



Influencia del gradiente altitudinal sobre la estimación del carbono almacenado en biomasa aérea viva y en suelos del "Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands". Joa, Jipijapa

C. Salas Macías^{1,*}, K. Montes Escobar², G. Sánchez Sancán³, W. Alcívar Chávez³, A. Murillo Choez⁴, F. Vera Cedeño⁴, D. Bolcato Bolcato⁵, S. Iglesias-Abad⁶

(1) Departamento de Agronomía. Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad Técnica de Manabí. Km 15 vía Portoviejo-Santa Ana. Lodana, Ecuador. 131302. <https://orcid.org/0000-0002-1641-1571>

(2) Departamento de Matemáticas y Estadística. Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí. Avenida Urbina y Che Guevara. Portoviejo, Ecuador. 130105. <https://orcid.org/0000-0002-9555-0392>

(3) Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad Técnica de Manabí. Km 15 vía Portoviejo-Santa Ana. Lodana, Ecuador. 131302.

(4) Departamento de innovación e investigación. EcuadorianHands. Calle 2da paralela #1806 entre calles 18 y 19. Manta, Ecuador. 130215.

(5) Departamento de innovación e investigación. El Artesan. Cda. Luis Gencon, Calle Rogelio Figueroa, Puerto López. Ecuador, 131950.

(6) Carrera de Ingeniería Ambiental. Universidad Católica de Cuenca (UCACUE). Av. de las Américas y Humboldt. Cuenca, Ecuador. 010101. <https://orcid.org/0000-0001-5568-6079>.

* Autor de correspondencia: C. Salas Macías [carlos.a.salas.m@gmail.com]

> Recibido el 09 de abril de 2020 - Aceptado el 20 de junio de 2020

Salas Macías, C., Montes Escobar, K., Sánchez-Sancán, G., Alcívar Chávez, W., Murillo Choez, A., Vera Cedeño, F., Bolcato Bolcato, D., Iglesias-Abad, S. 2020. Influencia del gradiente altitudinal sobre la estimación del carbono almacenado en biomasa aérea viva y en suelos del "Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands". Joa, Jipijapa. *Ecosistemas* 29(2):1073. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1973>

La cuantificación del carbono almacenado en bosques tiene relevante importancia al momento de promover su conservación. El objetivo del presente estudio fue determinar el carbono almacenado en la biomasa aérea viva y en el suelo en un área de bosque seco en la parroquia Joa del cantón Jipijapa en Ecuador. Se establecieron aleatoriamente 24 parcelas permanentes de muestreo circulares con un área de 500 m² considerando tres pisos altitudinales (200 – 250; 251 – 300 y > 300 msnm). Se registró diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total de individuos con DAP > 5 cm. A partir de estos datos se utilizó una ecuación alométrica para determinar biomasa aérea viva para luego estimar el carbono almacenado. La ecuación incluye información sobre la densidad de la madera, para lo cual fue necesaria la identificación de las especies. El carbono en suelos se estimó a partir del carbono orgánico y la densidad aparente. Los resultados demuestran que la altitud no es un factor que influye en el almacenamiento de carbono en biomasa aérea viva y en suelos. El 87.9% del carbono almacenado en la biomasa aérea viva lo contienen tres especies: *C. trischistandra*, *E. ruizii*, *B. graveolens*. El stock de carbono del bosque de Joa, Jipijapa se encuentra entre 105.02 y 112.32 Mg C ha⁻¹, por lo tanto, se considera que este tipo de bosque representa una opción para contrarrestar el aumento de CO₂ atmosférico, siendo este un justificativo importante para su conservación, más aún cuando el bosque se encuentra bajo procesos dinámicos de crecimiento.

Palabras clave: alometría; bosque seco; cambio climático; servicios ecosistémicos

Salas Macías, C., Montes Escobar, K., Sánchez-Sancán, G., Alcívar Chávez, W., Murillo Choez, A., Vera Cedeño, F., Bolcato Bolcato, D., Iglesias-Abad, S. 2020. Influence of the altitudinal gradient on the estimation of carbon stocks in above-ground live biomass and in the soils of the "Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands". Joa, Jipijapa. *Ecosistemas* 29(2):1073. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1973>

The quantification of carbon stored in forests is of relevant importance when promoting their conservation. The objective of the present study was to determine the carbon stored in above ground live biomass and in the soil in a dry forest area in Joa, Jipijapa, Ecuador. Permanent circular sampling plots were randomly established (24) with an area of 500 m² considering 3 altitude levels (200 - 250; 251 - 300 and > 300 masl). Diameter at chest height (DBH) and total height of individuals with DBH > 5 cm were recorded. With these data, an allometric equation was used to determine above-ground live biomass and then estimate the carbon stock. The equation includes information on the density of the wood, for which the identification of the species was necessary. Soil carbon was estimated from organic carbon and bulk density. The results show that altitude is not a factor that influences carbon storage, either in above ground live biomass and soils. In terms of carbon stocks in above ground live biomass, 87.9% is contained by three species: *C. trischistandra*, *E. ruizii*, *B. graveolens*. The Joa, Jipijapa forest can store from 105.02 to 112.32 Mg C ha⁻¹, therefore, this type of forest is considered to be an option to counteract the increase in atmospheric CO₂, especially when the forest is under dynamic growth processes.

Key words: allometry; climate change; dry forest; ecosystem services

Introducción

El aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero se constituye uno de los problemas ambientales de mayor interés en la actualidad; en particular las emisiones de CO₂, cuyo exceso en la atmósfera, ha inducido investigaciones sobre el cambio climático con el objetivo de aportar elementos científicos dirigidos a

su mitigación (Bhadouria et al. 2019; Robledo et al. 2012). Dicha problemática, atribuida principalmente a un sinnúmero de actividades humanas, resulta muy compleja si se consideran además procesos climáticos (Manchego et al. 2018). No obstante, se cuenta con información de que los ecosistemas de bosque tienen la facultad de almacenar carbono (Jew et al. 2016; Singh et al. 2017; Khanna 2019; Yatskov 2019).

Al respecto, el Panel Intergubernamental de cambio Climático (IPCC 2014) menciona que “la conservación de reservas de carbono forestales; la gestión sostenible de los bosques; y la mejora de las reservas de carbono forestales, podría contribuir de manera importante a la reducción global de emisiones del sector AFOLU” (Agriculture, Forestry and Other Land Use); esto, debido al relevante rol de los bosques en los ciclos biogeoquímicos globales, especialmente el ciclo del carbono y su estrecha relación con el efecto invernadero.

