



Revista de CIENCIAS AMBIENTALES

Tropical Journal of Environmental Sciences



Carbono almacenado en plantaciones forestales de *Pinus caribaea*, *Cupressus lusitanica* y *Eucalyptus deglupta* en el Proyecto Hidroeléctrico Cachí

Carbon stored in forest plantations of *Pinus caribaea*, *Cupressus lusitanica* and *Eucalyptus deglupta* in Cachí Hydroelectric Project

Marilyn Rojas

Ingeniera forestal e investigadora de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, Costa Rica,
marilynr9@gmail.com.

Director y Editor:

Dr. Eduardo Mora-Castellanos

Consejo Editorial:

Enrique Lahmann, UICN, Suiza
Enrique Leff, UNAM, México
Sergio Molina, Universidad Nacional, Costa Rica
Olman Segura, Universidad Nacional, Costa Rica
Rodrigo Zeledón, Universidad de Costa Rica
Gerardo Budowski, Universidad para la Paz, Costa Rica

Asistente:

Rebeca Bolaños-Cerdas



Carbono almacenado en plantaciones forestales de *Pinus caribaea*, *Cupressus lusitanica* y *Eucalyptus deglupta* en el Proyecto Hidroeléctrico Cachí

Marilyn Rojas

La autora es ingeniera forestal e investigadora en la Universidad Nacional (marilynrv9@gmail.com).

Resumen

Las plantaciones forestales son reconocidas como uno de los principales sumideros de carbono para mitigar el cambio climático. Sin embargo, muchas especies cuentan con insuficiente información para establecer métricas sobre acumulación de biomasa y carbono, debido, principalmente, al grado de dificultad y al alto costo que significa la cuantificación a través de mediciones directas o muestreo destructivo. En este estudio se evaluó el carbono almacenado en plantaciones forestales aledañas al embalse de la represa del Proyecto Hidroeléctrico Cachí, propiedad del Instituto Costarricense de Electricidad. Se evaluaron 25 unidades de muestreo distribuidas en plantaciones de 3 especies y se extrajeron 30 árboles de *Pinus caribaea*, 14 de *Cupressus lusitanica* y 15 de *Eucalyptus deglupta*. La biomasa se cuantificó por el

Abstract

Forest plantations are considered the main carbon sinks thought to reduce the impact of climate change. Regarding many species, however, there is a lack of information in order to establish metrics on accumulation of biomass and carbon, principally due to the level of difficulty and the cost of quantification through direct measurement and destructive sampling. In this research, it was evaluated carbon stocks of forest plantations near the dam of Hydroelectric Project Cachí, which belongs to Instituto Costarricense de Electricidad. 25 unit samples were evaluated along some plantations that contain 3 different species. 30 *Pinus caribaea* trees, 14 *Cupressus lusitanica* and 15 *Eucalyptus deglupta* were extracted. The biomass was quantified by means of the destructive method. First

Introducción

El cambio climático es una serie de alteraciones al planeta que se manifiesta principalmente por el aumento en la temperatura, cambios en los patrones de lluvia y el incremento en los niveles del mar (Ciesla, 1996; Ruiz, 2007). Este fenómeno se da como consecuencia del aumento en la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero (GEI) generados por la sociedad humana.

En este contexto las plantaciones forestales representan una de las principales alternativas para mitigar el cambio climático, ya que pueden remover las partículas de CO₂ del ambiente a través del proceso de la fotosíntesis y de almacenar el carbono en la biomasa y en el suelo (Prebble, 1998; Bashkin y Binkley, 1998; Ortiz y Kanninen, 2000; Montero y Kanninen, 2006). Estos ecosistemas a su vez proveen grandes beneficios a la sociedad, como la producción de bienes (madera) (Montagnini, Kanninen, Montero y Alice, 2011) y de servicios ambientales como

método destructivo, pesando por separado, en el campo, cada componente del árbol, luego se extrajo una muestra para determinar materia seca y la fracción de carbono. Se analizaron 110 muestras de biomasa en el laboratorio, de todos los componentes (hojas, ramas, fuste y raíz) de las 3 especies. La fracción de carbono varió entre 47,5% y 48,0% para *P. caribaea*, de 32,6% a 52,7% en *C. lusitanica* y de 36,4% a 50,3% en *E. deglupta*. El carbono almacenado fue 230, 123, y 69 Mg ha⁻¹ en plantaciones de *P. caribaea*, *C. lusitanica* y *E. deglupta*, respectivamente. Aproximadamente el 75% del carbono almacenado se encontró en el fuste.

Palabras clave: plantación forestal, cuantificación de biomasa y carbono almacenado, *Cupressus lusitanica*, *Eucalyptus deglupta*, *Pinus caribaea*.

of all, every component of the tree was weighed separately; then, sampling was obtained in order to determine the dry matter and the carbon fraction. 110 biomass samples from the 3 species were analyzed in laboratory, including all the components (leaves, branches, shaft, and root). The carbon fraction varied between 47,5% and 48,0% for *Pinus caribaea*; between 32,6% and 52,7% for *Cupressus lusitanica*, and between 36,4% and 50,3% for *Eucalyptus deglupta*. The stored carbon was 230, 123, and 69 Mg ha⁻¹ in plantations of *P. caribaea*, *C. lusitanica* and *E. deglupta*, respectively. Approximately, 75% of the stored carbon was detected in the shaft.

Keywords: forest plantation, quantification of biomass and carbon stocks, *Cupressus lusitanica*, *Eucalyptus deglupta*, *Pinus caribaea*.

protección del suelo, atracción de fauna y mejoramiento de las condiciones de infiltración en las cuencas hidrográficas (Andrade, 1999; Cubero y Rojas, 1999; Montagnini, et al., 2011).

