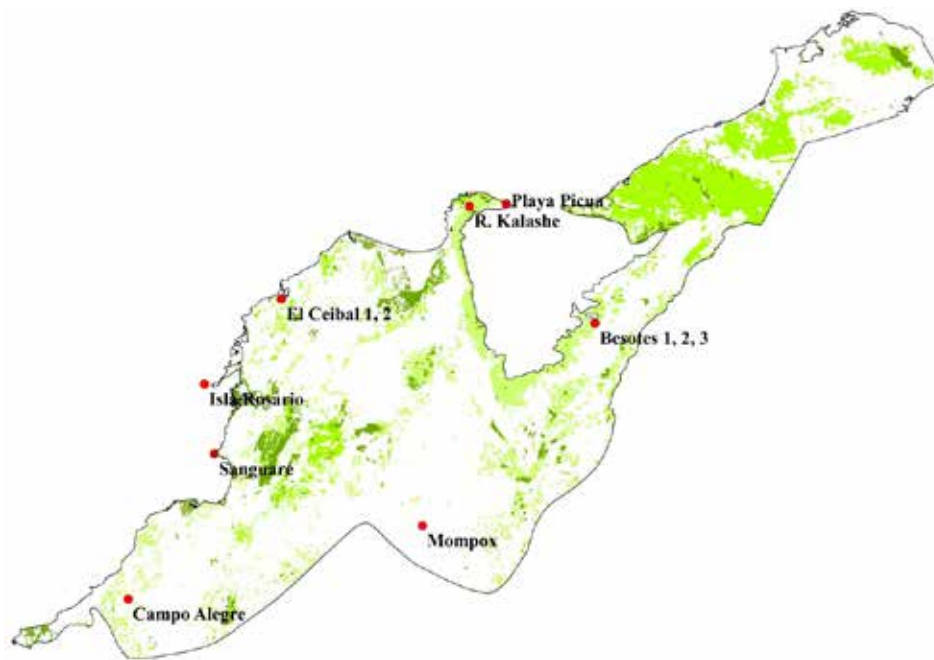


Figura 2. Localización de las parcelas permanentes de vegetación (PPV) en la costa Caribe de Colombia. Ver Tabla 2 para descripción de los sitios. La Figura ilustra las áreas con vegetación original y relativamente bien conservada. Las coberturas vegetales con base en información del Satélite MODIS (Townshend et al., 2001).

Tabla 2. Parcelas Permanentes en los bosques secos de la costa Caribe.

Parcela	Mpio	Dep	Lat.	Lon.	Año Est	Recenso	Área (ha)	Zvida	Fisiografía**	Institución responsable	Autor*
Besotes 1	Valledupar	Cesar	10,53	-73,3	2007	2008, 2010	1	bs-T	I	1, 2	1, 2, 3
Besotes 2	Valledupar	Cesar	10,53	-73,3	2008	no	1	bs-T	Tf	1, 2	1, 2, 3
Besotes 3	Valledupar	Cesar	10,53	-73,3	2008	no	1	bs-PM	Tf	1, 2 10	1, 2, 3
Campo Alegre	Los Córdoba	Córdoba	8,81	-76,2	2008	no	1	bs-T	Tf	3, 2	1, 2
El Ceibal 1	Santa Catalina	Bolívar	10,68	-75,3	2001	2007, 2010	1	bms-T	Tf	4, 2, 10	4, 1
El Ceibal 2	Santa Catalina	Bolívar	10,68	-75,3	2007	2010	1	bms-T	I	4, 2	1, 2
Isla Rosario	Cartagena	Bolívar	10,16	-75,8	2001	2007, 2010	1	bms-T	Tf	5, 10, 2	4, 1, 2
Mompóx	Mompóx	Magdalena	9,27	-74,4	2001	2007	1	bs-T	I	6, 2, 10	5, 1
Playa Picúa	Santa Marta	Magdalena	11,27	-73,9	2011	no	0,5	bs-T	P	9, 2	1, 6
Kalashe	Santa Marta	Magdalena	11,26	-74,1	2007	2010	1	bs-ST	Tf	7, 2	1, 2
Sanguaré	Tolú	Sucre	9,71	-75,7	2012	2012	1	bs-PM(-)	Tf	8, 2, 6, 10	1, 2, 8, 9

\*Fisiografía: I = inundable, Tf = Tierra firme, P = pantanoso. \*\* Institución Responsable: Fundación Ecoparque Los Besotes<sup>1</sup>, Corporación SECC<sup>2</sup>, Reserva Campo Alegre<sup>3</sup>, Hacienda El Ceibal<sup>4</sup>, PNN Corales<sup>5</sup>, Universidad de Antioquia<sup>6</sup>, Fundación Salud para el Tropico<sup>7</sup>, Reserva Sanguaré<sup>8</sup>, Ecoagua Ltda.<sup>9</sup>, Jardín Botánico de Medellín<sup>10</sup>, \*\*\*Autor: Esteban Álvarez<sup>1</sup>, Irina Mendoza<sup>2</sup>, Marco Pacheco<sup>3</sup>, Francisco Gómez Pérez<sup>4</sup>, Doris Benitez<sup>5</sup>, Álvaro Idarraga<sup>6</sup>, Oscar Jiménez<sup>7</sup>, Álvaro Roldán<sup>8</sup>, Cristina López<sup>9</sup>, Marco Pacheco<sup>10</sup>

**Composición y riqueza florística.** Adarve et al. (2011) presentaron un análisis florístico comparando las comunidades de árboles en cinco regiones de bosque seco de tierras bajas en Colombia (costa Caribe, alto Magdalena, Orinoquia, Valle del Cauca y cordillera Oriental). La costa Caribe alberga 58% de las especies, 70% de los géneros y 84% de las familias botánicas registradas para las cinco regiones, mostrando la gran diversidad de los bosques del Caribe. Un análisis de gradiente mostró una relación débil con la distancia geográfica y relativamente fuerte con el clima. Por su parte, la riqueza florística (N especies/ha) estuvo relacionada también con la precipitación (Álvarez y Cogollo, 2011b).

Los bosques tropicales estacionalmente secos presentan un patrón de distribución discontinua en toda América del Sur, pero tienen una estrecha relación florística; esto ha llevado a la hipótesis de que constituyen hoy en día “refugios” de un antiguo y extenso ecosistema árido que cubrió gran parte del Neotrópico hasta la última glaciación (Pennington et al., 2000; Mayle, 2004). A pesar de que en Colombia está bien documentada la existencia de muchas zonas aisladas de bosque seco distribuidas ampliamente en el territorio, el trabajo de Adarve et al. (2011) es el primero que presenta una síntesis de las semejanzas y diferencias de este ecosistema a escala nacional. La diversidad de árboles de los bosques secos del Caribe es de las más altas entre los sitios estudiados por Adarve et al. (2011) y se ordena a lo largo del gradiente de precipitación que existe en la región, un patrón que fue registrado previamente (Gentry, 1988a, 1988b).

