



Universidad Técnica de Manabí

Facultad de Ingeniería Agronómica

Carrera de Agronomía



**Informe final del trabajo de titulación o integración curricular bajo la
modalidad Proyecto de Investigación**

Tema del Anteproyecto

Carbono almacenado en biomasa aérea y suelos de un área del “Bosque y
vegetación protector El Artesan EcuadorianHands”, Joa, Jipijapa

Autor

Ávila Peñafiel Jennifer Daisy

Tutor (a) propuesto:

Ing. Carlos Alfredo Salas Macías, PhD

Línea de Investigación: Recursos naturales y ambiente

Sublínea: Conservación y manejo de recursos naturales

Portoviejo, Ecuador

Marzo, 2022

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerzas para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, gran trabajo y sacrificio en todos estos años; a mi esposo, hijo, hermanos, sobrina, amigos y maestros, cada uno me ha dado un motivo para no desmallar y continuar hasta poder lograrlo.

Jennifer Daisy Ávila Peñafiel.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por bendecir mi vida, por guiarme a lo largo de mi vida, por ser mi guía y fortaleza en todos los momentos de dificultad y debilidad.

Gracias a mis padres Tomas Ávila y Jenny Peñafiel, a mi esposo Gary Sánchez, a mi hijo Tommás Sánchez Ávila, a mis hermanos Ana, Thomas, Lilibeth, Ever y Sophia por ser los causantes de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por cada consejo, valores, oraciones, palabras de aliento y principios que me han inculcado.

A mis compañeros y maestros por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi carrera, de manera especial al Dr. Carlos Salas Macías, tutor de este proyecto de investigación, quien me ha guiado con su paciencia y rectitud como docente.

Jennifer Daisy Ávila Peñafiel.

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO

Quién suscribe la presente Dr. Carlos Salas docente de la Universidad Técnica de Manabí, de la Facultad de Ingeniería Agronómica; en mi calidad de Tutor del trabajo de Titulación Carbono almacenado en biomasa aérea y suelos de un área del “Bosque y vegetación protector El Artesan EcuadorianHands”, Joa, Jipijapa, desarrollada por Ávila Peñafiel Jennifer Daisy, en este contexto, tengo a bien extender la presente certificación en base a lo determinado en el Art. 8 del reglamento de titulación en vigencia, habiendo cumplido con los siguientes procesos:

- Se verificó que el trabajo desarrollado cumple con el diseño metodológico y rigor científico según la modalidad de titulación aprobada.
- Se asesoró oportunamente a los estudiantes en el desarrollo del trabajo de titulación.
- Presentó el informe del avance del trabajo de titulación a la Comisión de Titulación Especial de la Facultad.
- Se confirmó la originalidad del trabajo de titulación.
- Se entregó al revisor una certificación de haber concluido el trabajo de titulación.

Cabe mencionar que durante el desarrollo del trabajo de titulación los profesionistas pusieron mucho interés en el desarrollo de cada una de las actividades de acuerdo con el cronograma trazado. Particular que certifico para los fines pertinentes.

Ing. Carlos Salas Macías, PhD

TUTOR

CERTIFICACIÓN DE LOS MIEMBROS DE LA COMISIÓN

Sometida a consideración del Tribunal de Seguimiento y Evaluación, legalizada por el Honorable Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR:

Dra. Luz García Cruzatty PhD.

Ing. Miryan Pinoargote Chang Mg. Sc.

Dr. Jose Pico Mendoza PhD.

DECLARACIÓN SOBRE LOS DERECHOS DEL AUTOR

La responsabilidad del contenido de esta tesis de grado, así como las ideas, resultados, conclusiones y recomendaciones son de propiedad única y exclusiva de los autores, queda prohibida la reproducción total o parcial del mismo.

