

**Riqueza florística y carbono almacenado en tres pisos altitudinales de bosques amazónicos, Zamora Chinchipe, Ecuador**

**Richness floristic and stored carbon on three altitudinal floors of amazon forests  
Zamora Chinchipe, Ecuador**

Oswaldo Jadán<sup>1\*</sup>, Wilson Quizhpe<sup>2</sup>, Edwin Pacheco<sup>2</sup>, Mario González<sup>3</sup>, Edwin Ponce<sup>3</sup>, Zhofre Aguirre<sup>2</sup>, Denisse Peña<sup>1</sup>

1. Investigador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca.
2. Investigadores de la Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja
3. Investigadores de la Fundación Fidase

\* Autor para correspondencia: oswaldo.jadan@ucuenca.edu.ec

Recibido: 15 abril 2017

Aceptado: 11 de junio 2017

## **Resumen**

Los bosques tropicales poseen alta riqueza florística y complejas estructuras que con base a su funcionalidad brindan servicios ecosistémicos. Se evaluó la riqueza de especies arbóreas, arbustivas, herbáceas y el carbono almacenado en tres pisos altitudinales: Pie montano, Montano bajo y Montano. Se instalaron parcelas de área variable donde se evaluó la riqueza florística y las especies más importantes ecológicamente. También se determinó la densidad y área basal, y se estimó el carbono almacenado mediante métodos directos y modelos alométricos para bosques tropicales. La mayor riqueza de especies arbóreas, densidad y área basal se registró en el piso Pie montano ubicado a menor altitud. El carbono total almacenado fue mayor en el piso Montano bajo, influenciado por la alta cantidad de carbono almacenado en el suelo. El carbono en la biomasa aérea arbórea fue mayor en el piso Pie montano a diferencia del Montano, bajo lo cual es influenciado por el área basal que es resultado de mediciones del DAP; este parámetro se correlacionó fuertemente con la biomasa. Se concluye que el carbono almacenado se relaciona directamente con la composición de especies,

especialmente las arbóreas presentes con mayores o menores valores estructurales tanto en área basal y densidad, en los diferentes pisos altitudinales.

Palabras claves: área basal, biomasa, estructura, riqueza, montano.

## Abstract

Tropical forests have high floristic richness and complex structures that, based on their functionality, provide ecosystem services. The richness of arboreal, shrub and herbaceous species and the carbon stored in three altitudinal floors were evaluated: *Mountain foot*, *Montano under* and *Montano*. Variable area plots were installed where the floristic richness and the most important species were evaluated ecologically. The density and basal area were also determined, and carbon stored by direct methods and allometric models for tropical forests was estimated. The greatest richness of tree species, density and basal area was recorded in the floor *Mountain foot* located at lower altitude. The total stored carbon was higher in the low montane floor, influenced by the high amount of carbon stored in the soil. The carbon in the arboreal aerial biomass was higher in the *Montane foot* floor as opposed to *Montane under* which it is influenced by the basal which is the result of DAP measurements; this parameter correlated strongly with the biomass. It is concluded that stored carbon is directly related to the composition of species, especially the trees present with higher or lower structural values both in basal area and density, in the different altitudinal floors.

Keywords: basal area, biomass, structure, richness, montane

## Introducción

Los bosques Neotropicales son los más diversos del mundo (Gentry, 1988; Valencia, Balslev & Miño, 1994). Esta característica fue atribuida en principio a los ubicados al sur este asiático (Berry, Guariguata & Kattan, 2002) pero otros estudios han demostrado que actualmente los bosques más ricos de mundo se encuentran en Yanamomo, Perú, y Cuyabeno, Ecuador. En el primer sitio, Gentry (1988) registró 283 especies arbóreas, mientras que Valencia et al., (1994) en Ecuador registraron 307 especies de árboles con diámetro  $\geq 10$  cm DAP (Diámetro a la altura del pecho <sub>1,30 m</sub>) en una parcela de una ha. Ambos sitios pertenecientes a la cuenca de río Amazonas.

En el Sur del Ecuador existen considerables remanentes de vegetación natural forestal frente a las que se han emprendido diferentes investigaciones (Cartuche-Toledo, 2016; Dislich, Günter, Homeier, Schröder & Huth, 2009; Espinosa, Cabrera, Luzuriaga & Escudero, 2011) especialmente en zonas de alta importancia ecológica como la Cordillera del Cóndor (Girardin et al., 2014; Jadán & Aguirre, 2011; Neill, 2007). En esta región existen diferentes formaciones

vegetales distribuidas en tres regiones naturales tanto Costa, Sierra y Amazonia. Específicamente en la región amazónica, provincia de Zamora Chinchipe se han documentado más de diez formaciones o ecosistemas de vegetación natural las cuales están diferenciadas por pisos altitudinales (MAE, 2013). Estos pisos altitudinales se convierten en micro-hábitats donde están asociados diferentes factores ambientales que controlan el desarrollo natural de diferentes comunidades o grupos específicos de plantas vasculares (Homeier et al., , 2010).

A nivel tropical, los bosques a más de su alta diversidad de elementos arbóreos y como efecto de su estructura son importantes por la provisión de servicios ecosistémicos. Uno de estos servicios es la fijación y almacenamiento de carbono el cual está ligado con la mitigación hacia el cambio climático (Asner et al., 2010; Moser et al., 2011). Investigaciones locales diferencian capacidad de almacenamiento y fijación entre bosques primarios y secundarios (Chacón, Leblanc & Russo, 2007; Jadan et al., 2015). Sin embargo, los bosques tropicales son los que almacenan las mayores cantidades de carbono en relación con otras coberturas vegetales, por lo tanto son más eficientes dentro de este servicio ecosistémico (Jadan et al., 2015; Sullivan et al., 2016).