En la actualidad existen 264 millones de hectáreas de plantaciones forestales en todo el mundo, lo que representa aproximadamente el 7% de la superficie forestal mundial (FAO, 2011). En los continentes europeo y asiático se registra el 70% de las plantaciones del planeta, el 5% se localiza en América y en el Caribe (FAO, 2011). La biomasa y el carbono que pueda secuestrar una plantación depende del contenido inicial de carbono orgánico en el suelo, de las tasas de crecimiento y edad del rodal, de la capacidad biológica inherente al lugar y de la utilización de los productos que se obtengan (Pardos, 2010). Se ha estimado 1,90 Mg C ha⁻¹ para los primeros años de vida y de 3 a 4,90 Mg C ha⁻¹ en la etapa de mayor crecimiento y desarrollo de los árboles; posteriormente, en su madurez, al disminuir la tasa de crecimiento, la incorporación de carbono en la biomasa disminuye y llega a una etapa final en la que la respiración del rodal puede exceder a la fotosíntesis (Perry, 1994).

En Costa Rica existen aproximadamente 40 000 hectáreas de plantaciones forestales y más del 50% corresponde a especies exóticas como *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Cupressus lusitanica* (Arce y Barrantes, 2006; SIREFOR, 2011). Un estudio de Cubero y Rojas (1999) estimó que la tasa de absorción de CO₂ de plantaciones forestales en Costa Rica varía entre 22 y 195 Mg ha⁻¹, sin embargo, este rango es muy



M. Rojas. Plantación de pino, Costa Rica.

amplio para realizar estimaciones precisas sobre la acumulación de carbono en sistemas forestales.

Costa Rica en la actualidad posee compromisos en materia ambiental y en adaptación al cambio climático, el 29 de diciembre de 2006 decreta la iniciativa denominada “Paz con la Naturaleza”, que contempla el cambio climático como una de las áreas prioritarias de acción. En el 2007 se elaboró la Estrategia Nacional de Cambio Climático que estableció una “economía carbono neutral” para el 2021 (MINAE, 2009). Además, Costa Rica se ha sumado a la estrategia REDD+ (Reducciones de Degradación, Deforestación, Conservación, Manejo Sostenible del Bosque y Aumento en los Reservorios de Carbono del Bosque) que pretende reducir las emisiones en países en desarrollo, por medio de cinco actividades: reducción de emisiones por deforestación evitada, reducción de las emisiones procedentes de la degradación forestal, conservación de las existencias de carbono en bosques, gestión sostenible de los bosques y aumento de las reservas forestales de carbono (FONAFIFO, 2010).

Conocer la capacidad de fijación de carbono en ecosistemas forestales es de gran relevancia para determinar el balance nacional de gases de efecto invernadero y construir indicadores nacionales, así como el levantamiento de líneas base para futuros proyectos negociables en el mercado de carbono (Eamus, McGuinness y Burrows, 2000; Malhi y Grace, 2000; Schlegel, 2001).

Los objetivos de este estudio fueron cuantificar la biomasa y el carbono aéreo (hojas, ramas y fuste) y radical en plantaciones forestales de *Pinus caribaea*, *Cupressus lusitanica*

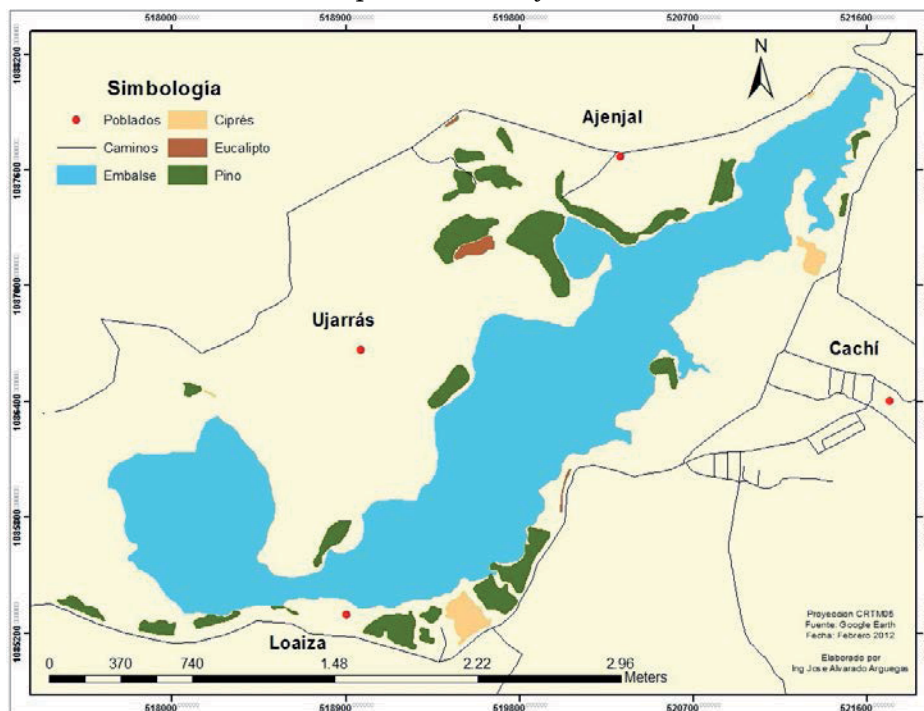
y *Eucalyptus deglupta*, así como determinar la fracción de carbono para los diferentes componentes del árbol en las especies *Pinus caribaea*, *Cupressus lusitanica* y *Eucalyptus deglupta*.

Materiales y métodos

Área de estudio

Se encuentra conformada por las plantaciones forestales aledañas al embalse de la represa del Proyecto Hidroeléctrico Cachí, ubicada en la provincia de Cartago, en el cantón de Paraíso, distrito Cachí. La reforestación se estableció en bloques de forma irregular separados entre sí por distancias no uniformes, para un total de 53,81 ha; 46,83 ha plantadas con *P. caribaea*, 1,76 ha con *C. lusitanica* y 5,23 ha con *E. deglupta* en combinación con otras especies (figura 1).