**Biomasa y contenido de carbono.** El conocimiento de la biomasa y el contenido de carbono es clave para las políticas actuales de conservación de los bosques tropicales en el marco de los proyectos de reducción de emisiones por deforestación evitada, pero la información sobre los bosques secos es particularmente escasa. Fernández et al. (2011) presentan estimaciones de la biomasa aérea (ton/ha) para los bosques remanentes en cinco regiones áridas de Colombia, incluyendo la CCC. La biomasa promedio para todos los bosques fue de 55 (+ - 31) ton/ha (ámbito 8-141 ton/ha) con una gran variación entre y dentro de las regiones.

Los estudios que intentan analizar los patrones de biomasa con respecto a gradientes climáticos son escasos y contradictorios. Por ejemplo, recientemente Stegen et al. (2011) evaluaron diferentes hipótesis relacionadas con el papel del clima en la biomasa

y encontraron resultados contrarios a lo registrado previamente sobre el efecto de variables como la temperatura y precipitación, o alguna combinación de éstas (Brown y Lugo, 1982; Sankaran et al., 2005; Raich et al., 2006; Saatchi et al., 2007; Keith et al., 2009). No obstante, la precipitación afecta fuertemente las cantidades de biomasa del bosque seco en Colombia y estudios futuros pueden hacer una gran contribución al conocimiento de los efectos del cambio climático en estos ecosistemas (Álvarez y Cogollo, 2011b; Álvarez et al., 2012).

**Dinámica.** Los estudios sobre dinámica del bosque seco son particularmente escasos en Colombia. A la fecha, los únicos datos existentes publicados fueron reportados por Mendoza et al. (2011) con base en una de las parcelas establecidas en el Ecoparque Los Besotes en 2007. Con relación a la dinámica del bosque la tasa de mortalidad fue de 2,9% y el reclutamiento 1,7% para un periodo de 2,5 años. La diferencia entre las tasas de mortalidad y reclutamiento de este bosque sugieren el efecto de perturbaciones recientes relacionadas posiblemente con el clima. Concretamente, se encontró que la mayor proporción de árboles murieron quebrados, lo que puede estar relacionado con eventos de fuertes vientos que son comunes en las regiones cálidas y secas, combinado con las sequías que se han presentado en el Caribe en la última década (Coelho et al., 2006). No obstante estos valores están dentro del ámbito registrado para los bosques tropicales del mundo (Phillips y Gentry, 1994) y se requiere de más y mejores datos para establecer con certeza esta relación.

Trabajos recientes muestran como eventos anómalos de sequía pueden producir un impacto negativo a gran escala en regiones como la Amazonia (Phillips et al., 2009; 2010), sugiriendo que los efectos en regiones menos lluviosas pueden ser más intensos. Otros estudios indican que los bosques tropicales y templados “primarios” están incrementando su biomasa y secuestrando grandes cantidades de CO<sub>2</sub> atmosférico (Luyssaert et al., 2008; Pan et al., 2011), pero la información correspondiente para los bosques secos neotropicales es prácticamente inexistente. Esto por sí sólo le da un enorme valor a las parcelas establecidas actualmente en el Caribe.

**Grupos funcionales para la restauración del bosque seco.** La caracterización de especies de plantas a partir de sus rasgos funcionales es un objetivo fundamental de la ecología y puede contribuir potencialmente a la explicación de fenómenos tan variados como la



coexistencia de las especies y los impactos humanos sobre los servicios ecosistémicos. En consecuencia, la identificación de grupos funcionales es fundamental para el diseño de protocolos de restauración del bosque seco. Álvarez y Cogollo (2011a) hicieron un análisis enfocado en identificar grupos funcionales de árboles y la relación con sus tasas de crecimiento a partir de información proveniente de parcelas permanentes de monitoreo ubicadas en tres regiones de la CCC. En total estudiaron 82 especies de árboles a cada una de las cuales se le asignó una categoría en relación con seis rasgos funcionales (sistema de dispersión, altura máxima, estrategia de regeneración, densidad de la madera y tasas de crecimiento). Mediante un análisis multivariado de clasificación se identificaron seis grupos funcionales que separan las 82 especies por combinaciones de características que pueden ser utilizadas en el diseño de modelos de restauración. En análisis indica también que al menos 20 especies presentan combinaciones de rasgos que las hacen potenciales para proyectos de reforestación (alta densidad de la madera y alta resistencia a la sequía) o de restauración ecológica (altas tasas de crecimiento y dispersión endozoócora). La relación entre el clima y la predominancia de ciertos rasgos funcionales, es un tema que se debe incluir en futuros análisis.

**¿Qué se puede concluir sobre la relación entre el clima y los bosques del Caribe?** Aunque los resultados son preliminares, es evidente que el gradiente de precipitación y temperatura explica gran parte de la variación en la biomasa y la diversidad de estos bosques. Los modelos resultantes presentados por Álvarez y Cogollo (2011b) predicen que, con una reducción de 200 mm/año en promedio para la región, se reduce significativamente el almacenamiento de carbono. Un patrón similar se observó para la biodiversidad, con una reducción de 10 especies/ha de árboles, por cada 200 mm/año menos de precipitación. Este análisis, muestra la importancia de la región Caribe para el estudio de la relación entre los bosques tropicales y el cambio climático e indica la urgencia con la que se deben implementar acciones de conservación y restauración de estos ecosistemas.

No obstante, se requieren nuevas parcelas de monitoreo, particularmente en los extremos climáticos de la región (por ej. La Guajira). Debido a que los bosques primarios en buen estado de conservación del bosque seco en el Caribe son escasos, los pocos remanentes bien conservados que existen en la región deben ser

localizados y monitoreados tan pronto como sea posible. Además, los ecosistemas secos del Caribe incluyen una amplia variedad de tipos de vegetación que no han sido consideradas en los esfuerzos de establecer parcelas. Por ejemplo, los bosques de manglar y los pantanosos, ameritan también ser incluidos en un proyecto integral de monitoreo para la región Caribe. Considerando también la gran extensión de bosques secos secundarios (Ruiz Linares y Fandiño Orozco, 2009) es urgente iniciar esfuerzos de monitoreo con el fin de conocer las características de la sucesión vegetal en relación el clima y el suelo.

## **RECOMENDACIONES PARA UN PROYECTO DE MONITOREO DEL BOSQUE EN EL CARIBE**

Implementar estudios ecológicos de monitoreo de largo plazo es el único camino para entender el funcionamiento de los bosques tropicales y su respuesta a los cambios globales (Pan et al., 2011). Sin embargo, estos esfuerzos requieren de grandes inversiones de talento, dinero y tiempo y es necesario ser conscientes de su complejidad. Algunas publicaciones recientes discuten aspectos importantes que se deben tener en cuenta a la hora de implementar un proyecto de este tipo (Malhi et al., 2002; Clark, 2004; Vallejo et al., 2005; Franklin y Swanson, 2010; Álvarez, 2012). En esta sección se presenta una síntesis de estos documentos con el objetivo de ilustrar algunos puntos críticos que deben ser considerados en el momento de decidir sobre el establecimiento de un proyecto de monitoreo del bosque con base en parcelas permanentes de vegetación.