Por lo expuesto, los bosques se presentan como grandes sumideros de carbono (Chen et al. 2019). Sin embargo, dentro de estos ecosistemas existen diferencias que podrían llevar a dar mayor importancia al estudio de unos y no de otros. Este podría ser el caso de los bosques secos, que, pese a que representan el 42% de las áreas tropicales y subtropicales a nivel mundial (Miles et al. 2006; Brown y Lugo 1982), son muy poco estudiados y valorados en comparación con los bosques húmedos.

En términos generales, los bosques secos son formaciones vegetales donde la precipitación anual es menor a 1800 mm (Sánchez-Azofeifa 2005; Murphy y Lugo 1986) con procesos ecológicos estacionales y productividad primaria mucho menor en comparación con los bosques húmedos, además de contar con individuos de menor altura y área basal (Aguirre et al. 2006; Linares-Palomino 2004). De igual manera, una particularidad es que los bosques secos se encuentran ubicados en zonas relativamente pobladas, por tal razón su estado natural se ha visto fuertemente perturbado (Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa 2010; Quesada y Stoner 2004)

En Ecuador, los bosques secos se pueden encontrar muy dispersos en los valles interandinos y de forma continua en la costa (Aguirre et al. 2006), siendo en esta última región, donde los efectos negativos producto de actividades antropogénicas son más notorios; todo ello repercute en la provisión de servicios ecosistémicos que de una u otra forma podrían ayudar a las personas a adaptarse en un escenario de cambio climático (Becknell et al. 2012). En la Provincia de Manabí, las zonas de bosque seco son abundantes, siendo dominadas por el ceibo (*Ceiba trischistandra*) y otras especies de importancia ecológica y económica.

En este sentido, muchos estudios se han realizado en torno al carbono almacenado en bosque seco del Ecuador (Ayala et al. 2014; Solano et al. 2014; Aguirre et al. 2017; Salas et al. 2017), todo ello a fin contar con datos que soporten la conservación de estos ecosistemas, dada su alta susceptibilidad a amenazas. De tal manera, considerando la importancia de los ecosistemas de bosque seco en el presupuesto regional de carbono, el objetivo de este estudio fue estimar el stock de carbono en la biomasa aérea viva y los suelos de un área con bosque seco determinando a su vez si la altitud tiene influencia en el mismo. Los parámetros como temperatura y precipitación no fueron considerados.

Materiales y métodos

Ubicación

El área motivo de estudio se encuentra en el sitio Joa, a seis kilómetros al oeste de la ciudad de Jipijapa, en la provincia de Manabí, en la costa central ecuatoriana (Fig. 1), se ubica gráficamente

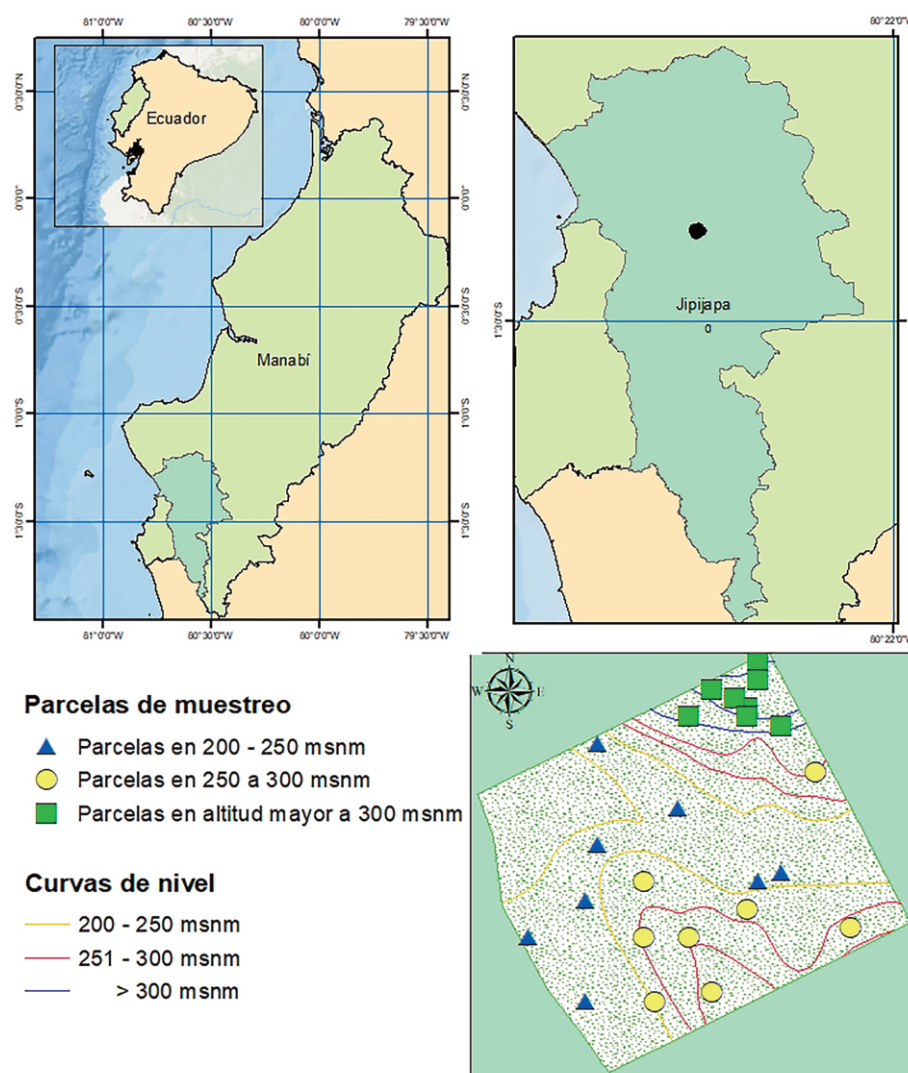


Figura 1. Ubicación de las parcelas de muestreo en el “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”, Joa, Jipijapa
Figure 1. Location of the sampling plots in the “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.

a 1°23'34.72" de latitud Sur y 80°35'51.12" longitud Oeste. Es el límite entre la llanura de Tiján, que se extiende de Sur a Norte desde Piñas de Julcuy, y las estribaciones de la Cordillera Costanera de Chongón-Colonche. Específicamente se tomó como área de estudio una zona de 50 hectáreas la cual cuenta con un Plan de Manejo Integral (PMI No. 06308007502) y con Informe de Inspección Técnica en Zona Boscosa de la Comuna de Joá del Cantón Jipijapa (No. 026-2019-JC-BIOD-DPAM.MAE), como requisitos previos a la declaración de "Bosque y Vegetación Protector". El área cuenta con altitudes que van desde los 220 hasta los 320 msnm; temperaturas medias de 24 °C y 1,28 mm de precipitación, según datos de la estación "Cantagallo-Granja UNESUM" (código: M1233) del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

El terreno es medianamente irregular en su parte media y alta, con pendientes que van desde 25 a 50%; la parte baja es plana por lo que, según los habitantes de la zona, tiempo atrás habría sido utilizada para fines agrícolas. Actualmente, el área se encuentra bajo protección de los dueños que cumplen cabalmente el Plan de Manejo, sin embargo, la zona media, ha sido testigo del tránsito de ganado bovino.