Figura 1. Distribución de las áreas reforestadas con *P. caribaea*, *C. lusitanica* y *E. deglupta* en las plantaciones aledañas a la represa del Proyecto Cachí.



Cuadro 1. Distribución de los árboles muestreados en plantaciones de *P. caribaea*, *C. lusitanica* y *E. deglupta*.

| Especie | Clase diamétrica | | | | | | | Total |
|----------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|-------|
| | Menor a 10 | 10-19,9 | 20-29,9 | 30-39,9 | 40-49,9 | 50-59,9 | Mayor a 60 | |
| <i>P. caribaea</i> | - | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 30 |
| <i>C. lusitanica</i> | - | 3 | 4 | 5 | 2 | - | - | 14 |
| <i>E. deglupta</i> | 1 | 6 | 5 | 2 | 1 | - | - | 15 |

Selección de la muestra

El muestreo fue aleatorio con una intensidad del 3% y el número de parcelas por bloque se fijó según el tamaño de este. Se instalaron más parcelas en bloques de mayor tamaño y menos parcelas en bloques pequeños; en algunos de los bloques no fue posible instalar parcelas debido al tamaño reducido de estos. Las parcelas fueron temporales de forma circular (500 m²). El tamaño de las parcelas instaladas en las plantaciones de *P. caribaea* fue 14, en *C. lusitanica* 9 y en *E. deglupta* 4.

Muestreo de biomasa

A todos los árboles dentro de la parcela se les midió el diámetro a la altura del pecho a 1,3 m sobre el nivel del suelo ($D_{ap} \geq 10$ cm) y con el conjunto de individuos de toda la muestra se elaboró una distribución diamétrica (con amplitud de 10 cm por clase) por especie. De cada clase diamétrica se eligieron árboles con buen estado fitosanitario para cuantificar su biomasa. La muestra fue 30 árboles para *P. caribaea*, 14 para *C. lusitanica* y 15 para *E. deglupta*, respectivamente (cuadro 1).

Para cuantificar la biomasa, se utilizó el método directo de muestreo destructivo, este consiste en separar y pesar directamente en el campo los componentes: hojas (Ho), ramas (Rm), fuste (Fu) y raíz (Ra). Para los árboles que presentaban diámetros aprovechables, se determinó

el volumen comercial por medio de la fórmula de Smalian (ecuación 1) y se utilizó el peso específico de la madera (Carpio, Altamirano y Blanco, 1987; Blanco, Carpio y Muñoz, 2005) para calcular su biomasa. El volumen no comercial se pesó en su totalidad en el campo.

Ecuación 1

$$\text{Volumen} = \pi/4 * (D_1^2 + D_2^2) / 2 * L$$

Donde:

V = volumen de la troza o sección (m³)

D₁ y D₂ = diámetros al cuadrado de los extremos de la troza (cm)

L = Longitud de la troza (m)

Para el componente raíz, se evaluó principalmente la estructura y todas aquellas raíces de diámetro menor que al extraer la raíz principal quedaron adheridas a esta. La extracción se realizó haciendo uso de una excavadora. De cada componente del árbol, en el campo se tomó una muestra de aproximadamente un kilogramo. Esta muestra se llevó al laboratorio y se secó en un horno a 60° C durante 72 horas, para estimar su contenido de materia seca (MS). El análisis de la materia orgánica se realizó haciendo uso de la metodología de Walkey y Black (Álvarez y Marín, 2011).

Cuadro 2. Fracción de carbono (%) y biomasa seca (%) en los distintos componentes del árbol. Los valores entre paréntesis se refieren a la fracción de materia seca.

| Especie | Estadístico | Componente | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Hojas | Ramas | Fuste | Raíz |
| <i>P. caribaea</i> | n | 12 (30) | 12 (29) | 12 (30) | 12 (22) |
| | X | 47,5 (43,7) | 49,4 (52,3) | 48 (50,7) | 48 (44,4) |
| | S | 2,3 (3,7) | 2,1 (4,3) | 3,6 (5,4) | 2,6 (4,5) |
| | E (%) | 3,1 (3,3) | 2,7 (3,1) | 4,6 (4) | 3,5 (6,1) |
| <i>C. lusitanica</i> | n | 8 (14) | 10 (14) | 8 (14) | 6 (8) |
| | X | 32,7 (41,6) | 48,6 (47,8) | 52,7 (42,3) | 50,3 (44) |
| | S | 1,5 (3,7) | 2 (3,2) | 0,9 (2,8) | 1,6 (3,5) |
| | E (%) | 3,9 (5,3) | 2,9 (3,9) | 1,5 (3,9) | 3,3 (6,8) |
| <i>E. deglupta</i> | n | 8 (15) | 8 (15) | 8 (15) | 6 (8) |
| | X | 36,4 (34,9) | 50,1 (46,9) | 50,3 (43,8) | 47,7 (45,2) |
| | S | 2,1 (2,2) | 2 (3,5) | 2,4 (3,8) | 1,3 (2,5) |
| | E (%) | 4,8 (3,5) | 3,3 (4,2) | 3,9 (4,8) | 2,9 (4,7) |

n= tamaño de la muestra, X= promedio, S= desviación estándar, E (%)= error de muestreo