Contrariamente a la diversidad y servicios de poseen y brindan los bosques tropicales, estos ecosistemas presentan grandes problemas ambientales. Sobresale la deforestación como uno de los problemas más comunes pero uno de los más graves al mismo tiempo (Achard et al., 2002). En Zamora Chinchipe se han registrado las tasas de deforestación más altas considerando a todas las provincias amazónicas del Ecuador y la segunda a nivel nacional después de Esmeraldas (Sanchez, 2015). Las causas están ligadas especialmente a actividades antropogénicas ganaderas, minería y desarrollo vial (Tapia-Armijos et al., 2015). Otro factor son los vacíos de conocimiento respecto a ciertos atributos de la vegetación sobre los bosques naturales, lo mismo que no permiten valorarlos, manejarlos, ni consérvalos integralmente.

Bajo estos antecedentes y para generar información que permitan manejar, conservar y valorar integralmente los recursos forestales de la región tropical en el sur del Ecuador se presenta datos descriptivos sobre: Composición de las especies más importantes ecológicamente y riqueza de especies en tres estratos vegetales tanto: arbóreo, arbustivo y herbáceo, dentro de tres pisos altitudinales o florísticos y datos de almacenamiento de carbono en diferentes estratos de la vegetación y compartimentos en tres pisos altitudinales o florísticos.

## **Materiales y métodos**

### **Área de estudio**

La investigación se realizó en tres pisos altitudinales dentro de las cordilleras amazónicas existentes en la provincia de Zamora Chinchipe, ubicados en los cantones de Nangaritza, Yantzanza y El Pangui. Estos pisos son: Piemontano (300 -1300 msnm); Montano bajo (1300 – 1800 msnm) y Montano (1800 – 2600 msnm) (Figura 1).

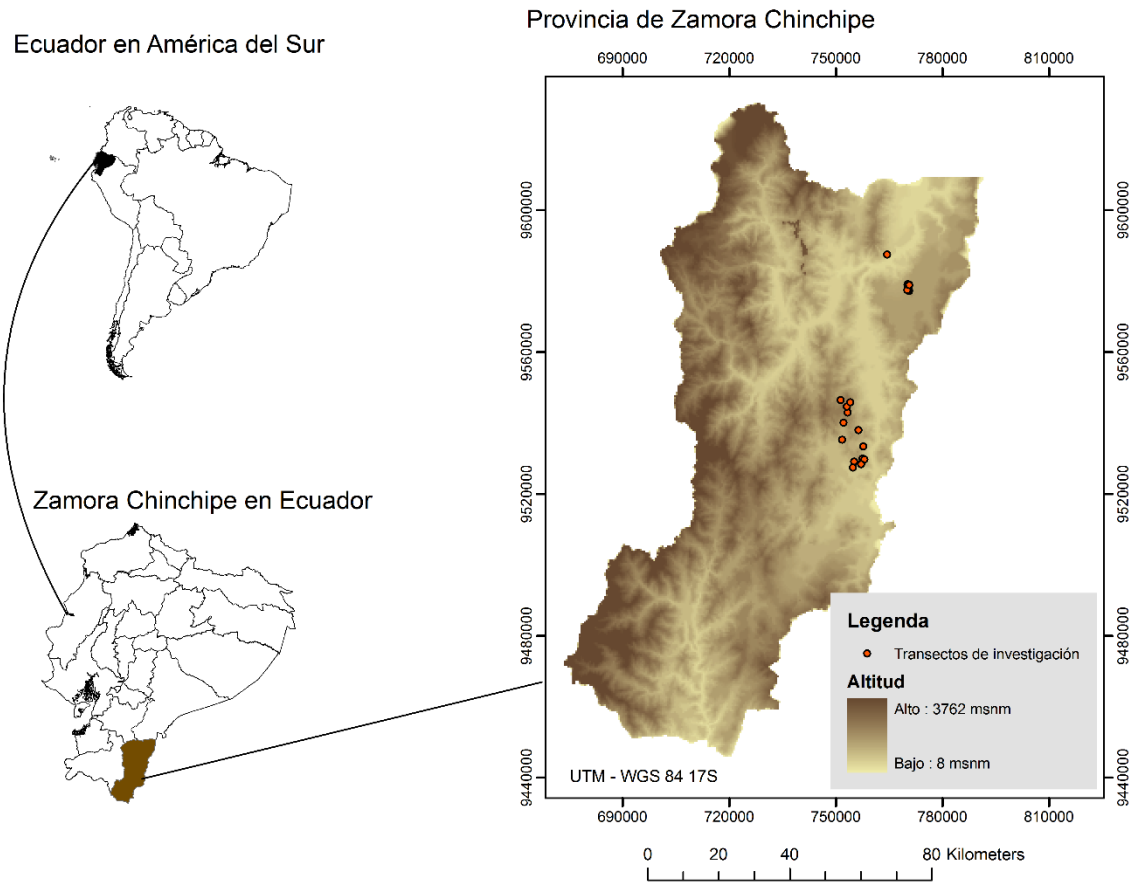


Figura 1. Ubicación de los sitios de investigación en la provincia de Zamora Chinchipe.

**Muestreo y toma de datos**

Se elaboró un modelo de elevación digital y capas digitales para diferenciar clases altitudinales según los pisos altitudinales descritos en Sierra et al., (1999). Estas clases sirvieron para ubicar *in situ* los sitios de muestreo. En cada piso altitudinal se instalaron parcelas de área variable para evaluar los diferentes estratos como se detallan en la Tabla 1. Los estratos evaluados fueron: arbóreo, arbustivo y herbáceo. Estos fueron diferenciados por biotipos de árboles, arbustos y hierbas diferenciados taxonómicamente según el catálogo de plantas vasculares del Ecuador (Jorgensen & Leon-Yanez, 1999). En los árboles y arbustos se consideraron también las palmas y los helechos arbóreos.