Malhi et al. (2002) describen las características del Proyecto RAINFOR (Red Amazónica de Inventarios Forestales) enfocado en entender el papel de los bosques amazónicos en el ciclo global del carbono y los efectos potenciales del cambio climático. Específicamente, estos autores presentan los objetivos de la Red, describen la variación ambiental (clima, suelos y perturbación) que puede explicar los patrones de almacenamiento y dinámica del carbono a escala de la cuenca amazónica, presentan una discusión sobre la importancia de proteger los derechos de autor de los participantes del proyecto y proponen una metodología estandarizada para garantizar que los resultados sean comparables. Esta publicación tiene un alto valor debido a que fue la guía que permitió que luego de 10 años de trabajo continuo se lograra la publicación de un centenar de artículos de alta calidad científica que han cambiado muchas de las

ideas tradicionales que se tenían sobre la ecología de los bosques tropicales. Muchos de estos artículos se pueden consultar en [www.rainfor.org](http://www.rainfor.org), y su lectura en forma cronológica muestra como unos objetivos claros y una adecuada planeación permiten recopilar datos y avanzar progresivamente en el conocimiento de la estructura y funcionamiento de los bosques tropicales. Un aspecto a destacar es que el primer proyecto propuesto por investigadores de países desarrollados que consideró seriamente la obligación de respetar los derechos de autor de investigadores locales que habían trabajado previamente en el tema. Este “gesto democrático”, pocas veces visto anteriormente, estimuló a muchos investigadores de los países de la cuenca amazónica a participar y permitió integrar una enorme cantidad de proyectos dispersos sobre el monitoreo de los bosques de Amazonia. Definitivamente, el de RAINFOR es un ejemplo a seguir en cualquier intento de crear redes de monitoreo que involucren a muchos investigadores.

Por su parte, Clark (2004) presentó una discusión sobre la necesidad de investigar a escala global la interrelación entre los bosques tropicales y el cambio climático y recomendó las siguientes fases para un estudio de largo plazo: (1) Establecer un programa de monitoreo (en décadas) de la estructura y funcionamiento de los bosques alrededor de los trópicos del mundo, poniendo atención especial en áreas con bosques tropicales poco estudiados. (2) Monitorear en intervalos anuales (o más cortos) en bosques representativos, de tal manera que la respuesta de los ecosistemas se pueda relacionar con la variabilidad interanual del clima y la composición de la atmósfera. (3) Hacer mediciones repetidas de todos los compartimientos de carbono (aéreo/subterráneo, biomasa/necromasa) en bosques representativos para evaluar el balance sumidero/fuente. (4) Establecer experimentos a escala de todo el bosque para evaluar el efecto del incremento en la temperatura y la concentración de CO<sub>2</sub>, y (5) Documentar claramente los datos y hacerlos accesibles a la comunidad científica y a los planificadores.

A mediados de la década pasada, Vallejo et al. (2005) publicaron un manual sobre el establecimiento de estudios de monitoreo en Colombia. Además de hacer un análisis extenso de su importancia para entender la estructura y dinámica de los bosques tropicales, presenta también métodos detallados para la implementación de PPV y una síntesis del estado del arte para el país. Recientemente, Álvarez et al. (2011) realizaron una actualización de los estudios de monitoreo en el país que

utilizan PPV mostrando el enorme esfuerzo realizado en Colombia por un gran número de investigadores.

El enfoque de los bosques como fuente de una gran variedad de servicios ecosistémicos es una herramienta poderosa para la conservación ya que integra la ecología con la economía en diferentes escalas; por tanto debe ser seriamente considerado en cualquier proyecto de monitoreo del bosque (Farber et al., 2006). De ahí, por ejemplo, el interés del SINAP Colombia (Sistema Nacional de Áreas Protegidas) en desarrollar una aproximación a la cuantificación y monitoreo de servicios ecosistémicos tomando como base las PPV. En este contexto, el SINAP Colombia pretende: (1) la identificación de áreas prioritarias para iniciar actividades de monitoreo por su importancia para la provisión de servicios ecosistémicos, (2) la caracterización preliminar y elaboración de cartografía de los ecosistemas y tipos de cobertura vegetal dentro de cada una de las áreas priorizadas, (3) el análisis de cambios históricos, de perturbación y variables ambientales, (4) la definición de rasgos funcionales que se relacionan con cada servicio ecosistémico, (5) el desarrollo de herramientas para los tomadores de decisiones y (6) la necesidad de comunicar, divulgar y capacitar a los diferentes actores relacionados con el manejo, uso y conservación de los servicios ecosistémicos de los bosques (Álvarez, 2012).

Recientemente, Franklin y Swanson (2010) discuten la importancia del monitoreo del bosque a partir de ejemplos del proyecto LTER (*long term ecological research*, en EE.UU.) y de cómo este tipo de investigación influye en la comprensión científica y la generación de políticas de manejo y conservación de los bosques. A pesar de no estar centrado en los bosques tropicales, el documento es valioso ya que presenta una serie de recomendaciones clave para el desarrollo exitoso de este tipo de estudios en cualquier región del mundo.

En general, todas estas publicaciones hacen énfasis en los aspectos críticos de los estudios ecológicos de largo plazo, siendo los más importantes la necesidad de conformar equipos de trabajo interdisciplinario (biólogos, forestales, expertos en sensores remotos, edafólogos, climatólogos, entre otros) y de plantearse preguntas de investigación que sean al mismo tiempo amplias y concretas. Preguntas generales como “¿Cuál es el efecto del cambio climático sobre los bosques secos?” o “¿Cuáles son las diferencias en la capacidad de almacenamiento de carbono del bosque en relación

con el clima, la perturbación y los suelos?”, son el tipo de interrogantes que permiten definir las prioridades de investigación a corto y largo plazo y visualizar las necesidades particulares de trabajo interdisciplinario.

Una investigación ecológica a largo plazo con base en PPV debe incorporar especialistas en administración y manejo de bases de datos. Aunque generalmente la importancia de este aspecto es subestimada, experiencias exitosas como las del programa LTER muestran que esta actividad requiere cerca de un 25% de todo el presupuesto operativo (Franklin y Swanson, 2010). Particularmente la consideración explícita de personal capacitado para el manejo de datos ha sido uno de los éxitos de otros proyectos ecológicos de largo plazo como RAINFOR (Peacock et al., 2007; López-González et al., 2011).