Resultados

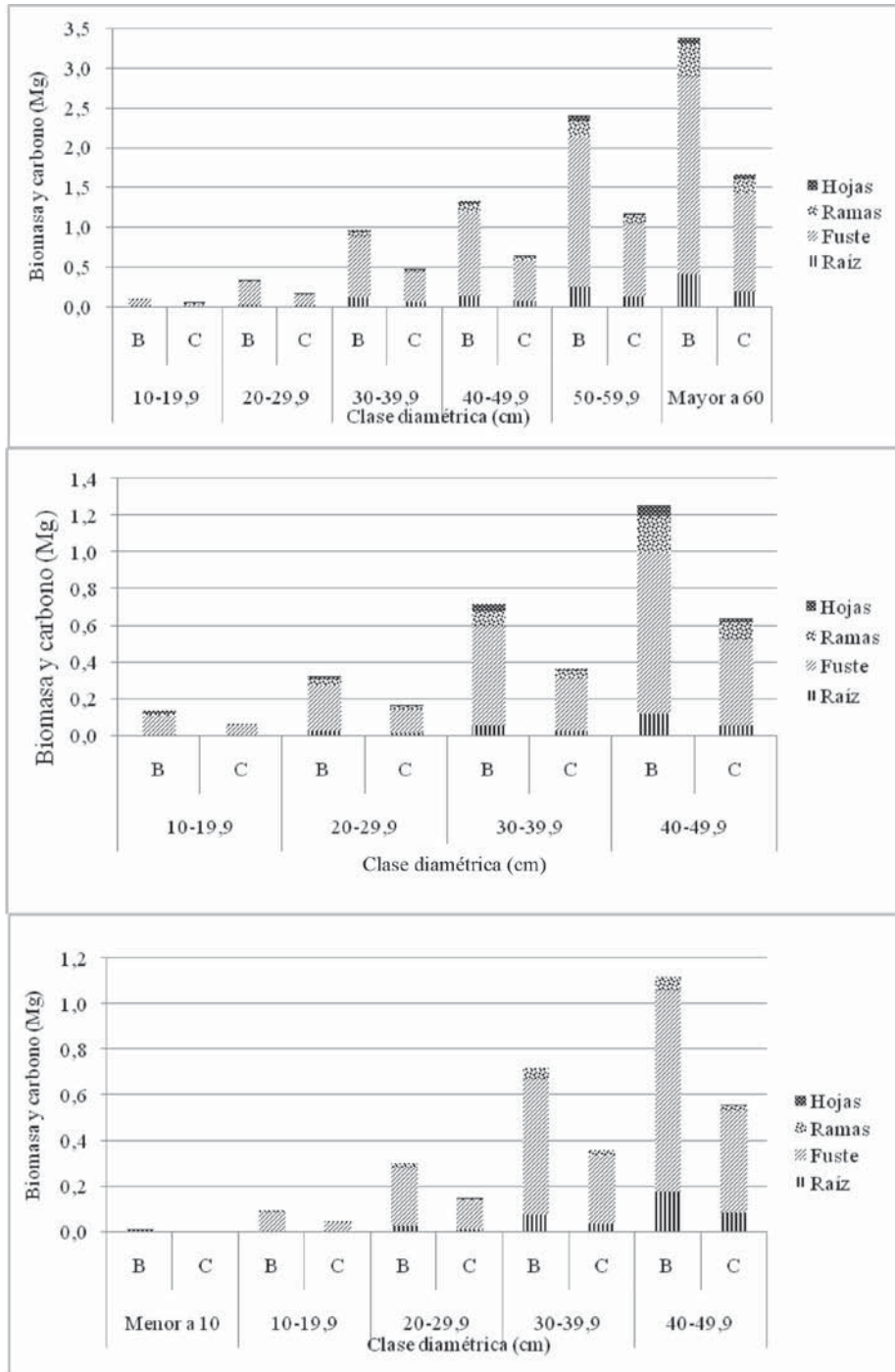
Contenido de carbono en la biomasa

La fracción de carbono (FC) promedio en todos los árboles muestreados para cada uno de los componentes analizados varió entre 47,5% y 49,4% en *P. caribaea*, de 32,7% a 52,7% en *C. lusitanica* y de 36,4% a 50,3% en *E. deglupta*, con errores de muestreo inferiores al 5% para todos los componentes del árbol (cuadro 2). La FC más baja se registra en hojas para las 3 especies; el valor inferior lo tiene *C. lusitanica*. Los componentes más lignificados (Fu, Rm y Ra) tienen mayor FC.

Stock de carbono

El carbono almacenado en la biomasa arbórea (Fu, Rm, Ho y Ra) fue 230,0; 123,2 y 69,7 Mg ha⁻¹ en las plantaciones de *P. caribaea*, *C. lusitanica* y *E. deglupta*, respectivamente. Estas estimaciones presentan errores de muestreo de 11,3%, 18,7% y 37%, respectivamente (figura 2). El fuste aporta la mayor cantidad y representa el 79,0%; 75,9% y 81,7% del carbono total en *P. caribaea*, *C. lusitanica* y *E. deglupta*, respectivamente, seguido de las ramas en *C. lusitanica* con un 11,8% y de la raíz en *P. caribaea* y *E. deglupta* con 10,8% y 10%, respectivamente. Para las 3 especies, el follaje representó un porcentaje mínimo,

Figura 2. Acumulación de (B) biomasa y (C) carbono en plantaciones de (a) *P. caribaea*, (b) *C. lusitanica* y (c) *E. deglupta*.



el cual no supera el 3,5% (figura 2). Esta misma tendencia se da para la acumulación de carbono en la biomasa del árbol individual (figura 3).

La cantidad de biomasa y el carbono almacenado en las plantaciones, así como su distribución por clase diamétrica se comportan diferente según la especie, sin embargo, en los 3 casos la clase inferior no representa más de un 1% del carbono total. En plantaciones de *P. caribaea* las clases diamétricas superiores a 30 cm contienen más del 91% del carbono y la biomasa total, en *C. lusitanica* representan un 74% y en *E. deglupta* un 47% del total.

El carbono almacenado en la biomasa total aumentó conforme crece el árbol y según la especie, en *P. caribaea* pasó de 0,05 Mg cuando el árbol es joven a 1,66 Mg en su madurez, en *C. lusitanica* aumentó de 0,136 Mg a 0,637 Mg y en *E. deglupta* de 0,01 Mg a 0,56 Mg por árbol (figura 3).

En el área total de las plantaciones el carbono almacenado es 10,770,9 Mg en *P. caribaea*, 643,2 Mg en *C. lusitanica* y 121,4 Mg para *E. deglupta*.