Métodos

Se utilizaron 24 parcelas permanentes de muestreo circulares de 500 m² cada una, dispuestas al azar sobre el terreno en estudio (50 ha) considerando 3 pisos altitudinales (200 a 250 msnm; 251 a 300 msnm y > 300 msnm). La intensidad de muestreo se estableció en $\pm 20\%$ (Pearson et al. 2005) del promedio de carbono a un nivel de confianza de 95 %. Este hecho indica, por ejemplo, que en el 95% de las situaciones en las cuales se identifique un valor de carbono de 100 Mg C ha⁻¹, la cantidad real estará entre 80 y 120 Mg C ha⁻¹.

Compartimientos de carbono en estudio

De los cinco compartimientos de carbono que pueden ser medidos en un bosque (biomasa aérea viva, biomasa subterránea, detritos o madera muerta, hojarasca, materia orgánica del suelo) (Brown 2002; IPCC 2003; IPCC 2006), se determinó el stock de carbono en la biomasa aérea viva y en la materia orgánica del suelo, debido a que son los compartimientos que más carbono almacenan en un bosque (Motaharfard et al. 2019; Lal 2005).

Carbono almacenado en biomasa aérea

Se utilizó un método indirecto, considerando su bajo costo, tiempo y recursos, en comparación con los métodos destructivos. De esta manera, se utilizó la ecuación alométrica para bosques secos mixtos propuesto por Chave et al (2005), la cual requiere medir variables en los árboles dentro de las parcelas para ser reemplazadas luego en el siguiente modelo:

$$BA_{est} = \exp(-2.187 + 0.916 \times \ln(\rho DAP^2 H)) \approx 0.0112 \times (\rho DAP^2 H)^{0.916} \quad (\text{ec. 1})$$

Donde:

BA_{est} = biomasa aérea estimada (kg MS/árbol),

ρ = densidad de madera (g/cm³),

DAP = diámetro a la altura del pecho (cm),

H = altura total del árbol (m).

Medición de variables dasométricas

Una vez instaladas las parcelas de muestreo, se registraron las medidas dasométricas necesarias para alimentar el modelo alométrico. Dicho modelo comprende medidas de altura total, diámetro a la altura del pecho y densidad de madera. Se midieron todos los árboles con DAP > 5 cm en cada parcela consiguiendo un inventario de árboles clasificados por género y familia

Para el caso de la densidad de madera se realizó la identificación de las especies presentes en cada una de las parcelas de muestreo y luego se utilizó la "Global wood density database" (Zanne et al. 2009). Se trató de obtener la densidad de madera a

nivel de especie, sin embargo, en casos donde esta no existe en la base de datos ni información en otras fuentes bibliográficas, se utilizó la densidad del género o de la familia (Honorio y Baker 2010).

Cálculo del stock de carbono en la biomasa aérea por hectárea

Luego de calcular la biomasa aérea (kg MS/árbol), se calculó la biomasa total en megagramos por hectárea (Mg/ha), multiplicando el valor obtenido por parcela, por el factor de conversión según el tamaño de la parcela empleado (500 m²).

$$BA = \sum (AU/1\ 000) \times (10\ 000/\text{área de la parcela}) \quad (\text{ec. 2})$$

Donde:

BA = Biomasa arbórea sobre el suelo (Mg MS/ha),

$\sum AU$ = Sumatoria de la biomasa arbórea de todos los árboles de la parcela (kg MS),

Factor 1000 = Conversión de las unidades de la muestra de kg MS/Mg MS,

Factor 10 000 = Conversión del área (m²) a hectárea (ha).

Para realizar la conversión de biomasa aérea a carbono se consideraron los lineamientos definidos por la guía de buenas prácticas para uso de suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura del IPCC (Penman et al. 2003), que asume el contenido de carbono es el 50% de la biomasa aérea de cada árbol vivo (IPCC 1996; Brown 1997; Chojnacki y Milton 2008; Barrett 2014; Jew et al. 2016; Hettland et al. 2016; Rajput 2016; Tashi et al. 2016; Vijayakumar et al. 2016), teniendo entonces que:

$$CBA = (BA \times FC) \quad (\text{ec. 3})$$

Donde:

CBA = Carbono en la biomasa aérea (Mg C ha⁻¹)

BA = Biomasa arbórea sobre el suelo (Mg MS ha⁻¹)

FC = Fracción de carbono (Mg C/Mg MS). El valor estándar es 0.50

Carbono en el suelo

Para la estimación del carbono almacenado en el suelo, se tomó una muestra por parcela a diferentes profundidades (0-10; 10-20 y 20-30 cm) para luego determinar densidad aparente por el método del cilindro (Anderson e Ingram 1993) y carbono orgánico mediante el método de Walkley-Black (Walkley y Black 1934). Estas muestras de suelo fueron tomadas utilizando una calicata de 40 x 40 x 40 cm en el centro de cada parcela.

La estimación de las reservas de carbono en el suelo por unidad de superficie en una parcela se realizó mediante la siguiente fórmula (Lenka et al. 2012):

$$COS_t = \sum_i (C_i \times TH_i \times BD_i \times 100) \quad (\text{ec. 4})$$

Donde:

COS_t = Carbono orgánico del perfil de suelo completo (Mg ha⁻¹)

C_i = % de carbono orgánico del horizonte i (%)

TH_i = Espesor del horizonte i (m)

BD_i = Densidad aparente del horizonte i (g/cm³)

Carbono total almacenado

El carbono total almacenado está dado por la sumatoria de los componentes medidos, de tal forma que:

$$CT = COS_t + CBA \quad (\text{ec. 5})$$

La estadística utilizada comprende un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey con un alfa de 0.05 para cada uno de los compartimientos en estudio (biomasa aérea viva y materia orgánica del suelo). Adicionalmente, a fin de enriquecer la discusión, se tomaron los datos de composición arbórea

obtenidos por Salas et al. (2020) para realizar un análisis de correspondencia que permita discutir sobre el almacenamiento de carbono con base en la composición de especies.