En la fase de planeación de proyectos de escala regional, a nivel de la CCC, es clave la necesidad de invertir suficientes recursos para definir el área de estudio, analizar preliminarmente su heterogeneidad ambiental (clima, suelos, entre otros) y estratificar por zonas homogéneas, con el apoyo de profesionales especializados. Este ejercicio inicial permite identificar los potenciales sitios donde se deben ubicar PPV para tener un cubrimiento suficiente de la variación ambiental y ecosistémica. La recopilación exhaustiva y el análisis de estudios previos debe ser también un compromiso obligado de la fase inicial del proyecto para evitar la duplicación de esfuerzos, identificar vacíos de información y reconocer errores potenciales que posteriormente puedan generar pérdidas de tiempo o de recursos económicos.

Uno de los temas centrales que debe abordar un proyecto de monitoreo es el estudio del ciclo del carbono (Malhi et al., 2002; Clark, 2004); debido a su complejidad, no existe una metodología única para estos estudios y por ello es necesario identificar diferentes métodos alternativos y sus fuentes de error. Por ejemplo, la productividad del ecosistema o de alguno de sus componentes puede ser estudiada mediante diferentes aproximaciones cada una con sus ventajas y limitaciones (Clark et al., 2001a; 2001b); la medición del crecimiento y mortalidad de los árboles en campo dan una idea del balance del carbono (Malhi et al., 2004), pero este también puede estudiarse con sensores que miden directamente los flujos de CO<sub>2</sub> mediante la instrumentación denominada “*eddy-covariance*” (Lee et al., 2004; Burba y Anderson, 2010) y cada resultado puede llevar a conclusiones diferentes (Baldochi, 2003;

Miller et al., 2004; Kominami et al., 2008; Luysaert et al., 2009; Peichl et al., 2010). Otros estudios relacionados con componentes particulares de balance del carbono como el de la productividad de raíces finas, muestran también que los diferentes métodos arrojan resultados diferentes (Jiménez et al., 2009; Aragao et al., 2010).

La cooperación entre investigadores de diferentes instituciones académicas a nivel regional, nacional e internacional es importante para el objetivo de hacer que los resultados sean relevantes a escalas amplias y permitan influir en las políticas de conservación de los bosques tropicales. Por ejemplo, el proyecto RAINFOR fue capaz de agrupar un centenar de investigadores de cerca de cincuenta instituciones que generaron información sobre la importancia de los bosques amazónicos para el funcionamiento de la biósfera y el daño que puede ocasionar el cambio climático sobre los ecosistemas; los resultados de RAINFOR facilitaron el diseño e implementación de políticas de conservación de los bosques tropicales relacionadas con el Convenio Marco de Cambio Climático (Phillips et al., 2009).

Otro de los aspectos interesantes de los estudios de monitoreo a largo plazo es que pueden ser útiles para estudiar procesos que no fueron considerados inicialmente dentro de los objetivos de una investigación. El efecto potencial de eventos difíciles de prever a escala local como deslizamientos (Velásquez et al., 2007) o regional como huracanes (Ruiz Linares y Fandiño Orozco, 2010) y anomalías climáticas (Phillips et al., 2009), pueden ser evaluados siempre y cuando existan investigadores atentos. Por ejemplo, durante 2005 se presentó una sequía de la que no se tenía registro en la cuenca amazónica; mientras que la noticia de este evento se extendía a lo largo y ancho del mundo, los investigadores de RAINFOR decidieron presentar una propuesta de particular urgencia a la organización NERC (Natural Environment Research Council) para obtener fondos con que evaluar los efectos de la sequía en los bosques de Amazonia. Gracias a este “oportunismo”, en el 2006 se pudieron monitorear cerca de un centenar de parcelas permanentes a lo largo y ancho de toda cuenca y detectar el efecto catastrófico de la sequía en el sumidero de carbono de Amazonia (Phillips et al., 2009). Este fue el primer registro de un evento de cambio climático que afectó seriamente el ciclo de carbono a escala global.

Mantener una red de monitoreo con base en parcelas permanentes de vegetación requiere de un grupo de investigación dedicado, con gran determinación para

la búsqueda de fondos, para comunicar la importancia de la investigación a los políticos y planificadores y con capacidad de adaptarse a los intereses variables particulares de sus integrantes (Franklin y Swanson, 2010). Muchos de los proyectos de monitoreo a largo plazo en bosques templados y tropicales han tenido éxito gracias a la capacidad y constancia de investigadores que han liderado todo el proceso desde la búsqueda de fondos, la planeación y ejecución de los proyectos y la capacitación de muchos jóvenes investigadores que quieran y puedan continuar.

Por último, para garantizar que la infraestructura básica en campo de los proyectos de monitoreo persista en el tiempo es fundamental también involucrar a las comunidades locales en todo el proceso de investigación; en la mayoría de los casos es imposible encontrar un sitio que esté lo suficientemente aislado para garantizar que solo los investigadores la visiten. En particular, los pocos remanentes de bosque seco que existen en la costa Caribe generalmente se encuentran rodeados de poblaciones humanas que los transitan. En estos casos solo un proceso participativo que incluya programas de educación ambiental y capacitación de investigadores a escala local puede garantizar que las parcelas permanentes se mantengan en buen estado.

## CONCLUSIONES

La costa Caribe es considerada como un *hotspot* de biodiversidad y alberga la mayor extensión de bosque seco que existe en Colombia. A pesar de los altos niveles de degradación, aún se conservan fragmentos importantes que albergan la flora y fauna original de la ecorregión que, junto con los amplios gradientes ambientales (y pocas barreras geográficas), le otorgan condiciones únicas para consolidar un proyecto de monitoreo del bosque en el contexto del cambio climático. Debido a la importancia del Bs-T y a los niveles crecientes de amenaza, es urgente consolidar una iniciativa de este tipo.

Sin embargo, entre la formulación de un proyecto de monitoreo a largo plazo y su efectiva implementación existe un camino largo y sinuoso. Una planeación detallada y la conformación de un grupo de investigación interinstitucional e interdisciplinario dispuesto a trabajar con actores desde lo local a lo global son requisitos indispensables para adelantar con éxito esta tarea. De acuerdo con los resultados resumidos en este documento, los trabajos de monitoreo del bosque

adelantados por diferentes instituciones la costa Caribe durante la última década han permitido acumular experiencias que pueden aportar significativamente al proyecto regional.

## AGRADECIMIENTOS

A las siguientes Instituciones del Caribe Corporaciones Autónomas Regionales de: Atlántico, Sucre, Bolívar, Canal del Dique, Córdoba, Sucre y Magdalena; Unidad de Parques Nacionales Naturales, regional Caribe. A dos revisores anónimos por sus observaciones constructivas para mejorar el artículo.

Este artículo es un producto del proyecto “Dinámica del Bosque Tropical: Crecimiento y tasas de fijación de carbono en un gradiente ambiental complejo en Colombia”, cofinanciado por Colciencias y el Jardín Botánico de Medellín (JBMED), mediante el contrato No. 393 del 2012 y por el Convenio JBMED-Universidad de Leeds 2010.