Discusión

Contenido de carbono en la biomasa

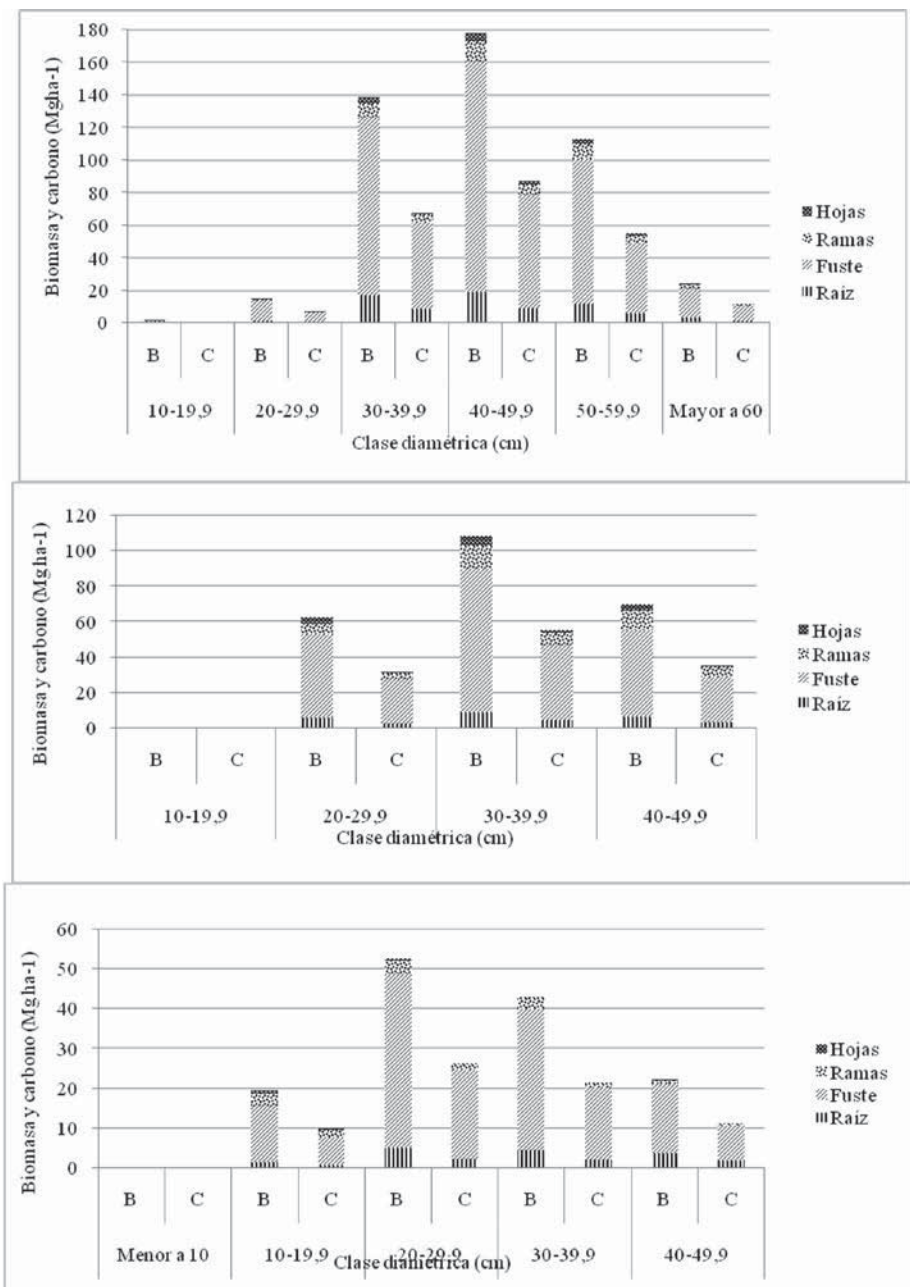
En este estudio se analizó la fracción de carbono por componente de biomasa en plantaciones, para 3 especies forestales.

Muy pocas investigaciones realizan estudios de análisis sobre el contenido de carbono en la biomasa, generalmente se utilizan valores por defecto. La fracción de carbono en los distintos componentes de las 3 especies osciló entre 32% y 50,3% y fue más baja en las hojas, esto debido a que contienen menos lignina que los demás componentes (Gayoso y Guerra, 2005) *P. caribaea* posee valores parecidos en los 4 componentes analizados, en promedio 48,2%, dato muy similar al encontrado (50,3%) por Díaz et al., (2007) y (51.8%) por Navarro (2010) para *P. patula* y al rango (47-58%) indicado por Kurbanov (2010) para el pino en Rusia. Para *E. deglupta*, Andrade (1999) reporta un promedio de 46% en todos los componentes y Díaz y Molano (2001) un 45,1%, valores muy similares al encontrado en este estudio (45,7%).

Carbono almacenado en las plantaciones forestales

La acumulación del carbono almacenado en plantaciones forestales se encuentra relacionada directamente con la especie, con la intensidad de manejo aplicado, con la edad de la plantación y las condiciones ambientales del sitio (Segura y Kanninen, 2002). Por otra parte, la estimación del stock se ve afectada por la metodología empleada para realizar el estudio (García, Sist y Kanashiro, 2004), por ejemplo, en muchos de los estudios no se cuantifica el componente raíz, o bien se incluyen valores

Figura 3. Acumulación de (B) biomasa y (C) carbono en los componentes del árbol, (a) *P. caribaea*, (b) *C. lusitanica* y (c) *E. deglupta*.



de carbono presentes en el suelo y la vegetación herbácea (Schlegel, 2001). Por estas razones, hacer una comparación sobre acumulación de carbono en una misma especie es difícil y más aún entre especies.