Autora

Jennifer Daisy Ávila Peñafiel

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	1
2. Objetivos	2
2.1 Objetivo General.	2
2.2 Objetivos Específicos.....	2
3. Marco teórico.....	3
3.1 Emisiones de dióxido de carbono por degradación de ecosistemas.....	3
3.2 Principales almacenes de carbono en bosques	3
3.3 Potencial de los bosques en cuanto al almacenamiento de carbono	4
3.4 Bosques secos en Manabí.....	4
4. Metodología.....	5
4.1 Ubicación	5
4.2 Métodos.....	5
4.3 Compartimientos de carbono en estudio	6
4.4 Carbono almacenado en biomasa aérea	6
4.5 Medición de variables dasométricas	6
4.6 Cálculo del stock de carbono en la biomasa aérea por hectárea	7
4.7 Carbono en el suelo	7
4.8 Carbono total almacenado	8
5. Resultados y discusión	9
6. Conclusiones y recomendaciones.....	14
7. Referencias bibliográficas.....	15

ÍNDICE DE TABLAS

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.....	9
---	---

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área en estudio y de las parcelas utilizadas para determinar carbono almacenado en biomasa aérea viva y suelos.....	5
Figura 2. Distribución porcentual del carbono almacenado en biomasa aérea viva (a), en suelos (b) y carbono total (c) considerando los pisos altitudinales del “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.	9
Figura 3. Distribución porcentual del carbono almacenado en biomasa aérea viva con respecto a la especie presente en el “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.	10
Figura 4. Distribución porcentual del carbono almacenado en biomasa aérea viva con respecto a las Familias presente en el “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa	11
Figura 5. Carbono almacenado en tres profundidades para tres pisos altitudinales en el “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa	12

RESUMEN

La valoración del carbono almacenado en bosques tiene una importancia muy relevante al momento de promover su conservación. El objetivo en este estudio fue estimar el carbono almacenado en biomasa aérea y suelos de un área del “Bosque y vegetación protector El Artesan EcuadorianoHands”, Joa, Jipijapa en Ecuador. Se establecieron al azar 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 manejó una ecuación alométrica para establecer la biomasa aérea viva y luego estimar el carbono almacenado. La ecuación contiene información sobre la densidad de la madera, para lo que fue necesaria la identificación de las especies. El carbono en suelos se evaluó a partir del carbono orgánico y la densidad aparente. Los resultados indican que la altitud no es un factor que interviene en el almacenamiento de carbono en biomasa aérea viva y en suelos. El 90% del carbono almacenado en la biomasa aérea viva lo dominan cuatro especies: *C. trischistandra*, *E. ruizii*, *B. graveolen*, *E. velutina*. El stock de carbono en los suelos del bosque de Joa, Jipijapa en promedio es de 71.84 Mg C ha⁻¹, por lo tanto, se cree que este tipo de bosque simboliza una opción para contrarrestar el aumento de CO₂ atmosférico, siendo este un justificativo transcendental para su conservación, más aún cuando el bosque se encuentra bajo procesos dinámicos de crecimiento.

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

ABSTRACT

The valuation of carbon stored in forests is essential when promoting its conservation. The objective of this study was to estimate the carbon stored in aerial biomass and soils of an area of the "Forest and protective vegetation El Artesan EcuadorianHands", Joa, Jipijapa in Ecuador. Twenty-four permanent circular sampling plots were randomly established with an area of 500 m² considering three elevational floors (200 - 250; 251 - 300 and > 300 masl). Diameter at chest height (DBH) and the total height of individuals with DBH > 5 cm were recorded. An allometric equation was used to establish the living aerial biomass and estimate the stored carbon using the data recorded in the field. This equation contains information of wood density; due to this, it was necessary to previously identify the species. Soil carbon was evaluated from organic carbon and apparent density. The results indicate that altitude is not a factor that intervenes in carbon storage in living aerial biomass and soils. 90% of the carbon stored in living aerial biomass is dominated by *C. trischistandra*, *E. ruizii*, *B. graveolens*, and *E. velutina*. The average carbon stock in the soils of the Joa, Jipijapa forest is 71.84 Mg C ha⁻¹; therefore, it is believed that this type of forest symbolizes an option to counteract the increase in atmospheric CO₂, this being a justification transcendental for its conservation, even more so when the forest is undergoing dynamic growth processes.