## BIBLIOGRAFÍA

Adarve, J., A. Cogollo, E. Álvarez, F. Fernández y O. Melo. 2011. Relaciones florísticas de los bosques secos del Caribe con otras regiones de Colombia. En: Quintero, J. F. y S. M. Estrada (Eds). Memorias I Encuentro Regional de Investigadores en Ciencias de la Vida – Sinergia Caribe 31 de Octubre al 4 de Noviembre de 2011. ISBN: 978-958-746-040-7. Universidad del Magdalena, Santa Marta. Pp.: 31.

Álvarez, E. 2012. Cuantificación y monitoreo de servicios eco sistémicos: la importancia de las parcelas permanentes de vegetación. En: Hurtado A., M. Santamaría y C. Matallana (eds). Plan de Investigación y Monitoreo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). Avances construidos desde la Mesa de Investigación y Monitoreo entre 2009 y 2010. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. Pp.: 91.

Álvarez, E. y A. Cogollo. 2011a. Herramientas para la restauración del bosque seco en el Caribe colombiano: identificando grupos funcionales de árboles y sus tasas de crecimiento. En: Quintero, J. F. y S. M. Estrada (Eds). Memorias I Encuentro Regional de Investigadores en Ciencias de la Vida – Sinergia Caribe 31 de Octubre al 4 de Noviembre de 2011. ISBN: 978-958-746-040-7. Editorial de la Universidad del Magdalena, Santa Marta: Pp.: 33.

Álvarez, E. y A. Cogollo. 2011b. Vulnerabilidad de los bosques del Caribe colombiano al cambio climático. En: Quintero, J. F. y S. M. Estrada (Eds). Memorias I Encuentro Regional de

Investigadores en Ciencias de la Vida – Sinergia Caribe 31 de Octubre al 4 de Noviembre de 2011. ISBN: 978-958-746-040-7. Editorial de la Universidad del Magdalena, Santa Marta. Pp.: 36.

Álvarez, E., Á. Cogollo, O. Melo, E. Rojas, D. Sánchez, O. Velásquez, E. Sarria, E. Jiménez, D. Benítez, A. C. Londoño, P. Stevenson y G. Galeano. 2002. Estructura y dinámica del bosque natural en Colombia: un estudio a largo plazo para evaluar los efectos del cambio climático. En: Rangel, J.O., J. Aguirre y M. G. Andrade (eds.). Libro de resúmenes: VIII Congreso Latinoamericano y Segundo Congreso Colombiano de Botánica. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Pp: 550.

Álvarez E., A. Cogollo, O. Melo, E. Rojas, D. Sánchez, O. Velásquez, E. Jiménez, D. Benítez, C. Velásquez, M. Serna, J. Pérez y W. Devia. 2007. Monitoreo de los Andes colombianos (2.000-3.000 msnm) a través del establecimiento de parcelas permanentes. En: Armenteras D. A. y N. Rodríguez (Eds.). Monitoreo de los ecosistemas andinos 1985-2005: síntesis y perspectivas. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá DC. Colombia. Pp.: 174.

Álvarez, E., O. Melo, A. Cogollo, C. Velásquez, E. Jiménez, y E. Carbone. 2008. Monitoreo del bosque seco en Colombia: una perspectiva desde la red MBOC. En Congreso Bosque Seco Santa Marta 2008. Pp.: 81-82.

Álvarez, E., J. G. Saldarriaga, A. J. Duque, K. R. Cabrera, A. P. Yepes, D. A. Navarrete y J. F. Phillips. 2011. Selección y validación de modelos para la estimación de la biomasa aérea en los bosques naturales de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D., Colombia. Pp.: 1-26.

Álvarez, E., A. Duque, J. Saldarriaga, K. Cabrera, G. de las Salas, I. del Valle, A. Lema, F. Moreno, S. Orrego, L. y L. Rodríguez. 2012. Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management* 267: 297-308.

Anderson, C.B., J.L. Celis-Die, B.J. Bond, G. Martínez, C. Little, J.J. Armesto, C. Ghersa, A. Austin, T. Schlichter, A. Lara, M. Carmona, E.J. Chaneton, J.R. Gutierrez, R. Rozzi, K. Vanderbilt, G. Oyarce y R.J. Fernandez. 2012. Progress in creating a joint research agenda that allows networked long-term socio-ecological research in southern South America: Addressing crucial technological and human capacity gaps limiting its application in Chile and Argentina. *Austral Ecology* 37 (5): 529-536.

Aragão L., Y. Malhi, D. B. Metcalfe, J. E. Silva-Espejo, E. Jiménez, D. Navarrete, S. Almeida, A. C. L. Costa, N. Salinas, O. L. Phillips, E. Álvarez, T. R. Baker, P. H. Goncalvez, J. Huamán-Ovalle, M. Mamani-Solórzano, P.

Meir, A. Monteagudo, S. Patiño, M. C. Peñuela, A. Prieto, C. A. Quesada, A. Rozas-Dávila, A. Rudas, J. A. Silva Jr. y R. Vásquez 2009. Above- and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils. *Biogeosciences Discussion* 6: 2441-2488.

Baker, T.R., O.L. Phillips, Y. Malhi, S. Almeida, L. Arroyo, A. Di Fiore, T. Killeen, S. G. Laurance, W. F. Laurance, S. L. Lewis, J. Lloyd, A. Monteagudo, D. A. Neill, S. Patiño, N. C. A. Pitman, N. Silva y R. Vásquez Martínez. 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology* 10: 1-18.

Baldocchi, D. D. 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: Past, present and future. *Global Change Biology* 9: 479-492.

Brown, S. y A. E. Lugo. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica* 14: 161-187.

Bueno, R., C. Herzfeld, E.A. Stanton, F. Ackerman. 2008. The Caribbean and climate change: the costs of inaction. Stockholm Environment Institute—US Center, Global Development and Environment Institute, Tufts University. <http://www.gdae.org/CaribbeanClimate.html>.

Burba, G. G., y D. J. Anderson. 2010. A Brief Practical Guide to Eddy Covariance Flux Measurements: Principles and Workflow Examples for Scientific and Industrial Applications. LI-COR Biosciences, Lincoln, EE.UU. 211 pp.

Castaño, A., L. Urrego y G. Bernal. 2010. Dinámica del manglar en el complejo lagunar de Cispatá (Caribe colombiano) en los últimos 900 años. *Revista de Biología Tropical* 58: 1347-1366.

Clark, D. A. 2004. Tropical forests and global warming: are they slowing it down? or speeding it up? *Frontiers in Ecology and the Environment* 2: 73-80.

Clark, D.A., S. Brown, D. W. Kicklighter, J. Q. Chambers, J. R. Thomlinson, J. Ni y E. A. Holland. 2001a. Net primary production in tropical forests: An evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological Applications* 11: 371-384.