Tabla 1. Número de parcelas y superficie muestreada en cada piso altitudinal en diferentes estratos de vegetación.

Estratos	Nro. de parcelas en Pie montano	Superficie (m <sup>2</sup> , ha)	Nro. de parcelas en Montano bajo	Superficie (m <sup>2</sup> , ha)	Nro. de parcelas en Montano	Superficie (m <sup>2</sup> , ha)
----------	---------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------	----------------------------------

Arbóreo	21	10500-1,05	14	700 - 0,7		0
Arbustivo	22	550 - 0,055	12	300 - 0,03	3	75 - 0,0075
Herbáceo	22	22 - 0,0022	12	12 - 0,0012	3	3 - 0,0003

En cada parcela, para evaluar el estrato arbóreo  $\geq 10$  cm de DAP según las especies más importantes ecológicamente y el carbono almacenado, se instalaron transectos al azar de 500 m<sup>2</sup> (50 m  $\times$  10 m). Dentro de estas parcelas se tomaron datos de DAP, altura total y se contabilizó el número de individuos por cada especie. También se instalaron parcelas anidadas de 5 m  $\times$  5 m para evaluar el estrato arbustivo y de 1 m  $\times$  1 m para el estrato herbáceo. En cada parcela se recolectó una muestra botánica de todas las especies para su posterior identificación.

## **Análisis de la información**

### **Especies de mayor importancia ecológica y parámetros forestales**

Las muestras botánicas fueron identificadas mediante comparaciones taxonómicas con las colecciones existentes en el herbario “Reinaldo Espinosa” LOJA de la Universidad Nacional de Loja. Con los datos tomados en campo se calculó los valores relativos de densidad, dominancia, frecuencia e índice de valor importancia (IVI) aplicando las fórmulas expuestas en Curtis & McIntosh (1951). También se determinó la estructura de la vegetación con base a la densidad que está representada por el número de individuos por ha (N/ha) y el área basal que fue calculada a partir del DAP aplicando las formulas propuestas por Prodan (1997)

### **Carbono almacenado en la biomasa de árboles, arbustos y hierbas**

Para el estrato arbóreo se utilizó la fórmula alométrica propuesta por Brown, Gillespie & Lugo (1989) con la que se estimó la biomasa aérea en árboles evaluados. La fórmula aplicada fue:  $Y = \exp \{-2.4090 + 0,9522 * \ln(\text{dap}^2 \text{HS})\}$ , donde: Y = biomasa kg; DAP = diámetro a la altura del pecho (cm); H = altura total (m); S = densidad de la madera (gr/cm<sup>3</sup>)  $\exp\{\dots\} = e$  elevado a la potencia de  $\{\dots\}$ . Para convertir los datos de la biomasa a carbono se multiplico por 0,5 (Tanabe & Wagner, 2003). Se calculó la biomasa para cada árbol y la suma de todos los árboles dio los valores de biomasa para cada parcela. Se comparó los promedios entre los totales de cada parcela por cada piso altitudinal. También se generaron modelos alométricos con base a las relaciones entre DAP (variable independiente) y biomasa (variable dependiente) para establecer relaciones de dependencia. Esto, debido a que se afirma que el DAP es una de las variables dendrométricas que mayormente se ajusta a la biomasa (Fonseca, Alice & Rey, 2009).

Para el estrato arbustivo (parcela de 5 m  $\times$  5 m), estrato herbáceo y la necromasa (parcela de 1 m  $\times$  1 m) se colectó todo el material vegetal que represento cada estrato. Se pesó todo el volumen y luego se recogió una muestra de 500 gr y se registró su peso en verde. Esta fue secada en una estufa a 72°C y 72 horas; luego se obtuvo su peso seco. Se realizaron los cálculos con base a la relación peso seco/peso verde; se utilizó las ecuaciones propuestas en Jadán, Torres & Günter (2012)

Para estimar el carbono almacenado en el suelo se recolectaron muestras homogeneizadas de suelo con 500 g a dos profundidades (5 cm y 20 cm). Estas fueron analizadas en el laboratorio de Edafología de la Universidad Nacional de Loja, donde se determinó el carbono almacenado mediante el método del dicromato de potasio (Walkley & Black, 1934). Se convirtieron a stocks de carbono los resultados obtenidos (%) según las densidades aparentes y profundidades, mediante una tabla de conversión generada por el laboratorio mencionado. Esto permitió transformar los elementos del suelo existentes en las dos profundidades y así determinar la cantidad de carbono orgánico por unidad de superficie.

## Resultados

### Composición de especies

En el estrato arbóreo dentro del piso altitudinal Pie montano las especies *Miconia* sp, *Dacryodes peruviana* (copal), *Inga edulis*, (guaba), *Humiriastrum mapiriense* (chanul) fueron las más importantes ecológicamente, según el IVI. También sobresale *Iriartea deltoidea* (pambil). En el piso altitudinal Montano bajo las especies arbóreas *Micropholis guyanensis*, *Endlicheria sericea*, *Blakea involvens*, *Wettinia* sp. y *Dacryodes peruviana* (copal), son las de mayor importancia ecológica. En el piso altitudinal Montano no se registraron árboles (estrato arbóreo) con diámetros  $\geq 10$  cm de DAP.

En el estrato arbustivo (biotipos con dap  $\leq 10$  cm) y piso altitudinal Piemontano las especies: *Miconia* sp, *Psychotria* sp, *Cyathea carcasana* (helecho), *Disterigma alaternoides* y *Cavendishia* sp, son las de mayor importancia ecológica según el IVI. En el piso altitudinal Montano bajo, las especies: *Psychotria* sp, *Ossaea* sp, *Piper obliquum*, *Miconia* sp, y *Pagamea dudleyi* son las más importantes. En el piso altitudinal Montano las especies: *Graffenrieda emarginata*, *Macleania* sp, *Psychotria allenii*, *Clusia alata* y *Ferdinandusa guainiae*, son las más importantes.