Resultados

El análisis de la varianza (Tabla 1) permitió establecer que, considerando los pisos altitudinales, no existen diferencias estadísticas para la variable carbono almacenado en suelos ($p=0.40$), ni para el carbono almacenado en biomasa aérea ($p=0.93$) del “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands” en Joa, Jipijapa. Al respecto, la Figura 2 presenta el carbono almacenado en biomasa aérea viva (a), carbono en suelos (b) y el total de carbono almacenado en cada piso altitudinal (c). En este sentido, se pudo establecer el área de estudio almacena entre 105.02 y 112.32 Mg C ha⁻¹, con un promedio de 109.42 Mg ha⁻¹, siendo el carbono en suelos el compartimiento con mayor aporte al almacenamiento total (64.89%).

El análisis de correspondencia (Fig. 3) para vegetación leñosa y pisos altitudinales, demuestran una representatividad de un 100% para los ejes uno y dos, lo cual confirma que las variables están bien representadas. De acuerdo con esto, los tres pisos altitudinales tienen en común las especies *M. calabura*, *B. graveolens*, *Pouteria* sp, *C. trischistandra* y *C. lutea*; considerando la longitud de los

vectores, las especies con mayor variabilidad fueron: *C. glabrata*, *C. rivinifolius*, *J. curcas* y *C. sclerophylla*. De igual manera, se puede decir, que *C. glabrata* en esta zona, solo se presenta entre los 200 a 250 msnm; *J. curcas* y *C. sclerophylla*, especies muy correlacionadas, solo se presentan en altitudes de 251 a 300 msnm; y *Z. thyriflora* es más abundante en altitudes mayores a 300 msnm con pocos representantes en los otros pisos altitudinales.

Al respecto, la Figura 4 muestra en porcentaje el almacenamiento de carbono en el área de estudio siendo posible observar que *C. trischistandra* almacena alrededor del 80% del carbono en el área y el otro 20% está representado principalmente por *E. ruizii*, *B. graveolens*, *C. vitifolius* y *E. velutina* y otras en menor proporción. En este mismo sentido, la familia cuyos individuos almacenan mayor cantidad de carbono es Malvaceae (Fig. 5), que incluye dos representantes (*C. trischistandra* y *E. ruizii*); seguida de Fabaceae, la cual está representada por seis especies con densidades de madera entre 0.17 y 0.95 g/cm³.

En cuanto al carbono almacenado en suelos (Fig. 2), los análisis demuestran que no existen diferencias estadísticas entre las cantidades almacenadas en los diferentes pisos altitudinales (Tabla 2). En términos generales, el carbono disminuye con la profundidad. No obstante, en el piso altitudinal más bajo (200 a 250 msnm), el comportamiento es un tanto diferente (Fig. 6), teniendo mayores concentraciones de carbono a los 20 cm de profundidad.

Tabla 1. Análisis de la varianza del Carbono almacenado en biomasa aérea viva y suelos en cada piso altitudinal del “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.

Table 1. Analysis of variance of the Carbon stocks in live aerial biomass and soils in each altitudinal floor of the “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.

Piso altitudinal (msnm)	Carbono en Biomasa aérea (Mg ha ⁻¹)			Carbono en suelos (Mg ha ⁻¹)		Carbono total (Mg ha ⁻¹)	
	Medias	D.E		Medias	D.E		
200-250	37.38	19.67	a	74.94	14.36	a	112.32
251-300	37.26	19.27	a	67.76	8.54	a	105.02
> 300	40.60	18.56	a	70.33	7.37	a	110.93
p-valor	0.93			0.40			
C.V.	53.28			14.85			

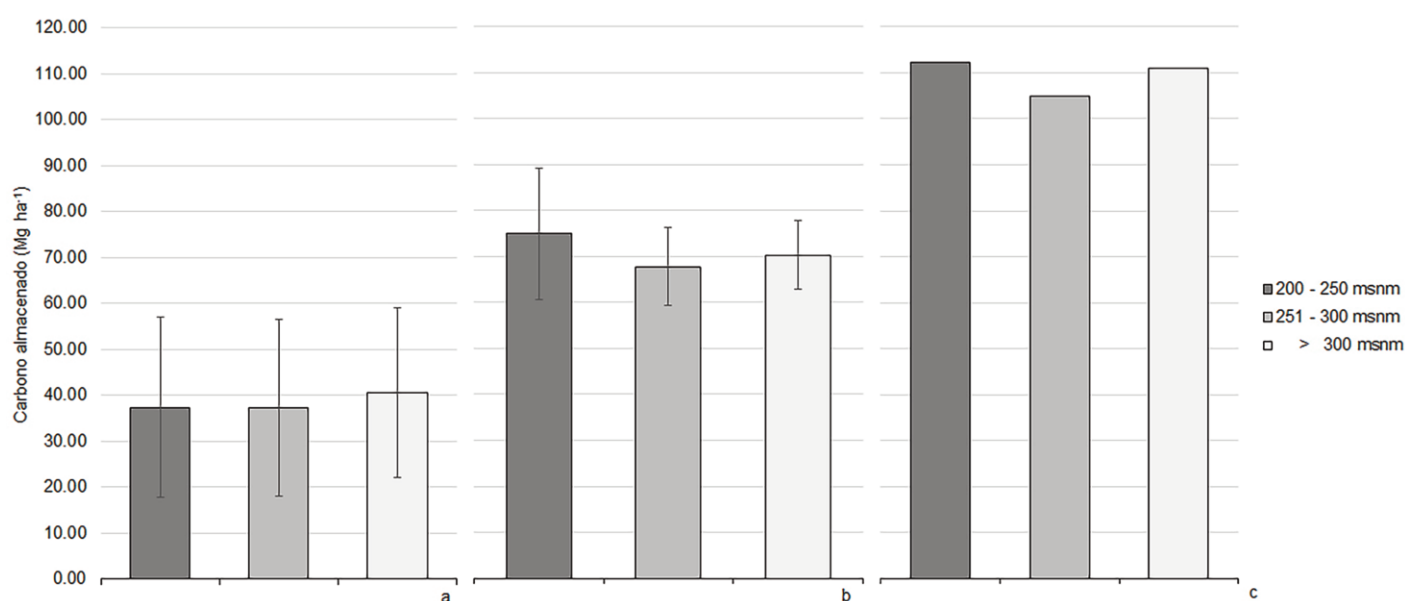


Figura 2. Carbono almacenado en biomasa aérea viva (a), en suelos (b) y carbono total por hectárea en cada piso altitudinal del “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.

Figure 2. Carbon stocks in live aerial biomass (a), in soils (b) and total carbon per hectare in each altitudinal floor of the “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.