Clark, D. A., S. Brown, D. W. Kicklighter, J. Q. Chambers, S. T. Gower, J. Thomlinson y J. Ni. 2001b. Measuring net primary production in forests: a synthesis of current concepts and field methods. *Ecological Applications* 11(2): 356-370.

Coelho, C. A. S., D. B. Stephenson, M. Balmáseda, F. J. Doblaser-Reyes y G. J. van Oldenborgh. 2006: Towards an integrated seasonal forecasting system for South America. *Journal of Climate* 19 (15): 3704-3721.

Cuevas, E. 1995. Biology of the belowground system of tropical dry forest, p. 362-383. In S.H Bullock, H.A. Mooney y E. Medina (eds.). Seasonally dry tropical forests. Cambridge University, Cambridge, Reino Unido.

Espinal, L. S. y E. Montenegro. 1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. IGAC 13 (11). Bogotá 238 p.

Etter, A. 1993. Diversidad ecosistémica en Colombia hoy. In: CEREC - Fundación Alejandro Angel (FAA) Nuestra diversidad biológica. Bogotá. Pp.: 43-61.

Etter, A. 1998. Mapa General de Ecosistemas de Colombia (1:2 000 000). In: Informe Nacional Sobre el Estado de la Biodiversidad en Colombia - 1997 (eds Chaves M.E., Arango N.), Instituto Alexander von Humboldt, Bogotá. Pp.: 25-43.

Farber S., R. Costanza, D. L. Childers, J. Erickson, K. Gross, M. Grove, C. S. Hopkinson, J. Kahn, S. Pincetl, A. Troy, P. Warren y M. Wilson. 2006. Linking ecology and economics for ecosystem management. *Bioscience* 56: 121-133.

Fernández, F., O. Melo, A. Cogollo, E. Álvarez y J. Adarve. 2011. Almacenamiento de carbono del bosque seco del Caribe y otras regiones de Colombia. En: Quintero, J.F. y S.M. Estrada (Eds). Memorias I Encuentro Regional de Investigadores en Ciencias de la Vida – Sinergia Caribe 31 de Octubre al 4 de Noviembre de 2011. ISBN: 978-958-746-040-7 Editorial de la Universidad del Magdalena, Santa Marta. Pp.: 28.

Franklin, J. F. y M. E. Swanson. 2010. Long-term ecological research in the forests of the United States: Key lessons for its application in Chile and around the world. *Revista Chilena de Historia Natural* 83: 185-194.

Gentry, A. H. 1988a. Patterns of plant community diversity and floristic composition on environmental a geographical gradients. *Annals of Missouri Botanical Garden* 75: 1-34.

Gentry, A. H. 1988b. Tree species richness of upper Amazonian forests. *Proceedings of the Natural Academy of Science* 85: 156-159.

Grace J, J. San José, P. Meir, H.S. Miranda y R. Montes. 2006. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. *Journal of Biogeography* 33(3): 387-401.

Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones y A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.

IDEAM. 2009. Segunda comunicación nacional de Colombia ante la CMNUCC. Pp.: 14. [http://www.minambiente.gov.co/documentos/5783\\_res\\_ejecut\\_segun\\_comun\\_camb\\_clima.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/5783_res_ejecut_segun_comun_camb_clima.pdf).

IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP. 2007. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, D. C, 276 p. + 37 hojas cartográficas.

IPCC. 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge, Cambridge University Press. Pp.: 1120.

IPCC. 2007. *Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R. K. y A. Reisinger (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra. Pp.: 104.

Jaramillo, V. J., J. B. Kauffman, L. Rentería-Rodríguez, D. L. Cummings y L. J. Ellingson, 2003. Biomass, carbon, and nitrogen pools in Mexican tropical dry forest landscapes. *Ecosystems* 6: 609-629.

Jiménez, E. M., F. H. Moreno, M. C. Peñuela, S. Patiño y J. Lloyd. 2009. Fine root dynamics for forests on contrasting soils in the Colombian Amazon. *Biogeosciences* 6: 2809-2827.

Kattge J, S. Díaz, S. Lavorel, I. C. Prentice, P. Leadley, G. Bönsch, E. Garnier, M. Westoby, P. B. Reich, I. J. Wright, J. H. C. Cornelissen, C. Violle, S. P. Harrison, P. M. v. Bodegom, M. Reichstein, B. J. Enquist, N. A. Soudzilovskaia, D. D. Ackerly, M. Anand, O. Atkin, M. Bahn, T. R. Baker, D. Baldocchi, R. Bekker, C. Blanco, B. Blonder, W. J. Bond, R. Bradstock, D. E. Bunker, F. Casanoves, J. Cavender-Bares, J. Q. Chambers, F. S. Chapin, J. Chave, D. Coomes, W. K. Cornwell, J. M. Craine, B. H. Dobrin, L. Duarte, W. Durka, J. Elser, G. Esser, M. Estiarte, W. F. Fagan, J. Fang, F. Fernández-Méndez, A. Fidelis, B. Finegan, O. Flores, H. Ford, D. Frank, G. T. Freschet, N. M. Fyllas, R. V. Gallagher, W. A. Green, A. G. Gutierrez, T. Hickler, S. Higgins, J. G. Hodgson, A. Jalili, S. Jansen, C. Joly, A. J. Kerkhoff, D. Kirkup, K. Kitajima, M. Kleyer, S. Klotz, J. M. H. Knops, K. Kramer, I. Kühn, H. Kurokawa, D. Laughlin, T. D. Lee, M. Leishman, F. Lens, T. Lenz, S. L. Lewis, J. Lloyd, J. Llusià, F. Louault, S. Ma, M. D. Mahecha, P. Manning, T. Massad, B. Medlyn, J. Messier, A. T. Moles, S. C. Müller, K. Nadrowski, S. Naeem, Ü. Niinemets, S. Nöllert, A. Nüske, R. Ogaya, J. Oleksyn, V. G. Onipchenko, Y. Onoda, J. Ordoñez, G. Overbeck, W. A. Ozinga, S. Patiño, S. Paula, J. G. Pausas, J. Peñuelas, O. L. Phillips, V. Pillar, H. Poorter, L. Poorter, P. Poschlod, A. Prinzing, R. Proulx, A. Rammig, S. Reinsch, B. Reu, L. Sack, B. Salgado-Negret, J. Sardans, S. Shiodera, B. Shipley, A. Siefert, E. Sosinski, J-F. Soussana, E. Swaine, N.