En el estrato herbáceo: *Elaphoglossum leptophyllum*, *Renealmia* sp y *Peperomia* sp son las especies de mayor importancia ecológica en el piso Pie montano según el IVI. En el piso Montano bajo: *Philodendron* sp, *Elaphoglossum lechlerianum*, *Elaphoglossum leptophyllum*, *Costus scaber*, *Rhodospatha* sp, son las especies de mayor importancia ecológica. En el piso Montano las especies: *Anthurium aulestii*, *Chevaliera veitchii*, *Clidemia* sp, *Diplazium* sp y *Elaphoglossum lingua* sobresalen ecológicamente.

### Riqueza de especies

En el estrato arbóreo fue superior en el piso altitudinal Piemontano en relación a Montano bajo que registró valores menores (Figura 2). El estrato arbóreo, aunque no se evidenció en el piso

Montano dentro de las cordilleras amazónicas donde se realizó la investigación, sin embargo, si existe en las vertientes orientales de la cordillera de Los Andes, dentro de la misma provincia. La riqueza de especies en el estrato arbustivo fue similar en los tres pisos altitudinales. En el estrato herbáceo disminuyó en riqueza de especies desde el piso Montano bajo, Pie montano y Montano.

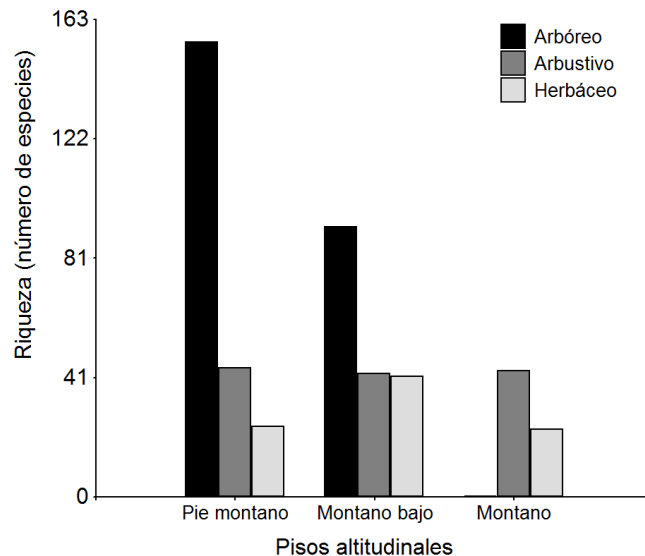


Figura 2. Riqueza total de especies registradas en los bosques diferenciados por pisos altitudinales en Zamora Chinchipe.

### Estructura – densidad y área basal

La densidad en el estrato arbóreo fue superior en el piso Pie montano y disminuyó hacia los pisos altitudinales Montano bajo y Montano (Figura 3). Así, se muestra un patrón de distribución de mayor densidad conforme se incrementa la altitud. No así en el estrato arbustivo donde la densidad fue ampliamente superior en el piso Montano bajo; donde existe mayor presencia de arbustos (Figura 3). La densidad de plantas en el estrato herbáceo presentó valores altos para el piso altitudinal Montano (223 333 individuos por ha – N/ha), seguido del piso altitudinal Montano bajo (163 333 N/ha) y el piso Pie montano (100 000 N/ha). Se registraron mayores individuos herbáceos conforme se incrementa la altitud.

El área basal en el estrato arbóreo fue superior en Pie montano a diferencia de Montano bajo. Aquí se demuestra que existe un patrón de disminución en área basal conforme se incrementa la altitud (Figura 3b).

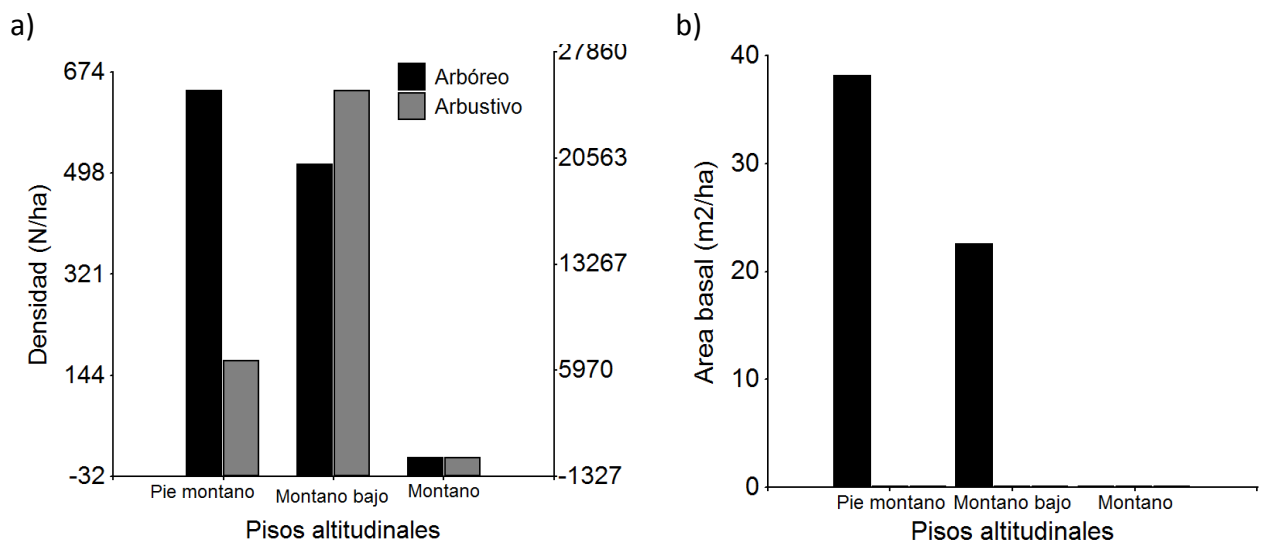


Figura 3. Valores de densidad en el estrato arbóreo y arbustivo a), y área basal en el estrato arbóreo b) registrados en tres pisos altitudinales en Zamora Chinchipe. Eje secundario en 3a) representa la densidad en el estrato arbustivo.