M. Rojas. Plantación de ciprés, Costa Rica.

El error de muestreo para el carbono total por hectárea en *P. caribaea* es de 11,3%, este demuestra que el inventario fue preciso. Se obtuvieron errores más altos para *C. lusitanica* y *E. deglupta* con 18,7% y 37%, respectivamente. En el caso de *Pinus*, el área plantada, el tamaño de los bloques y la homogeneidad de estos permitieron trabajar con un tamaño de muestra aceptable ($n=14$) y esto produjo un error de muestreo bajo. Para *Cupressus* y *Eucalyptus* el área plantada fue mínima, las plantaciones son muy heterogéneas entre sí y, además, los bloques donde se instalaron las parcelas son muy pequeños y no fue posible aumentar la muestra, lo cual produjo menor precisión en el inventario. A pesar de lo antes expuesto, errores inferiores al 20% son clasificados (según MacDicken, 1997) entre niveles de esfuerzo de alto a moderado en evaluaciones de carbono.

El incremento medio anual (IMA) en carbono para las plantaciones de *P. caribaea* (6,05 Mg ha⁻¹ a los 38 años) encontrado en este estudio fue inferior al reportado por otros autores para el mismo género, por ejemplo, Navarro (2010) encontró 3,6 Mg ha⁻¹ a los 25 años; Pacheco et al. (2007)

registraron 2,9 Mg ha⁻¹; Gayoso (2002) 3,8 Mg ha⁻¹, y Oleksyn, Reich, Chalupka y Tjoelker, (1999) 2,7 Mg ha⁻¹. Para estos últimos estudios se tomó en cuenta solo el componente aéreo del ecosistema y las edades de las plantaciones fueron de 6, 8 y 12 años, respectivamente, mientras que Lopera y Gútierrez (2000) citan un rango superior de 8,1-9,8 Mg ha⁻¹ incluyendo la necromasa.

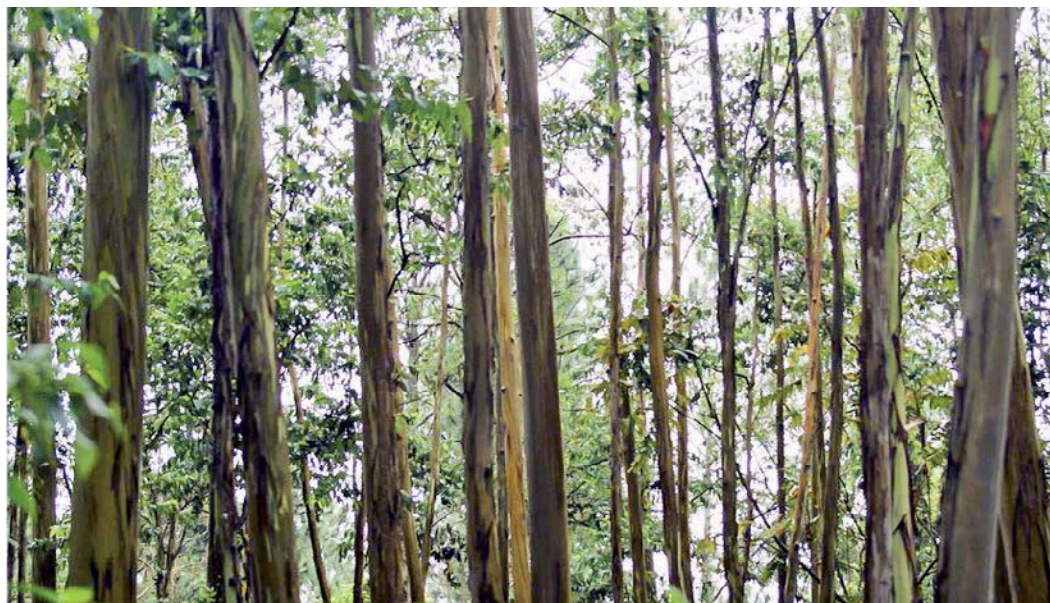
En *E. deglupta* el IMA fue 1,8 Mg ha⁻¹, muchos estudios muestran IMAS muy superiores al encontrado en este estudio, por ejemplo, Poggiani (1985) encontró 8,4 Mg ha⁻¹ en *E. saligna* a los 11 años de edad; Ferrere, Lupi, Boca, Nakama y Alfieri (2008) 7,5 Mg ha⁻¹ en plantaciones de *E. viminalis* a los 14 años; Aparicio (2001) 11,3 Mg ha⁻¹ a los 4 años; Madgwick, Oliver, Frederick y Thompson (1991) 10,2 Mg ha⁻¹ en *E. nitens* a los 4 años, y Frederick y Thompson (1991) encontraron en plantaciones del mismo género, a la edad de 5 años, 7,26 Mg ha⁻¹. Otros estudios reportan datos más cercanos a los de este estudio, como Saint-andre et al. (2004) que muestran 3,9 Mg ha⁻¹ y Díaz y Molano (2001) entre 1,7 y 5,1 Mg ha⁻¹; sin embargo, estas plantaciones solo poseen entre 4 y 8 años.

C. lusitanica capturó un total de 3,2 Mg ha⁻¹año⁻¹, este es inferior al de plantaciones de 25 años de edad en Costa Rica de las especies *T. amazonia* y *T. grandis*, las cuales presentan datos de captura de 7,8 y 5,2 Mg ha⁻¹ respectivamente, pero inferior a la especie *B. quinata* con 2 Mg ha⁻¹ (Montero y Kanninen, 2006).

Distribución de la biomasa y el carbono

La biomasa y el carbono almacenados en el árbol aumentaron con su tamaño, pero el aporte porcentual de biomasa y/o carbono de cada componente al árbol total varía según el rango o clase diamétrica y la especie. Se estimó, para el componente hojas, un aporte de 3% en biomasa para la especie *P. caribaea*, 6,6% en *C. lusitanica* y 1,5% en *E. deglupta*. Estos datos son similares a los obtenidos en estudios como el de Castellanos (1993), quien encontró 4% en *Pinus montezumae*; González (2008) 2,3% en *Quercuss sp.*; Ruíz (2011) 2,8% en *Alnus acuminata*, y González (2008) 3,6% en *Pinus maximinoi*. Otros autores como Jiménez, Aguirre y Kramer (2001) reportan un 10,8% en *Pinus hartwegii*; Fonseca (2009) un 3,7% para *V. guatemalensis* y 4,3% para *H. alchorneoides*, y Monroy y Návar (2000) un 27% para *Hevea brasiliensis*, datos muy superiores a los obtenidos en este estudio.