- Swenson, K. Thompson, P. Thornton, M. Waldram, E. Weiher, M. White, S. White, S. J. Wright, B. Yguel, S. Zaehle, A. E. Zanne y C. Wirth. 2011. TRY – a global database of plant traits. *Global Change Biology* 17: 2905–2935.
- Keeling H. C., T. R Baker, A. Monteagudo, R. Vasquez Martinez y O. L. Phillips. 2008. Contrasting patterns of diameter and biomass increment across tree functional groups in Amazonian forests. *Oecologia* 158: 521-534.
- Keith, H., B. G. Mackey y D. B. Lindenmayer. 2009. Reevaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106: 11635–11640.
- Kominami, Y., M. Jomura, M. Dannoura, Y. Goto, K. Tamai, T. Miyama, Y. Kanazawa, S. Kaneko, M. Okumura, N. Misawa, S. Hamada, T. Sasaki, H. Kimura y Y. Ohtani. 2008. Biometric and eddy-covariance-based estimates of carbon balance for a warm-temperate mixed forest in Japan. *Agricultural and Forest Meteorology* 148: 723–737.
- Lee, X., W. Massman y B. Law. 2004. *Handbook of Micrometeorology*. Kluwer Academic Publishers, Holanda, Pp.: 250.
- Lewis S. L., P. M. Brando, O. L Phillips., G. M. F van der Heijden y D. Nepstad. 2011. The 2010 Amazon Drought. *Science* 331: 554.
- Luyssaert, E.-D. Schulze, A. Börner, A. Knohl, D. Hessenmöller, B.E. Law, P. Ciais y J. Grace. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455: 213-215.
- Luyssaert, S., M. E.-D. Reichstein, I. A.Schulze, B. E. Janssens, D. Law, D. Papale, D. Dragoni, M. Goulden, A. Granier, W. L. Kutsch, S. Linder, E. Moors, J. W. Munger, K. Pilegaard, M. Saunders y E. M. Falge. 2009. Towards a consistency cross-check of eddy covariance flux based and biometric estimates of ecosystem carbon balance. *Global Biogeochemical Cycles* 23: (3): GB3009, doi:10.1029/2008GB003377.
- Malhi Y., O. L. Phillips, J. Lloyd, T. Baker, J. Wright, S. Almeida, L. Arroyo, T. Frederiksen, J. Grace, N. Higuchi, T. Killeen, W. F. Laurance, C. Leñaño, S. Lewis, P. Meir, A. Monteagudo, P. Núñez Vargas, S. N. Panfil, S. Patiño, N. Pitman, C. A. Quesada, Ll. Rudas, R. Salomão, S. Saleska, N. Silva, M. Silveira, W. G. Sombroek, R. Valencia, R. Vásquez Martínez, I. C .G. Vieira y B. Vinceti. 2002. An international network to monitor the structure, composition and dynamics of Amazonian forests (RAINFOR). *Journal of Vegetation Science* 13: 439-450.
- Malhi Y., T. R. Baker, O. L. Phillips, S. Almeida, E. Álvarez, L. Arroyo, J. Chave, C. I. Czimczik, A. Di Fiore, N. Higuchi, T. J. Killeen, S. G. Laurance, W. F. Laurance, S. L. Lewis, L. M. Mercado, A. Monteagudo, D. A. Neill, N.C. Pitman, C. A. Quesada, J. N. Silva, R. Vásquez Martínez, J. Terborgh, B. Vinceti y J. Lloyd. 2004. The above-ground wood productivity and net primary productivity of 100 Neotropical forests. *Global Change Biology* 10: 563-591.
- Mayle, F. E. 2004. Assessment of the Neotropical dry forest refugia hypothesis in the light of palaeoecological data and vegetation model simulations. *Journal of Quaternary Science* 19: (7) 713–720.
- McMahon S.M., S. P. Harrison, W. S. Armbruster, P. J. Bartlein, C. Beale, M. E. Edwards, J. Kattge, G. Midgley, X. Morin y I. C. Prentice. 2011. Improving assessment and modelling of climate change impacts on global terrestrial biodiversity. *Trends in Ecology and Evolution* 26: 249-259.
- MEA, Millennium Ecosystem Assessment. 2003. *Ecosystems and human wellbeing: a framework for assessment*. Island Press. Washington (DC) USA. 245p.
- Mendoza, I., M. Pacheco, K. Benavides, E. Álvarez y A. Cogollo. 2011. Estructura, composición y dinámica de un relicto de bosque seco tropical ubicado en el eco-parque Los Besotes. En: Quintero, J. F. y S.M. Estrada (Eds). *Memorias I Encuentro Regional de Investigadores en Ciencias de la Vida – Sinergia Caribe* 31 de Octubre al 4 de Noviembre de 2011. ISBN: 978-958-746-040-7 Universidad del Magdalena, Santa Marta: p. 29.
- Miles, L., A. Newton, R. Defries, C. Ravilious, I. May, S. Blyth, V. Kapos y J. Gordon. 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography* 33: 491–505.
- Miller, S. D., M. Goulden, M. C. Menton, H. da Rocha, H. C. de Freitas, A. M. de Silva Figueira y C. A. Dias de Sousa. 2004. Biometric and micrometeorological measurements of tropical forest carbon balance. *Ecological Applications* 14(4) Supplement: 114–126.
- Mooney H.A., S.H. Bullock y E. Medina. 1995. Introduction. In: Bullock S.H., Mooney H.A., E. Medina, Eds. *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge, Cambridge University Press. Pp: 1–8.
- Murphy P.G. y A.E. Lugo. 1995. Dry forests of Central America and the Caribbean islands. In: Bullock S.H., Mooney H.A., Medina E., Eds. *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge (UK): Cambridge University Press. Pp.: 9–34.
- Nagy, G.J., R.M. Cafferla, M. Aparicio, P. Barrenechea, M. Bidegain, J.C. Jiménez, E. Lentini y G. Magrin, 2006. Understanding the Potential Impact of Climate Change and Variability in Latin America and the Caribbean. Report prepared for the Stern Review on the Economics of Climate Change, Pp.: 34 pp. <http://www.hm-treasury.gov.uk/media/6/7/Nagy.pdf>.