### Almacenamiento de carbono

**Estrato arbóreo.** La biomasa aérea y carbono almacenado fue 4,5 veces superior en el piso altitudinal Piemontano en comparación con el Montano bajo (Tabla 2). En el Piemontano las especies arbóreas *Dacryodes peruviana*, *Phyllanthus* sp., *Cedrelinga cateniformis*, *Guarea kunthiana* y *Endlicheria sericea*, son las que contienen mayores cantidades de biomasa y carbono almacenado. En Montano bajo las especies *Dacryodes peruviana*, *Micropholis guyanensis*, *Endlicheria sericea*, *Clusia decusta* y *Terminalia amazonia* sobresalen sobre esta variable. Estos máximos valores se deben a los altos registros en su área basal y DAP. Así se registraron fuertes relaciones de dependencia ( $P < 0,0001 - R^2 \geq 0,8$ ) entre DAP y biomasa, tanto en Piemontano (Figura 3a) y Montano bajo (Figura 3b) mostrado a través de regresiones lineales polinómicas.

a)

b)



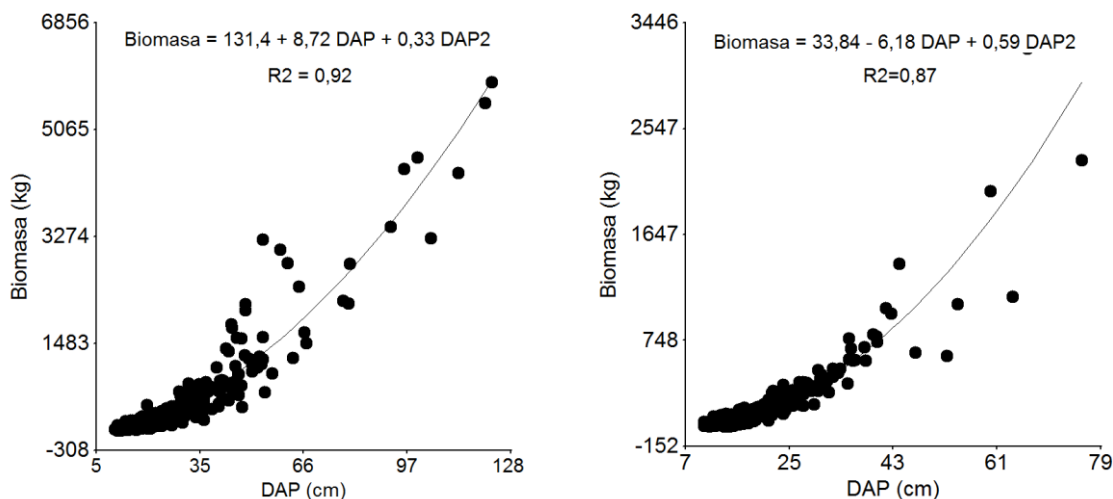


Figura 3. Modelos alométricos para determinar la cantidad de biomasa en los pisos altitudinales Piemontano a) y Montano bajo b) en Zamora Chinchipe.

**Estrato arbustivo, herbáceo y necromasa.** En el estrato arbustivo el piso altitudinal Montano registró aproximadamente dos veces más biomasa y Carbono almacenado que en Piemontano y Montano bajo. Respecto al estrato herbáceo, el piso Montano registró los mayores valores al igual que en la necromasa.

**Carbono almacenado en el suelo y total.** El carbono calculado a 5 cm y 20 cm de disminuyó desde el piso altitudinal Montano bajo, seguido de Pie montano y Montano (Tabla 3). Este mismo patrón se presentó para el carbono total en el suelo y el carbono total en todos los componentes. Este último calculado para todos los compartimentos de almacenamiento en los diferentes pisos altitudinales u ecosistemas forestales.

Tabla 3. Biomasa y carbono almacenado en los diferentes estratos y componentes de almacenamiento existentes dentro de tres pisos altitudinales, en Zamora Chinchipe.

Estrato – componentes de almacenamiento	Piso altitudinal	Biomasa (t/ha)	Carbono (t/ha)
Arbóreo	Pie montano	199,4	99,7
	Montano bajo	43,7	21,8
	Montano	-	-
Arbustivo	Pie montano	38,4	19,2
	Montano bajo	33,9	16,9
	Montano	61,1	30,6
Herbáceo	Pie montano	1,0	0,5
	Montano bajo	1,7	0,8
	Montano	2,6	1,3
Necromasa	Pie montano	6,4	3,2

	Montano bajo	3,7	1,8
	Montano	14,1	7,0
Carbono suelo 5 cm	Pie montano		37,6
	Montano bajo		50,2
	Montano		43,1
Carbono suelo 20 cm	Pie montano		72,7
	Montano bajo		99,9
	Montano		97,9
Carbono total suelo	Pie montano		110,3
	Montano bajo		150,1
	Montano		141
Carbono total	Pie montano		232,9
	Montano bajo		241,6
	Montano		180

t: toneladas.