Keywords: allometry; dry forest; climate change; ecosystem services

1. Introducción

Los bosques estacionalmente secos de Ecuador se encuentran ubicados en el centro y sur de la región occidental de los Andes, en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Guayas, El Oro y Loja. Básicamente cerca del 35 % (28 000 km²) del Ecuador occidental se encontraba cubierto por bosque seco ya que hay una estimación que actualmente el 50 % habría desaparecido (Aguirre, 2013).

Los bosques por medio del proceso de fotosíntesis captan CO₂ fijándolo en sus componentes y parte de éste lo acumulan en su biomasa luego es transferido al mantillo en descomposición y posteriormente al suelo (Solano *et al.* 2013); es de esta manera como se forman las reservas de carbono y con base a las definiciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, el carbono almacenado en el suelo y en los residuos vegetales de los ecosistemas forestales compone una parte importante de las reservas totales. Otra parte del carbono es intercambiado con la atmósfera, mediante los procesos de respiración y disturbio (Gower 2003).

A nivel mundial, el carbono del suelo representa más de la mitad del carbono almacenado en los bosques. Entre el 80% y el 90% del carbono que se encuentra en los ecosistemas boreales está almacenado en forma de materia orgánica del suelo, es por eso por lo que en los bosques tropicales se encuentra distribuido en partes iguales entre la vegetación y el suelo (FAO 2004).

Se ha establecido que la biomasa forestal es uno de los mayores sumideros de carbono y, además, su dinamismo crea la necesidad de datos para respaldar la teoría de la prestación de servicios ecosistémicos. En este sentido, un rango de carbonos de biomasa en bosques secos tropicales maduros ha sido reportado de 34 a 334 Mg C/ha⁻¹, valor que aumenta linealmente con la precipitación (Andrade et al. 2017).

La situación problemática de emisión de CO₂ procede principalmente de la quema de combustibles fósiles tanto en grandes unidades de combustión como en fuentes menores distribuidas, también se originan por procesos industriales, extracción de recursos, quema de bosques y por estos motivos se crea la necesidad de realizar estudios de almacenamiento de carbono para mitigar el cambio climático, desde el punto de vista de la estabilización

atmosférica como desarrollo sostenible a largo plazo, el almacenamiento de CO₂ debe prolongarse durante periodos largos para contribuir de manera significativa a la mitigación del cambio climático (IPCC, 2006).

Por lo expuesto, resulta importante tener conocimiento sobre el stock de carbono en bosques secos ya que su análisis podría favorecer la toma de decisiones con respecto a la conservación de estas áreas (IPCC, 2006). El presente estudio tiene como objetivo estimar el carbono almacenado en biomasa aérea viva y suelos de un área con bosque seco y determinar la existencia de relaciones con diferentes pisos altitudinales.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General.

- Estimar el carbono almacenado en biomasa aérea y suelos de un área del “Bosque y vegetación protector El Artesan EcuadorianHands”, Joa, Jipijapa

2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el carbono almacenado en biomasa aérea viva sobre el suelo en un área del “Bosque y vegetación protector El Artesan EcuadorianHands”, Joa, Jipijapa
- Calcular el carbono almacenado en suelos en un área del “Bosque y vegetación protector El Artesan EcuadorianHands”, Joa, Jipijapa
- Determinar las relaciones que existen entre el carbono almacenado en suelos y diferentes pisos altitudinales en un área del “Bosque y vegetación protector El Artesan EcuadorianHands”, Joa, Jipijapa.

3. Marco teórico

3.1 Emisiones de dióxido de carbono por degradación de ecosistemas

El dióxido de carbono (CO₂) es el gas de efecto invernadero más significativo producido por las actividades humanas. Una de estas actividades es la deforestación. En los últimos 150 años, esta forma de usar los recursos naturales ha aportado en forma muy significativa al aumento de las concentraciones de CO₂ a la atmósfera de la tierra (Schlegel 2001).

En la actualidad, cerca de un 20% de las emisiones de CO₂ repercuten de la eliminación y degradación de los ecosistemas forestales. La interrupción de la deforestación y la reversión a través de la reforestación y manejo sostenible implica recapturar el CO₂, disminuir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y reducir el calentamiento global (Schlegel 2001).