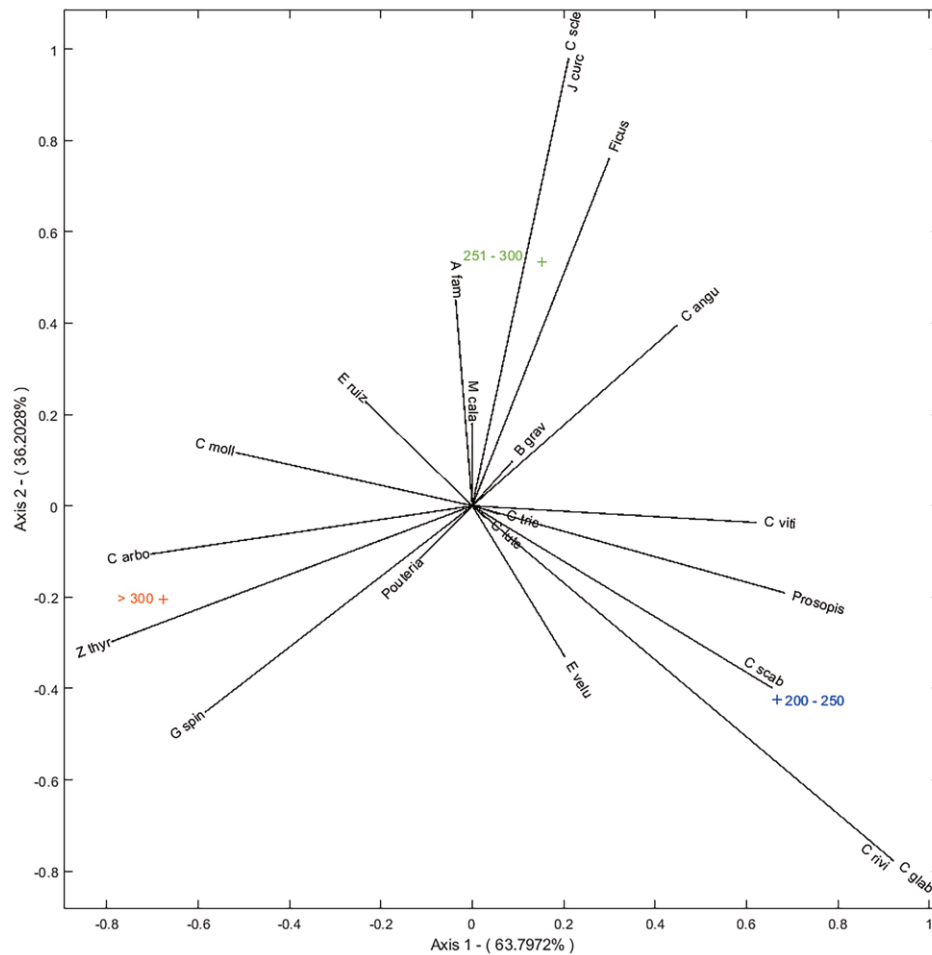


Figura 3. Análisis de correspondencia con respecto a las especies presente y cada piso altitudinal en el “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.

Figure 3. Correspondence analysis regarding the species present and each altitudinal floor in the “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.

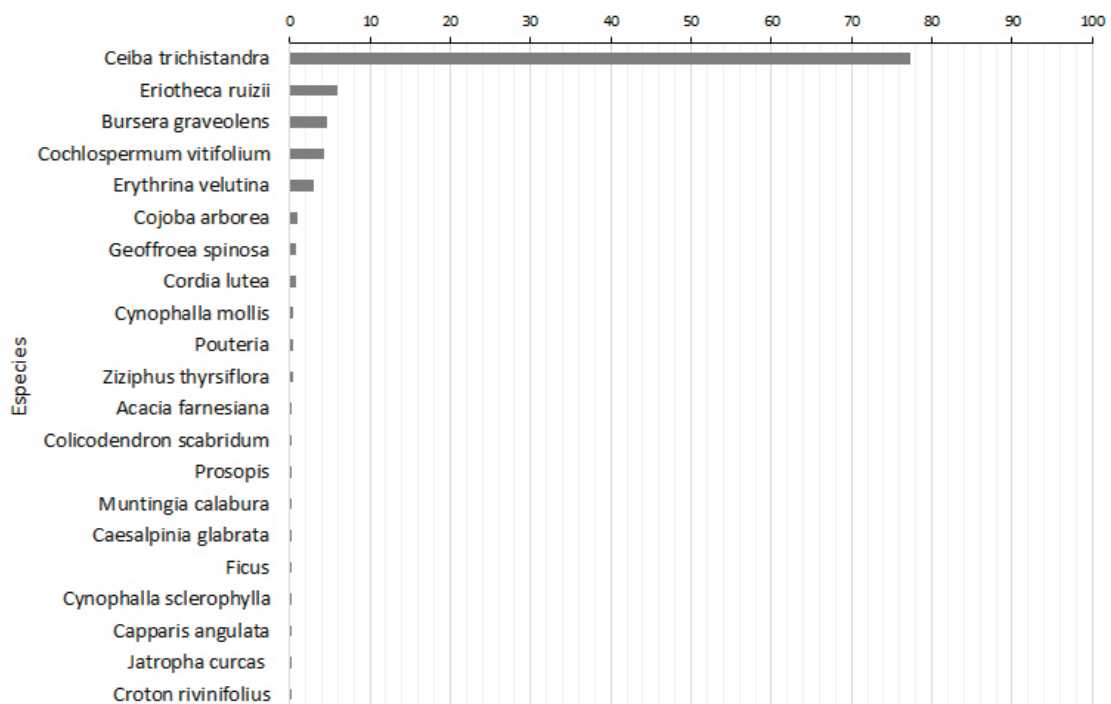


Figura 4. Porcentaje de Carbono almacenado en biomasa aérea con respecto a la especie presente en el “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.

Figure 4. Carbon stocks (%) in aerial biomass with respect to the species present in the “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.

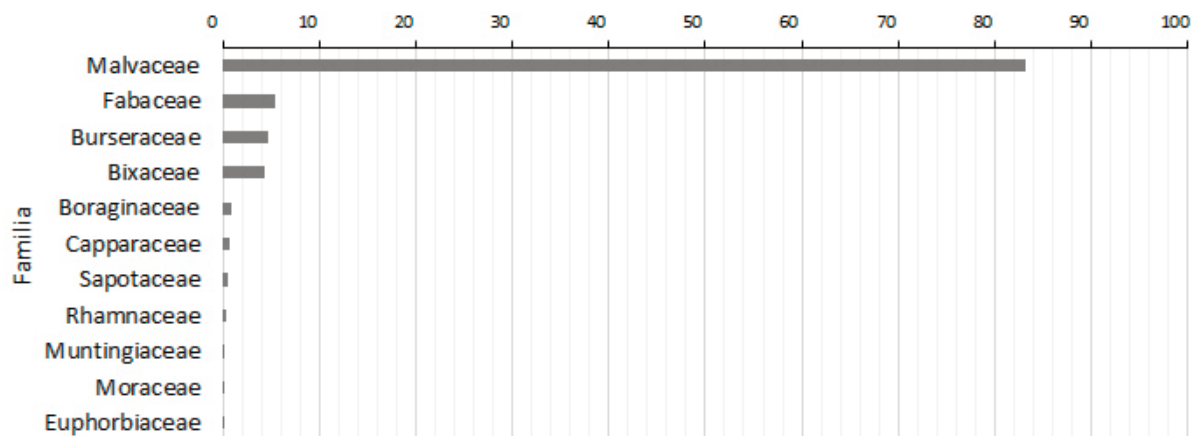


Figura 5. Porcentaje de Carbono almacenado en biomasa aérea con respecto a las Familias presente en el “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa

Figure 5. Carbon stocks (%) in aerial biomass with respect to the Families present in the “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.