## Discusión

En bosques tropicales se ha documentado que los biotipos arbóreos son los más importantes ecológicamente debido al mayor control de energía y la entrada y salida de nutrientes que estos asumen (Berry, Guariguata & Kattan, 2002). Bajo este concepto nos remitimos únicamente a analizar los resultados obtenidos sobre estos biotipos en relación a su composición y diversidad florística. Es así que las especies arbóreas registradas en los pisos Piemontano y Montano bajo con los mayores valores de importancia ecológica según el IVI también han sido registradas en otros contextos tropicales por lo que pueden ser consideradas como comunes para la región tropical (Alvarez-Loayza et al., 2011; Stevenson, Pineda & Samper, 2005). Aquí sobresale el registro nuevo para el Ecuador de la especie arbórea *Humiriastrum mapiriense*, registrada originalmente en Nangaritza por Neill (2007). Este investigador manifiesta que anteriormente solo se la había registrado en la región de Mapiri en Bolivia, en las vertientes orientales de los Andes.

La riqueza de especies arbóreas con mayores valores en el piso de menor altitud o Piemontano frente a Montano bajo (155 especies y 92 especies, respectivamente) son inferiores a los existentes en bosques amazónicos de tierras bajas, en el alto Napo (< 1000 msnm) con 220 especies (Jadan et al., 2015) y 330 especies en el Yasuní (Valencia et al., 1994). Así la diferencia en la riqueza de especies registrada en los dos pisos altitudinales indica patrones de distribución comunes a los registrados en gradientes altitudinales andinas tanto a nivel local (Homeier et al., 2010) y a escalas regionales (Girardin et al., 2014). Aquí la riqueza de especies disminuye conforme se incrementa la altitud.

La estructura representada por la densidad registrada en el estrato arbóreo en Piemontano (642 N/ha) presentó valores similares a los existentes en bosques de Tierras bajas (Jadan et al., 2015). Sin embargo, los valores de Montano bajo fueron inferiores (455 N/ha). Según la distribución de la densidad los valores disminuyeron desde el piso de menor elevación hasta el piso ubicado a mayor altitud. Estos resultados son consistentes con lo registrado en un estudio local dentro de un gradiente moderado de altitud, donde la menor cantidad de árboles están ubicados a mayor altitud (Homeier et al., 2010). No obstante difieren de los registrados a nivel regional en un gradiente ampliamente diferenciado, donde la densidad de árboles aumenta conforme se incrementa la altitud (Girardin et al., 2014).

El área basal del estrato arbóreo en Piemontano (38 m<sup>2</sup>/ha) presentó valores similares a los registrados en bosques de tierras bajas; no así los registrados en el piso Montano (22,6 m<sup>2</sup>/ha). Estos últimos valores son consistentes con los registrados en bosques primarios montanos de similares altitudes en Bolivia (Smith, Killeen, Dallmeier & Comiskey, 1998). La disminución en área basal conforme se incrementa la altitud fue similar con lo registrado en el Sur del Ecuador (Homeier et al., 2010) y en Mesoamérica – Costa Rica (Lieberman, Lieberman, Peralta & Hartshorn, 1996; Montgomery & Chazdon, 2001). Estos patrones han sido explicados como influencia de factores climáticos asociados a la altitud, los cuales están condicionando procesos eco-fisiológicos de las especies (Chazdon, Pearcy, Lee & Fetcher, 1996). A mayores altitudes los umbrales de temperatura disminuyen la actividad fotosintética de las plantas, es mayor la transpiración y disminuye la capacidad del almacenamiento e incremento en biomasa, que es medida a través del área basal (Báez et al., 2015).

El Carbono almacenado total en el piso altitudinal Pie montano (232, 9 t/ha) fue superior al registrado en la vertiente oriental de los Andes en altitudes similares 1050 msnm (153,57 t/ha) (Moser et al., 2011). No obstante, fue inferior al registrado en un bosque primario de tierras bajas en el alto Napo (334,2 t/ha) (Jadán et al., 2012). Métodos de cuantificación directos (aplicados en la presente investigación) o indirectos (selección de diferentes ecuaciones alométricas) posiblemente estarían influyendo sobre estas diferencias, adicionando la alta diversidad de micro hábitats existentes en las bio-regiones andinas y amazónicas.

La biomasa aérea registrada en el estrato arbóreo y sus mayores valores para el piso altitudinal *Pie montano* (Tabla 3) indica preliminarmente patrones de distribución espacial comunes a los registrados en gradientes amazónicas tanto en Perú, Ecuador y Bolivia (Girardin et al., 2014). Además, al mostrar similares patrones de distribución altitudinal tanto el área basal (calculada con base a los valores del DAP) y la biomasa aérea arbórea permite inferir una alta correlación entre el DAP y la biomasa. Esto confirmado con los altos coeficientes de determinación en las relaciones estas dos variables (Figura 3) lo cual es consistente con los resultados obtenidos en bosques tropicales de Mesoamérica (Fonseca et al., 2009). Aquí el DAP es considerado como uno de los parámetros dendrométricos más fácil de medir y que se ajusta altamente como variable independiente para determinar la biomasa aérea en árboles de bosques tropicales.

Mediante resultados descriptivos, las diferencias en la biomasa y carbono aéreo en el estrato arbóreo del piso altitudinal Piemontano fue mayor 4,5 veces al piso Montano bajo. Este resultado permite describir patrones de distribución negativos entre área basal – DAP y altitud, los cuales no son consistentes con los registrados en estudios realizados a nivel regional (Girardin et al., 2014). Bajo este nivel de estudio no se determinaron asociaciones significativas y negativas entre área basal con la altitud, por lo tanto, se dedujo que la distribución altitudinal de la biomasa aérea de los árboles es controlada por su altura, más no por su área basal.

Respecto al estrato arbustivo su aporte fue mayor en el piso altitudinal Montano, ubicado a mayor altitud. En este estrato y piso altitudinal se muestra los mayores valores de densidad. Esto coincide con lo registrado en bosques andinos en Azuay (Jadán-Maza et al., 2016) y dentro de las cordilleras amazónicas en Zamora Chinchipe (Jadán & Aguirre, 2011) en altitudes superiores a 2000 msnm donde se registraron mayores riqueza de especies leñosas arbustivas (< 10 cm DAP) las cuales también son mayormente abundantes, en comparación con especies de árboles de mayor tamaño (> 10 cm DAP). Así la composición florística y estructura de la vegetación arbustiva posiblemente estaría influyendo positivamente en las cantidades de biomasa registrada en este piso altitudinal.