Las ramas representan 7%, 11,2% y 6,9% de la biomasa total del árbol para las especies *P. caribaea*, *C. lusitanica* y *E. deglupta*, respectivamente. Estos resultados son menores a los obtenidos en otras especies forestales como *Pinus montezumae* (47-85%) (Bonilla, 2009) y *Schizolobium parahyba* (37%) (Álvarez G., 2008); sin embargo, existen datos más similares a los de este estudio como el de González (2008) en *Pinus ocarpa* (11,2%); Fonseca (2009) en *Vochysia guatemalensis* (11,6%); Avendaño (2009) en *Abies religiosa* (9%), y Pérez y Kanninen (2003) en *Tectona grandis* (5-30%).



M. Rojas. Plantación de eucalipto, Costa Rica.

El fuste representa para *P. caribaea* 79,6%, en *C. lusitanica* un 76,4% y en *E. deglupta* un 84%. Estos datos son similares a los obtenidos en otros estudios como el de Pérez y Kanninen (2003), quienes determinaron un 70-90% en *Tectona grandis*; Díaz et al. (2007) un 78% en *Pinus patula*; Avendaño (2008) un 83% en *Bombacopsis quinata*, *Terminalia oblonga* y *Cordia alliodora*; González (2008) un 87,6%, 84,8% y 87,2% para *Pinus maximinoi*, *Pinus ocarpa* y *Quercus*, de forma respectiva; Avendaño y otros (2009) un 81% en *Abies religiosa*, y Bonilla (2009) un 85% en *Pinus montezumae*. Sin embargo, existen datos superiores como los de Cubero y Rojas (1999), quienes obtienen 91%, 90,8% y 90,9% para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata*, e inferiores como el de Ruíz (2011), quien determinó 70,6% en plantaciones de *Alnus acuminata*, y Fonseca (2009), quien halló 64,5% y 54,5% para *Vochysia guatemalensis* e *Hyeronima alchorneoides*.

Pocos trabajos han estudiado la acumulación de biomasa y carbono en todos los compartimentos, generalmente no se cuantifica el componente raíz debido a la dificultad de su medición. Se

determinó que la raíz representa un 9,8% en *P. caribaea* y un 8,8% para *C. lusitanica* y *E. deglupta*. Estos datos son inferiores a los obtenidos en la literatura, por ejemplo estudios como el de Geldres, Gerding y Schlatter (2006) reportan un 17% para *Eucalyptus nitens*; Doll, Vallejos, Bilbao y Jara (2008) un 33% en *Nothofagus glauca*, y Fonseca (2009) 21,67% y 22,81% para *Vochysia guatemalensis* e *Hyeronima alchorneoides*. Estos porcentajes de acumulación se encuentran directamente relacionados con la edad de la plantación, el manejo silvícola, las condiciones de sitio, el clima y las condiciones ambientales.

Conclusiones

La fracción de carbono promedio para los 4 componentes analizados fue 48,2%, para *P. caribaea*, 46,1% en *C. lusitanica* y 46,12% en *E. deglupta*. El porcentaje de materia seca fue 47,8% en *P. caribaea*, 43,9% en *C. lusitanica* y 42,7% en *E. deglupta*.

En las 3 especies el carbono acumulado por hectárea en el fuste representó más de 75% y el componente hojas menos del 3%, tendencia que se repite en la acumulación de carbono en el árbol individual.

Referencias

- Álvarez, E., y Marín, M. A. (2011). *Manual de procedimientos analíticos para suelos y plantas*. México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Álvarez, G. (2008). *Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochamba*. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Andrade, H. (1999). *Dinámica productiva de sistemas silvo-pastoriles con Acacia mangium y Eucalyptus deglupta en el trópico húmedo*. Turrialba: CATIE.
- Aparicio, J. L. (2001). *Rendimiento y biomasa de Eucalyptus nitens con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable en un suelo rojo arcilloso*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Arce, H. y Barrantes, A. (2006). *La madera en Costa Rica: situación y perspectivas*. San José: FONAFIFO.
- Avenidaño, J. (2008). *Modelos genéricos de biomasa aérea para especies forestales en función de la arquitectura y la ocupación del rodal, Costa Rica*. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Bashkin, M. y Binkley, D. (1998). Changes in soil carbon following afforestation in Hawaii. *Ecological Society of America*, 828-833.
- Blanco, M., Carpio, I. y Muñoz, F. (2005). *Fichas técnicas de veinte especies maderables de importancia en Costa Rica*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Bonilla, E. (2009). *Uso de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en Pinus montezumae lamb*. México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Brown, S. (1997). *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests*. Italy: FAO.
- Carpio, I., Altamirano, J. y Blanco, M. (1987). *Pinus caribaea y Pinus hondurensis en América Central*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Castellanos, B. (1993). *Producción de biomasa y eficiencia de crecimiento en un rodal de Pinus montezumae*. México: Colegio de Montecillos.
- Ciesla, W. (1996). *Cambios climáticos, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto*. Italia: FAO.
- Cubero, J. y Rojas, S. (1999). *Fijación de carbono en plantaciones de melina (Gmelina arborea roxb), teca (Tectona grandis L. F.) y pochete (Bombacopsis quinata Jacq) en los cantones de Hojanca y Nicoya*. Heredia: Universidad Nacional.
- Díaz, R., Mireles, M., Carrillo, F., Rodríguez, B., Flores, E. y Etchevers, J. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula*. *Madera y Bosques*, 25-34.
- Díaz, S. y Molano, A. (2001). Cuantificación y valoración económica de la captura de CO₂ por plantaciones del género *Eucalyptus* sp. establecidas por preca en las cuencas carboníferas de Cesar, Valle del Cauca y altiplano Cundiboyacense. *Colombia Forestal*, 14.
- Doll, U., Vallejos, O., Bilbao, N. y Jara, C. (2008). Estimación preliminar de la retención de carbono en raíces finas y mantillo de un renoval de *Nothofagus glauca* de la precordillera andina de la Región del Maule, Chile. *Bosque*, 91-96.
- Eamus, D., McGuinness, K. y Burrows, W. (2000). *Review of allometric relationships for estimating woody biomass for queensland, the northern territory and western Australia*. Australia.
- FAO. (2011). *Situación de Bosques del Mundo*. FAO.
- Ferrere, P., Lupi, A., Boca, R., Nakama, V. y Alfieri, A. (2008). Biomasa en plantaciones de *Eucalyptus viminalis* Labill de la provincia de Buenos Aires. *Ciencias Forestales*, 293-307.
- Fonseca, W. (2009). *Restauración forestal y almacenamiento de carbono en el trópico húmedo*. Henares: Universidad de Alcalá.