Tabla 2. Análisis de la varianza del Carbono almacenado en tres profundidades para tres pisos altitudinales en el “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.

Table 2. Analysis of variance of Carbon stocks at three depths for three altitudinal floors in the “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.

Piso altitudinal (msnm)	Profundidad (cm)	Carbono (Mg ha ⁻¹)	D.E	Carbono del perfil (Mg ha ⁻¹)
200 - 250	20-30	23.93	6.59	74.94
	10-20	26.10	5.95	
	0-10	24.91	7.89	
251 - 300	20-30	21.94	5.65	67.76
	10-20	22.37	4.19	
	0-10	23.45	8.31	
> 300	20-30	19.72	3.87	70.33
	10-20	24.78	4.53	
	0-10	25.83	4.45	
p-valor	0.88			
CV	27.82			

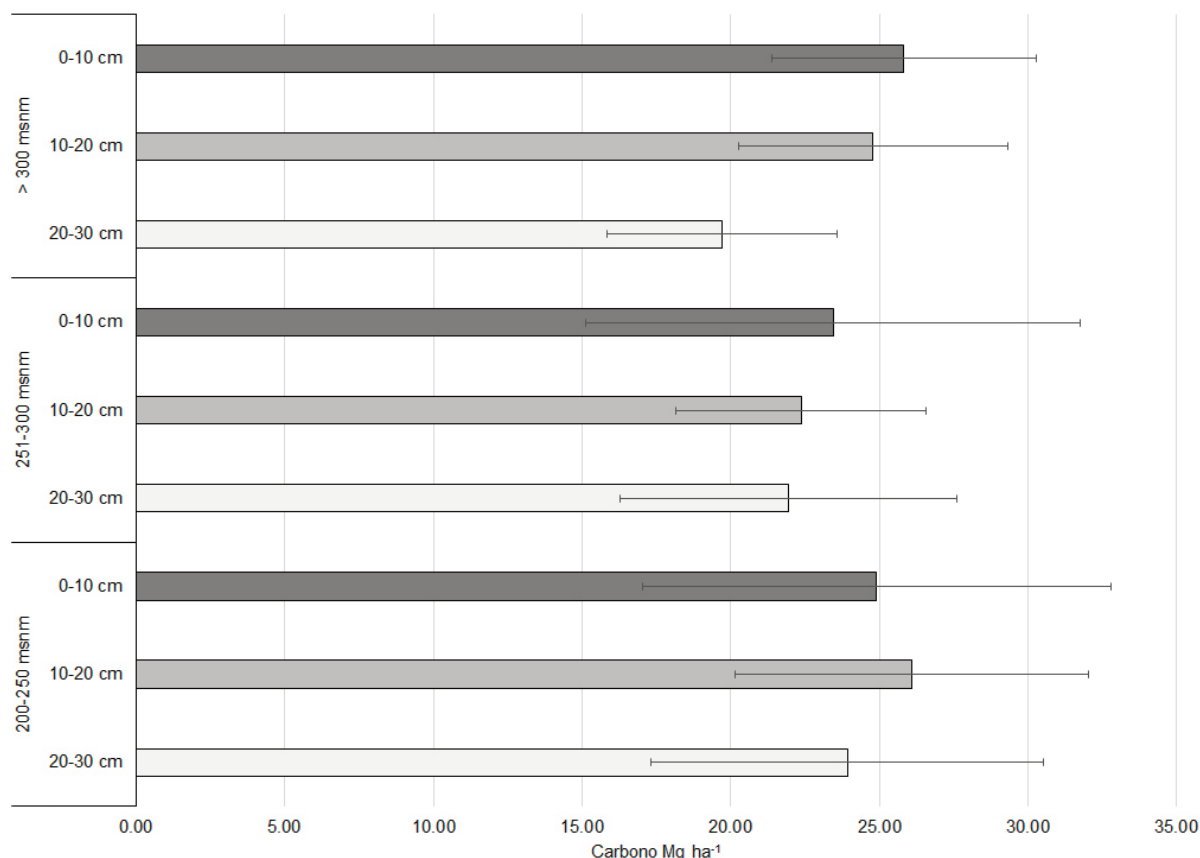


Figura 6. Carbono almacenado en tres profundidades para tres pisos altitudinales en el “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa

Figure 6. Carbon stocks at three depths in three altitudinal floors in the “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa

Discusión

La composición arbórea y abundancia de la comunidad vegetal son factores clave al momento de estimar carbono almacenado en ecosistemas de bosque (Cueva et al. 2019; Andrade-Castañeda et al. 2017; Luyssaert et al. 2008; Turner 2010; Clark y Clark 2000; Valencia et al. 2004). En este sentido, Salas et al (2020) reportan una marcada similitud en la composición arbórea entre pisos altitudinales del “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands” en Joa, siendo un hecho que podría explicar que el carbono almacenado en la biomasa aérea viva no difiere a lo largo del gradiente altitudinal del área.

Al respecto, los tres pisos altitudinales tienen en común las especies *M. calabura*, *Pouteria* sp, *B. graveolens*, *C. lutea* y *C. trischistandra*; las cuales acumulan el 82.9% del carbono estimado en biomasa aérea viva, esto debido al gran tamaño de los individuos de *C. trischistandra*. En este mismo sentido, la familia cuyos individuos almacenan mayor cantidad de carbono es Malvaceae (Fig. 5), esta familia está representada por dos especies: *C. trischistandra* y *E. ruizii* ambas en los primeros lugares de abundancia dentro del área en estudio. Los resultados obtenidos en este estudio para carbono almacenado en biomasa aérea concuerdan con los 37 Mg ha⁻¹ que reporta el Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE 2015) para bosque seco pluvioestacional.