Similares resultados se dan en el estrato herbáceo que presentan mayores valores de biomasa en el piso Montano. En este estrato sobresalen grupos vegetales, en donde algunas especies prefieren habitats con mayor humedad relativa para desarrollarse como son los Pteridophytes (helechos) (Salazar et al., 2015). También sobresalen algunas especies de la familia Araceae (Liliopsida) como especies herbáceas que registran los mayores valores del IVI, el cual indica una alta abundancia y frecuencia dentro del estrato. Por lo tanto, la composición de especies y abundancia estarían asociadas positivamente con la biomasa aérea en las hierbas.

La necromasa con valores superiores en biomasa y carbono para el piso Montano seguido de Montano bajo posiblemente estén explicando los superiores valores de carbono almacenado en el suelo. Esto ya que la necromasa (conocida también como hojarasca) se incorpora como materia orgánica al suelo y mediante los procesos y tasas de descomposición. Además la descomposición de la necromasa se incorporan macro, micro nutrientes y también carbono orgánico (Celentano et al., 2011). En sitios donde existe una alta defoliación provocada por la fenología de las especies o por factores ambientales como el viento, humedad y precipitación existe alta disponibilidad de hojarasca en el suelo (Bermúdez, Serrato & Díaz, 1998). Para la descomposición también intervienen factores biológicos como los micro-organismos del suelo (Brown, Doube & Edwards, 2004). Ante lo cual surgen muchas interrogantes sobre cuales, cómo y en que intensidad estos microorganismos se asocian con el carbono orgánico presente en los suelos. Esto debe ser investigado posteriormente bajo procesos de monitoreo continuos a mediano y largo plazo.

## Conclusiones

La riqueza de especies arbóreas fue superior en las partes bajas del presente estudio donde se encuentra el piso altitudinal Piemontano. Aquí se registraron especies con un gran dosel, muchas de ellas consideradas de utilidad con fines especialmente maderables. También se registraron especies de importancia biogeográfica ubicadas exclusivamente en este sitio considerando el escenario nacional nivel nacional. Por lo tanto, ciertos sitios evaluados deberían ser considerados de exclusiva conservación para la diversidad forestal puesto que presentan especies de rangos de distribución restringidos.

Los resultados del carbono almacenado se relacionan directamente con la composición de especies mostrada en los biotipos arbóreos, arbustivos y herbáceos. Estos presentan variaciones estructurales mostradas en los diferentes valores tanto de área basal y densidad, en los diferentes pisos altitudinales. También se relaciona con las condiciones de micro-hábitat existente en cada piso altitudinal; así y ante las mayores existencias entre carbono y riqueza de especies arbóreas en los pisos de menor altitud es pertinente inferir que los stocks de carbono se asocian positivamente con la diversidad o riqueza de especies forestales.

De igual manera los mayores valores en carbono en estratos arbustivos y herbáceos en el piso Montano se relacionan con los mayores valores de abundancia en estos biotipos. Por lo tanto, también se puede inferir que los stocks de carbono están influenciados por la estructura de la vegetación.

## Bibliografía

- Achard, F., Eva, H. D., Stibig, H.-J., Mayaux, P., Gallego, J., Richards, T., & Malingreau, J.-P. (2002). Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*, 297 (5583), 999-1002.
- Alvarez-Loayza, P., White Jr, J. F., Torres, M. S., Balslev, H., Kristiansen, T., Svenning, J.-C., & Gil, N. (2011). Light converts endosymbiotic fungus to pathogen, influencing seedling survival and niche-space filling of a common tropical tree, *Iriartea deltoidea*. *PloS one*, 6 (1), e16386.
- Asner, G. P., Powell, G. V., Mascaro, J., Knapp, D. E., Clark, J. K., Jacobson, J., . . . Victoria, E. (2010). High-resolution forest carbon stocks and emissions in the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107 (38), 16738-16742.
- Báez, S., Malizia, A., Carilla, J., Blundo, C., Aguilar, M., Aguirre, N., . . . Duque, Á. (2015). Large-scale patterns of turnover and basal area change in Andean forests. *PloS one*, 10 (5), e0126594.