- Frederick, D. y Thompson, D. (1991). Biomass relationships in stands of *Eucalyptus* species. *Bioresource Technology*, 85-91.
- García, C., Sist, P. y Kanashiro, M. (2004). Manejo sostenible de los bosques tropicales: Desafíos para las prácticas de aprovechamiento de impacto reducido. *Recursos Naturales y Ambiente*, 12-17.
- Gayoso, J. (2002). *Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Gayoso, J. y Guerra, J. (2005). Contenido de carbono en la biomasa de bosques nativos siempreverdes. *Bosque*, 33-38.
- Geldres, E., Gerding, V. y Schlatter, J. (2006). Biomasa de *Eucalyptus nitens* de 4 a 7 años de edad en un rodal de la X Región. *Bosque*, 223-230.
- González, M. (2008). *Estimación de biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de Pinus maximinoi, Pinus oocarpa y Quercus sp.* Turrialba: CATIE.
- Jiménez, J., Aguirre, O. y Kramer, H. (2001). Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de Pino-encino en el noreste de México. *Investigaciones Agrarias: Sistemas de Recursos Forestales*, 355-366.
- Lopera, G. y Gutiérrez, V. (2000). *Viabilidad técnica y económica de la utilización de plantaciones de Pinus patula como sumideros de carbono*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- MacDicken, K. (1997). *Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects*.
- Madgwick, H., Oliver, G., Frederick, D. y Thompson, D. (1991). Estimating the Dry Weights of *Eucalyptus* Trees-Central North Island. *Technol*, 111-114.
- Malhi, Y. y Grace, J. (2000). Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology and Evolution*, 332-336.
- MINAE. (2009). *Comunicación a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. San José: Ministerio de Ambiente y Energía.
- Monroy, C. y Návar, J. (2000). Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa en *Hevea brasiliensis* en Veracruz. *Madera y Bosques*, 29-43.
- Montagnini, F., Kanninen, M., Montero, M. y Alice, F. (2011, junio 25). Sostenibilidad de las plantaciones forestales: ciclaje de nutrientes y efectos de las especies sobre la fertilidad de los suelos. Disponible en <http://www.una.ac.cr/inis/docs/suelos/Florenca.pdf>
- Montero, M. y Kanninen, M. (2006). Carbono fijado a diferentes edades en plantaciones de *Terminalia amazonia*, *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* en Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*, 1-19.
- Navarro, C. M. (2010). *Almacenamiento de carbono en bosques manejados de Pinus patula en el Ejido La Mojonera, Zacualtuplán, Hidalgo*. México: Texcoco.
- Oleksyn, J., Reich, P., Chalupka, W. y Tjoelker, M. (1999). Differential above- and below- ground biomass accumulation of European *Pinus sylvestris* populations in a 12-year-old provenance experiment. *Journal of Ecology*, 7-17.
- Ortiz, R. y Kanninen, M. (2000). Evaluación económica del servicio de sumidero de carbono en diferentes ecosistemas forestales. 84-92.
- Pacheco, E., Arnulfo, A., Gómez, G., Fierros, A., Cetina, V. y Vaquera, H. (2007). Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* *gelm.* *Fitotec*, 251-254.
- Pardos, A. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. Madrid: INIA.
- Pérez, D. y Kanninen, M. (2003). Above ground biomass of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science*, 199-213.
- Perry, D. (1994). *Forest Ecosystems*. Oregon: Oregon State University.
- Poggiani, F. (1985). Nutrient cycling in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations ecosystems: silvicultural implications. 33-40.
- Prebble, C. (1998). Cambios climáticos: el factor Bosque. *Actualidad Forestal Tropical*, 2-5.
- Ruiz, J. (2007). *Environmental services, water and economy. Servicios ambientales, agua y economía*. Chicago: Banco Mundial.
- Ruiz, L. (2011). *Modelos alométricos para la estimación de biomasa en Alnus acuminata (kunth) en Costa Rica*. Heredia: Universidad Nacional .
- Saint-andre, L., Nouvellon, Y., Laclaux, J., Ranger, J., Bouillet, J., Nzila, J. y Anda, M. (2004). *Modeling nutrient cycling integrating nutrient cycling into growth model. In site management and productivity in tropical plantation forest. Proceedings of workshops in Congo July 2001 and China February 2003*.
- Schlegel, B. (2001). *Estimaciones de biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde*. Valdivia: Universidad Austral de Chile .
- Segura, M. y Kanninen, M. (2002). Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales. En *Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central*. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- SIREFOR. (2011, enero 25). www.sirefor.go.cr. Disponible en www.sirefor.go.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=13&Itemid=54