- Pan Y., R.A. Birdsey, J. Fang, R. Houghton, P. E. Kauppi, W. A. Kurz, O.L. Phillips, A. Shvidenko, S. L. Lewis, Canadell, J.G. Philippe Ciais, R.B. Jackson, S.W. Pacala, A. David McGuire, S. Piao, A. Rautiainen, S. Sitch y D. Hayes. 2011. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science* 333: 988.
- Peacock J., T. R. Baker, S. L. Lewis, G. Lopez-Gonzalez y O. L. Phillips. 2007. The RAINFOR database: Monitoring forest biomass and dynamics. *Journal of Vegetation Science* 18: 535-542.
- Peichl, M., J.J. Brodeur, M. Khomik y M. Altaf Arain. 2010. Biometric and eddy-covariance based estimates of carbon fluxes in an age-sequence of temperate pine forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 952-965.
- Pennington R. T, D. E. Prado y C. A. Pendry. 2000. Neotropical seasonally dry forest and Quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography* 27: 261-273.
- Phillips, O. L. y A. H. Gentry, 1994. Increasing turnover through time in tropical forests. *Science* 263: 954-958.
- Phillips O.L., L.E. Aragão, S.L. Lewis, J.B. Fisher, J. Lloyd, G. López-González, Y. Malhi, A. Monteagudo, J. Peacock, C.A. Quesada, G.M.F. van der Heijden, S. Almeida, I. Amaral, L. Arroyo, G. Aymard, T.R. Baker, O. Bánki, L. Blanc, D. Bonal, P. Brando, J. Chave, A.C. Alves de Oliveira, N. Dávila Cardozo, C.I. Czimczik, T.R. Feldpausch, M.A. Freitas, E.U. Gloor, N. Higuchi, E. Jiménez, G. Lloyd, P. Meir, C. Mendoza, A. Morel, D.A. Neill, D. Nepstad, A. Patiño, M.C. Peñuela, A. Prieto, F. Ramírez, M. Schwarz, J.E. Silva, M. Silveira, A. Sota Thomas, H. ter Steege, J. Stropp, R. Vásquez, P. Zelazowski, E. Álvarez Dávila, S. Andelman, A. Andrade, K-J. Chao, T. Erwin, A. Di Fiore, E. Honorio, H.C. Keeling, T.J. Killeen, W.F. Laurance, A. Peña Cruz, N.C. A. Pitman, P. Núñez Vargas, H. Ramírez-Angulo, A. Rudas, R. Salomão, N. Silva, J. Terborgh y A. Torres-Lezama. 2009. Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. *Science* 323: 1344-1347.
- Phillips O.L., G. van der Heijden, López-González, L.E.O.C. Aragão, S.L. Lewis, J. Lloyd, Y. Malhi, A. Monteagudo, S. Almeida, E. Álvarez, I. Amaral, S. Andelman, A. Andrade, L. Arroyo, G. Aymard, T. R. Baker, L. Blanc, D. Bonal, A.C. Alves de Oliveira, K.J. Chao, C. N. Dávila, L. da Costa, T.R. Feldpausch, J.B. Fisher, N.M. Fyllas, M.A. Freitas, D. Galbraith, E. Gloor, N. Higuchi, E. Honorio, E. Jiménez, H. Keeling, T.J. Killee, J.C. Lovett, P. Meir, C. Mendoza, A. Morel, V.P. Núñez, S. Patiño, K. Peh, A. Peña, A. Prieto, C.A. Quesada, F. Ramírez, H. Ramírez, A. Rudas, R. Salomão, M. Schwarz, J. Silva, M. Silveira, B. Sonké, A. Sota Thomas, J. Stropp, R. Vásquez, J. Taplin y E. Vilanova. 2010. Drought mortality relationships for tropical forests. *New Phytologist* 187: 631-646.
- Raich, J. W., A. E. Russell, K. Kitayama, W. J. Parton y P. M. Vitousek, P. M. 2006. Temperature influences carbon accumulation in moist tropical forests. *Ecology* 87: 76-87.
- Ruiz Linares, J. y M. C. Fandiño Orozco. 2009. Estado del bosque seco tropical e importancia relativa de su flora leñosa, islas de la Vieja Providencia y Santa Catalina, Colombia, Caribe suroccidental. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* 33 (126): 5-15.
- Ruiz Linares, J. y M.C. Fandiño Orozco. 2010. The impact of hurricane beta on the forests of Providencia island, Colombia, southwest Caribbean. *Caldasia* 32 (2): 425-434.
- Saatchi, S.S., R. A. Houghton, R. C. Dos Santos Alvalá, J. V. Soares y Y. Yu. 2007. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology* 13: 816-837.
- Salamanca, B., S. Estrada, W. Barranco, C. Tamaris, J. Rodriguez y M. Negritto. 2011. Plan decenal para el manejo del bosque seco tropical del campus de la Universidad del Magdalena. En: Quintero, J. F. y S. M. Estrada (Eds). *Memorias I Encuentro Regional de Investigadores en Ciencias de la Vida - Sinergia Caribe* 31 de Octubre al 4 de Noviembre de 2011. ISBN: 978-958-746-040-7 Universidad del Magdalena, Santa Marta. Pp.: 37.
- Sanford, R.L. y E. Cuevas. 1996. Root growth and rhizosphere interactions in tropical forests, p. 268-300. In S.S. Mulkey, R.L. Chazdon y A.P. Smith (eds.). *Tropical forest plant ecophysiology*. Chapman & Hall, Nueva York.
- Sankaran, M., N. P. Hanan y R. J. Scholes. 2005. Determinants of woody cover in African savannas. *Nature* 438: 846-849.
- Stegen, J. C., N. G. Swenson, B. J. Enquist, E. P. White, O. L. Phillips, P. M. Jorgensen, M. D. Weiser, A. Monteagudo-Mendoza y P. Núñez Vargas. 2011. Variation in above-ground forest biomass across broad climatic gradients. *Global Ecology and Biogeography* 20: 744-754.
- Townshend, J.R.G., M. Carroll, C. Dimiceli, R. Sohlberg M. Hansen y R. DeFries. 2011. *Vegetation Continuous Fields MOD44B. 2001 Percent Tree Cover, Collection 5*, University of Maryland, College Park, Maryland. (digital data accessed 06/10/2011 from <URL>).
- Vallejo M.I., A.C. Londoño, R. López, G. Galeano, E. Álvarez y W. Devia. 2005. Estudios ecológicos a largo plazo: Parcelas permanentes de monitoreo en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D, Colombia. Pp. 310. ISBN 958-8151-59-7. Serie métodos para estudios ecológicos a largo plazo; No. 1).
- Velasquez-Rua, C., N. López, L. M. García, D. Benitez-Rubiano, E. Álvarez y Z. Restrepo. 2007. Parcela permanente para el monitoreo de la biodiversidad arbórea en un bosque



de niebla, Antioquia, Colombia. 2007. *Actualidades Biológicas* 29 (supl. 1): 250.

Vergara, W. 2005. *Adapting to Climate Change: Lessons Learned, Work in Progress, and Proposed Next Steps for the World Bank in Latin America. Latin America and Caribbean Region, Environmentally and Socially Sustainable Development Department.* The World Bank.

Vieira, D. L. M. y A. Scariot. 2011. Principles of Natural Regeneration of Tropical Dry Forests for Restoration. *Restoration Ecology* 14(1): 11-20.

World Bank. 2012. Turn down the heat: Why a 4-degree-celsius warmer world must be avoided. A Report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics. [http://climatechange.worldbank.org/sites/default/files/Turn\\_Down\\_the\\_heat\\_Why\\_a\\_4\\_degree\\_centrigrade\\_warmer\\_world\\_must\\_be\\_avoided.pdf](http://climatechange.worldbank.org/sites/default/files/Turn_Down_the_heat_Why_a_4_degree_centrigrade_warmer_world_must_be_avoided.pdf)

Fecha de Recepción: 20/06/2012  
Fecha de Aceptación: 20/11/2012