- Bermúdez, F. L., Serrato, F. B., & Díaz, M. A. R. (1998). Producción de hojarasca en especies de matorral mediterráneo y su relación con algunos factores ambientales. *Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje*(1), 5-16.
- Berry, P. E., Guariguata, M., & Kattan, G. (2002). Diversidad y endemismo en los bosques neotropicales de bajura. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*(1), 83-96.
- Brown, G. G., Doube, B. M., & Edwards, C. (2004). Functional interactions between earthworms, microorganisms, organic matter, and plants. *Earthworm ecology*, 213-239.
- Brown, S., Gillespie, A. J., & Lugo, A. E. (1989). Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest science*, 35 (4), 881-902.
- Cartuche-Toledo, N. (2016). *Identificación de tipos de bosques y análisis de riqueza, diversidad y productividad en la provincia de Zamora Chinchipe*. (Master en Agroecología y Ambiente), Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Celentano, D., Zahawi, R. A., Finegan, B., Casanoves, F., Ostertag, R., Cole, R. J., & Holl, K. D. (2011). Restauración ecológica de bosques tropicales en Costa Rica: efecto de varios modelos en la producción, acumulación y descomposición de hojarasca. *Revista de Biología Tropical*, 59 (3), 1323-1336.
- Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An upland forest continuum in the prairie- forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32 (3), 476-496.
- Chacón, P., Leblanc, H., & Russo, R. (2007). Fijación de carbono en un bosque secundario de la región tropical húmeda de Costa Rica. *Tierra Tropical*, 3 (1), 1-11.
- Chazdon, R. L., Pearcy, R. W., Lee, D. W., & Fetcher, N. (1996). Photosynthetic responses of tropical forest plants to contrasting light environments *Tropical forest plant ecophysiology* (pp. 5-55): Springer.
- Dislich, C., Günter, S., Homeier, J., Schröder, B., & Huth, A. (2009). Simulating forest dynamics of a tropical montane forest in South Ecuador. *Erdkunde*, 347-364.
- Espinosa, C. I., Cabrera, O., Luzuriaga, A. L., & Escudero, A. (2011). What factors affect diversity and species composition of endangered Tumbesian dry forests in Southern Ecuador? *Biotropica*, 43 (1), 15-22.
- Fonseca, W., Alice, F., & Rey, J. M. (2009). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque (Valdivia)*, 30 (1), 36-47.
- Gentry, A. H. (1988). Tree species richness of upper Amazonian forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 85 (1), 156-159.
- Girardin, C. A., Farfan-Rios, W., Garcia, K., Feeley, K. J., Jørgensen, P. M., Murakami, A. A., . . . Fuentes Claros, A. F. (2014). Spatial patterns of above-ground structure, biomass and composition in a network of six Andean elevation transects. *Plant Ecology & Diversity*, 7 (1-2), 161-171.
- Homeier, J., Breckle, S. W., Günter, S., Rollenbeck, R. T., & Leuschner, C. (2010). Tree diversity, forest structure and productivity along altitudinal and topographical

- gradients in a species- rich Ecuadorian montane rain forest. *Biotropica*, 42 (2), 140-148.
- Jadán-Maza, O., Cedillo, H., Peralta, A., Zea, P., Toledo, P., Tepán, B., & Vaca, C. (2016). Preliminary assessment of floristic composition and uses of vegetation in secondary forests, Azuay province. *Bosques Latitud Cero*, 6 (2), 32-43.
- Jadán, O., & Aguirre, Z. (2011). Flora de los Tepuyes de la Cuenca Alta del Río Nangaritza, Cordillera del Cóndor. *Evaluación Ecológica Rápida de la biodiversidad de los Tepuyes de la Cuenca Alta del Río Nangaritza, Cordillera del Cóndor, Ecuador. Quito: Conservación Internacional*, 41-48.
- Jadan, O., Cifuentes, M., Torres, B., Selesi, D., Veintimilla, D., & Guenter, S. (2015). Influence of tree cover on diversity, carbon sequestration and productivity of cocoa systems in the Ecuadorian Amazon. *Bois Et Forets Des Tropiques*(325), 35-47.
- Jadán, O., Torres, B., & Günter, S. (2012). Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 1 (3), 173-184.
- Jorgensen, P. M., & Leon-Yanez, S. (1999). *Catálogo de las plantas vasculares del Ecuador* (Vol. 75): Missouri Botanical Garden.
- Lieberman, D., Lieberman, M., Peralta, R., & Hartshorn, G. S. (1996). Tropical forest structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. *Journal of Ecology*, 137-152.
- MAE. (2013). *Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental. Ministerio del Ambiente del Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Montgomery, R. A., & Chazdon, R. L. (2001). Forest structure, canopy architecture, and light transmittance in tropical wet forests. *Ecology*, 82 (10), 2707-2718.
- Moser, G., Leuschner, C., Hertel, D., Graefe, S., Soethe, N., & Iost, S. (2011). Elevation effects on the carbon budget of tropical mountain forests (S Ecuador): the role of the belowground compartment. *Global Change Biology*, 17 (6), 2211-2226.
- Neill, D. A. (2007). Inventario botánico de la región de la Cordillera el Cóndor, Ecuador y Perú: actividades y resultados científicos del proyecto, 2004-2007.
- Prodan, M. (1997). *Mensura forestal*: Agroamerica.
- Salazar, L., Homeier, J., Kessler, M., Abrahamczyk, S., Lehnert, M., Krömer, T., & Kluge, J. (2015). Diversity patterns of ferns along elevational gradients in Andean tropical forests. *Plant Ecology & Diversity*, 8 (1), 13-24.
- Sanchez, M. (2015). Ecuador: Revisión a las principales características del recurso forestal y de la deforestación. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 3 (1), 41-54.
- Sierra, R. (1999). *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental* (Ecociencia Ed. Vol. 1). Quito, Ecuador: Proyecto Inefan/Gef-Birf y Ecociencia.

- Smith, D. N., Killeen, T. J., Dallmeier, F., & Comiskey, J. (1998). A comparison of the structure and composition of montane and lowland tropical forest in the Serranía Pilón Lajas, Beni, Bolivia. *Man and the Biosphere Series*, 21, 681-700.
- Stevenson, P., Pineda, M., & Samper, T. (2005). Influence of seed size on dispersal patterns of woolly monkeys (*Lagothrix lagothricha*) at Tinigua Park, Colombia. *Oikos*, 110 (3), 435-440.
- Sullivan, M. J., Talbot, J., Lewis, S. L., Phillips, O., Qie, L., Begne, S., . . . Lopez-Gonzalez, G. (2016). Diversity and carbon storage across the tropical forest biome. *Scientific Reports*.
- Tanabe, K., & Wagner, F. (2003). Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. *Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.htm>*.
- Tapia-Armijos, M. F., Homeier, J., Espinosa, C. I., Leuschner, C., & de la Cruz, M. (2015). Deforestation and forest fragmentation in South Ecuador since the 1970s—losing a hotspot of biodiversity. *PloS one*, 10 (9), e0133701.
- Valencia, R., Balslev, H., & Miño, G. P. Y. (1994). High tree alpha-diversity in Amazonian Ecuador. *Biodiversity & Conservation*, 3 (1), 21-28.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37 (1), 29-38.