De igual manera, como consecuencia de la caducidad de hojas en época seca, la hojarasca que se deposita sobre el suelo y que luego de la descomposición es incorporada al mismo, tiene similar composición. En este punto es importante señalar que la temperatura podría tener influencia en los procesos de descomposición de la materia orgánica (Pries et al. 2017), y dado que esta no es variable en el gradiente altitudinal del área, los valores de carbono orgánico son similares y disminuyen en la medida en que aumenta la profundidad tal y como lo expresan Kramer y Gleixner (2008). No obstante, en el comportamiento del piso altitudinal más bajo

(200 a 250 msnm) podría responder a que estas zonas bajas fueron hace algún tiempo utilizadas para actividades agrícolas, lo cual supone abonado del suelo y remoción de la primera capa de este.

Los resultados de carbono total obtenidos en esta investigación son más altos que los encontrados por Salas et al (2017) quienes estimaron carbono almacenado en suelos de bosque considerando diferentes formaciones vegetales, las cuales estaban relacionadas con los pisos altitudinales. Este hecho responde a que el área estudiada en esta investigación es transitada por hatos ganaderos lo cual sugiere de alguna manera la deposición de estiércol sobre el suelo favorece los niveles de materia orgánica y en consecuencia los de carbono. Por otra parte, los resultados se enmarcan en los valores reportados por Jaramillo et al (2003) y otras investigaciones realizadas en torno a la temática en ecosistemas de bosque seco (Martínez-Yrizar et al. 1992; Brown y Gaston 1995; Kaninnen 2000).

Conclusiones

El contenido de carbono en biomasa aérea viva y suelos del “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands” en Joa, Jipijapa, no está influenciado por el gradiente altitudinal.

La composición y distribución de las especies en el área de estudio tiene suma importancia al momento de realizar estimaciones de carbono almacenado en ecosistemas de bosque.

El 87.9% del carbono almacenado en la biomasa aérea viva lo contienen tres especies: *C. trischistandra*, *E. ruizii*, *B. graveolens*.

El bosque de Joa, Jipijapa puede almacenar entre 105.02 y 112.32 Mg C ha⁻¹, por lo tanto, se considera que este tipo de bosque representa una opción para contrarrestar el aumento de CO₂ atmosférico, siendo este un justificativo importante para su conservación, más aún cuando el bosque se encuentra bajo procesos dinámicos de crecimiento.

Referencias

- Anderson, J.M., Ingram, J.S.I. (eds.) 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of methods 2nd ed.* CAB International, Wallingford, Reino Unido. p 221.
- Andrade-Castañeda, H.J., Segura-Madriral, M.A., Canal-Daza, D.S., Hertas-Gonzales, A., Mosos-Torres, C.A. 2017. Composición florística y reservas de carbono en bosques ribereños en paisajes agropecuarios de la zona seca del Tolima, Colombia. *Revista de biología tropical* 65(4):1245-1260.
- Aguirre, N., Erazo, A., Granda, J. 2017. Posibilidades de comercialización de bonos de carbono del bosque seco de la provincia de Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero* 7(2).
- Aguirre, Z., Linares-Palomino, R., Kvist, L. 2006. Especies leñosas y formaciones vegetales en los bosques estacionalmente secos de Ecuador y Perú. *Arnaldia* 13(2), 324–350.
- Ayala, L., Villa, M., Mendoza, Z.A., Mendoza, N.A. 2014. Cuantificación del carbono en los páramos del parque nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. *Cedamaz* 4(1).
- Barrett, T. 2014. *Storage and flux of carbon in live trees, snags, and logs in the Chugach and Tongass National Forests*. General Technical Report. PNW-GTR-889. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Portland, OR, Estados Unidos. 44p.
- Becknell, J.M., Kissing Kucek L. Powers, J.S. 2012. Above ground biomass in mature and secondary dry tropical forests: a literature review and global synthesis. *Forest Ecology and Management* 276: 88-95
- Bhadouria, R., Tripathi, S., Srivastava, P., Singh, P. (Eds.). 2019. *Handbook of Research on the Conservation and Restoration of Tropical Dry Forests*. IGI Global. Hershey, PA, Estados Unidos.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Forest Resources Assessment Publication. *Forestry papers* 134, 55.
- Brown, S. 2002. Measuring, monitoring, and verification of carbon benefits for forest-based projects. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 360(1797), 1669–1683.
- Brown, S., Gaston, G. 1995. Use of forest inventories and geographic information systems to estimate biomass density of tropical forests: Application to tropical Africa. *Environmental Monitoring and Assessment* 38:157–168.
- Brown, S., Lugo, A.E. 1982. The Storage and Production of Organic Matter in Tropical Forests and Their Role in the Global Carbon Cycle. *Biotropica* 14(3), 161. doi:10.2307/2388024
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., et al. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145(1): 87-99.
- Chen, L.C., Guan, X., Li, H.M., Wang, Q.K., Zhang, W.D., Yang, Q.P., Wang, S.L. 2019. Spatiotemporal patterns of carbon storage in forest ecosystems in Hunan Province, China. *Forest Ecology and Management* 432, 656–666.
- Chojnacki, D., Milton, M. 2008. Measuring carbon in shrubs. En: C.M. Hoover (ed.). *Field measurements for forest carbon monitoring: A landscape-scale approach*, pp. 45-72. (Chapter 5). Springer Science + Business Media. Nueva York, NY, Estados Unidos.
- Clark, D.B., Clark, D.A. 2000. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. *Forest Ecology and Management* 137(1-3):185-198.
- Cueva, E., Lozano, D., Yaguana, C. 2019. Efecto de la gradiente altitudinal sobre la composición florística, estructura y biomasa arbórea del bosque seco andino, Loja, Ecuador. *Bosque (Valdivia)* 40(3):365-378.
- Hetland, J., Yowargana, P., Leduc, S., Kraxner, F. 2016. Carbon-negative emissions: Systemic impacts of biomass conversion: A case study on CO₂ capture and storage options. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 49, 330–342.
- Honorio, E., Baker, T. 2010. *Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos*. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Universidad de Leeds. Lima, Perú. 54 p.
- IPCC 1996. *Chapter 5: Land Use Change and Forestry. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Revised Version, vol. 3, 57 p, Londres, Reino Unido. Disponible en: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch5ref1.pdf>
- IPCC 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japan. Disponible en: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf
- IPCC 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japan. Disponible en: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- IPCC 2014. Summary for Policymakers. En: Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., et al. (eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf
- Jaramillo, V.J., Kauffman, J.B., Rentería, L., Cummings, D.L., Ellingson, L.J. 2003. Biomass, carbon, and nitrogen pools in Mexican tropical dry forest landscapes. *Ecosystems* 6(7):609-629.
- Jew, E., Dougill, A., Sallu, S., O'Connell, J., Benton, T. 2016. Miombo woodland under threat: Consequences for tree diversity and carbon storage. *Forest Ecology and Management* 361, 144–153.
- Kanninen, M. 2000. *Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global. en Agroforestería para la producción animal en América Latina-II. Estudio FAO Producción y Sanidad Animal*. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Khanna, P., Snowdon, P., Bauhus, J. 2019. Carbon Pools in Forest Ecosystems of Australasia and Oceania. En: Kimble, J.M. Stewart, B.A. (eds.) *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*, (chapter 3), pp 51-70. CRC Press. Boca Raton, FL, Estados Unidos.
- Kramer, C., Gleixner, G. 2008. Soil organic matter in soil depth profiles: distinct carbon preferences of microbial groups during carbon transformation. *Soil Biology and Biochemistry* 40(2), 425-433.
- Lal, R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220(1–3), 242–258.
- Lenka, N.K., Dass, A., Sudhishri, S., Patnaik, U.S. 2012. Soil carbon sequestration and erosion control potential of hedgerows and grass filter strips in sloping agricultural lands of eastern India. *Agriculture, ecosystems and environment* 158:31-40.
- Linares-Palomino, R. 2004. Los bosques tropicales estacionalmente secos: II. Fitogeografía y composición florística. *Arnaldia* 11: 103– 138.
- Luyssaert, S., Schulze, E.D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., et al. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455(7210):213-215.
- MAE 2015. *Estadísticas del Patrimonio Natural: Datos de bosques, ecosistemas, especies, carbono y deforestación del Ecuador continental*. Ministerio del Ambiente de Ecuador. Dirección de comunicación. Quito, Ecuador. 20 p.
- Manchego, C.E., Hildebrandt, P., Cueva, J., Espinosa, C.I., Stimm, B., Günter, S. 2017. Climate change versus deforestation: Implications for tree species distribution in the dry forests of southern Ecuador. *PLoS ONE* 12(12): e0190092.
- Martínez-Yrizar, A., Sarukhan, J., Pérez-Jiménez, A., Rincon, E., Maass, J.M., Solís-Magallanes, A., et al. 1992. Aboveground phytomass of a tropical deciduous forest on the coast of Jalisco, Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 8:87–96.
- Motaharfard, E., Mahdavi, A., Iranmanesh, Y., Jafarzadeh, A. 2019. Effect of Land Uses on Aboveground Biomass and Carbon Pools in Zagros Forests, Iran. *ECOPERSIA* 7(2), 105-114.
- Murphy, P.G., Lugo, A.E. 1986. Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 1986: 67– 88.
- Miles, L., Newton A., DeFries, R., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V., Gordon, J. 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography* 33:491–505
- Pearson, T., Walker, S., Brown, S. 2005. Sourcebook for Land use, Land-use change and forestry projects. *Development* 21(3), 64.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendía, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F. 2003. *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japón 593 pp.
- Portillo-Quintero, C., Sánchez-Azofeifa, G. 2010. Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation* 143(1), 144–155.

- Pries, H., Castanha, C., Porras, R., Torn, M.S. 2017. The whole-soil carbon flux in response to warming. *Science* 355(6332), 1420-1423.
- Quesada, M., Stoner, K.E. 2004. Threats to the conservation of the tropical dry forest in Costa Rica. En: Gordon W. Frankie, G.W., Mata, A., Vinson, S.B. (eds.) *Biodiversity conservation in Costa Rica: Learning the lessons in a seasonal dry forest*, pp. 266-280, (Chapter 21), University of California Press, Oakland, CA, Estados Unidos.
- Rajput, P. 2016. *Carbon storage, soil enrichment potential and bio-economic appraisal of different land use systems in mid hill and sub-humid zone-II of Himachal Pradesh*. Tesis doctoral. Dr. Yashwant Singh Parmar University of Horticulture and Forestry, Solan, Himachal Pradesh, India. YSPU. An Institutional Repository of Indian National Agricultural Research System. Disponible en: <https://krishikosh.egranth.ac.in/display-bitstream?handle=1/5810016949>
- Robledo, C., Clot, N., Hammill, A., Riché, B. 2012. The role of forest ecosystems in community-based coping strategies to climate hazards: three examples from rural areas in Africa. *Forest Policy and Economics* 24:20-8.
- Salas, C., Montes, K., Sánchez, G., Alcívar, W., Murillo, A., Vera, F., Bolcato, D., Iglesias, S. 2020. Influencia del gradiente altitudinal sobre la Composición y estructura del "Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands", Joa, Jipijapa. *Revista de la Facultad de Agronomía - LUZ* 37:01-25.
- Salas Macías, C., Alegre Orihuela, J., Iglesias Abad, S. 2017. Estimation of above-ground live biomass and carbon stocks in different plant formations and in the soil of dry forests of the Ecuadorian coast. *Food and Energy Security* 6(4), e00115.
- Sánchez-Azofeifa, G., Quesada, M., Rodríguez, J., Nassar, J., Stoner, K., Castillo, A., et al. 2005. Research priorities for Neotropical dry forests 1. *Biotropica: The Journal of Biology and Conservation* 37(4), 477-485.
- Singh, V., Gupta, S., Singh, N. 2017. Carbon sequestration potential of tropical dry deciduous forests in Southern Haryana, India. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences* 42(5), 51-64.
- Solano, D., Vega, C., Eras, V.H., Cueva, K. 2014. Generación de modelos alométricos para determinar biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluvial del Ecuador. *CEDAMAZ* 4(1).
- Tashi, S., Singh, B., Keitel, C., Adams, M. 2016. Soil carbon and nitrogen stocks in forests along an altitudinal gradient in the eastern Himalayas and a meta-analysis of global data. *Global change biology* 22(6), 2255-2268.
- Turner, M.G. 2010. Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology* 91(10): 2833-2849.
- Valencia, R., Foster, R.B., Villa, G., Condit, R., Svenning, J.C., Hernández, C., et al. 2004. Tree species distributions and local habitat variation in the Amazon: large forest plot in eastern Ecuador. *Journal of Ecology* 92:214-229.
- Vijayakumar, D., Raulier, F., Bernier, P., Paré, D., Gauthier, S., Bergeron, Y., Pothier, D. 2016. Cover density recovery after fire disturbance controls landscape aboveground biomass carbon in the boreal forest of eastern Canada. *Forest Ecology and Management* 360, 170-180.
- 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.
- Yatskov, M.A., Harmon, M.E., Barrett, T.M., Dobelbower, K.R. 2019. Carbon pools and biomass stores in the forests of Coastal Alaska: Uncertainty of estimates and impact of disturbance. *Forest ecology and management* 434, 303-317.
- Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., et al. 2009. *Global wood density database*. Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum, v2, Dryad, Dataset, <https://doi.org/10.5061/dryad.234>.