La concentración de CO₂ en la atmósfera incrementó en un 25% desde el inicio de la era industrial. Este incremento se explica debido al crecimiento de dos fuentes antrópicas de emisión del carbono: el consumo de energías fósiles (petróleo, gas, carbón) y los cambios en el uso de las tierras o las transformaciones de los ecosistemas (en particular la deforestación) (Locatelli y Leonard 2001).

3.2 Principales almacenes de carbono en bosques

Los ecosistemas forestales tienen grandes cantidades de Carbono almacenado en biomasa viva, muerta y en el suelo (Rodríguez *et al.* 2009). Los primordiales almacenes de Carbono en los ecosistemas forestales se encuentran dividido en cuatro componentes: biomasa sobre el suelo (vegetación), hojarasca, sistema radicular y Carbono orgánico del suelo. La vegetación es la encargada de incorporar el Carbono atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. La determinación correcta de la biomasa de un bosque es un elemento de mucha importancia debido a que ésta permite establecer los montos de Carbono por unidad de superficie y tipo de bosques, asimismo de otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes. Esta información es de mucha importancia en la actualidad,

debido a la necesidad de conocer los montos de Carbono capturado por los bosques naturales y plantaciones (Rodríguez *et al.* 2009).

3.3 Potencial de los bosques en cuanto al almacenamiento de carbono

Los bosques abarcan el 29% de las tierras y contienen el 50% del carbono de la vegetación terrestre. El carbono almacenado en los suelos forestales constituye el 36% del total del carbono del suelo a un metro de profundidad (1500 (Pg) Picogramos). La FAO reportan que en 540 parcelas de la red europea de supervisión forestal, la media total del carbono del ecosistema fue de 137 t C ha⁻¹; de este total, el suelo representa el 51% (71 t), los restos vegetales superficiales 6% y las raíces 6%. De la misma manera se reportan datos para los bosques tropicales cerca de Manaos (Brasil). El total de carbono en el sistema es mayor (447 t/ha) así como el depósito de suelo orgánico (162 t, 36% del total) (FAO, 2002). Estas estadísticas contrastan con los reportados por Mena (2003) en el estudio Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa en bosques naturales que se encuentra ubicado en la sub-cuenca del río, Tutunendó, Quibdó, Chocó, Colombia. El carbono acumulado en los bosques de Tutunendo tienen un promedio es de 442,7 t C ha⁻¹, de los que del 91% están en los suelos (345,9 t C ha⁻¹ a 30 cm de profundidad). Aunque estos datos nos indican que los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra, y sus suelos contienen cerca del 40 % del total del carbono, son de mucha importancia cuando se considera el manejo de los bosques (Mena, 2013).

3.4 Bosques secos en Manabí

El inventario de los recursos vegetales presentes en los bosques secos del cantón Jipijapa, Manabí, recoge un total de 246 especies que comprenden 191 géneros y 63 familias botánicas que son de interés para el turismo. El parque Nacional Machalilla, Manabí también se ha convertido en un referente en cuanto a la protección de los bosques secos y es considerado el “Galápagos de continente” (Aguirre, 2013). La reserva de Bosque Seco Lalo Loor protege 180 hectáreas de bosque seco tropical, es uno de los que se encuentra altamente amenazado. Está ubicada en la costa del Pacífico en Manabí, Ecuador entre los cantones de Jama y Pedernales. Este bosque se encuentra en una zona de transición entre los bosques muy húmedos al norte y los bosques muy secos al sur.

4. Metodología

4.1 Ubicación

El área donde se llevó a cabo el estudio está ubicada en Joa, Jipijapa, Manabi, comunidad situada a seis kilómetros al oeste de la ciudad de Jipijapa, geográficamente ubicada a $1^{\circ}23'34.72''$ de latitud Sur y $80^{\circ}35'51.12''$ longitud Oeste. El límite se encuentra entre la planicie de Tiján, que se prolifera de Sur a Norte desde Piñas de Julcuy, y las estibaciones de la Cordillera Costanera de Chongón- Colonche (Figura 1).

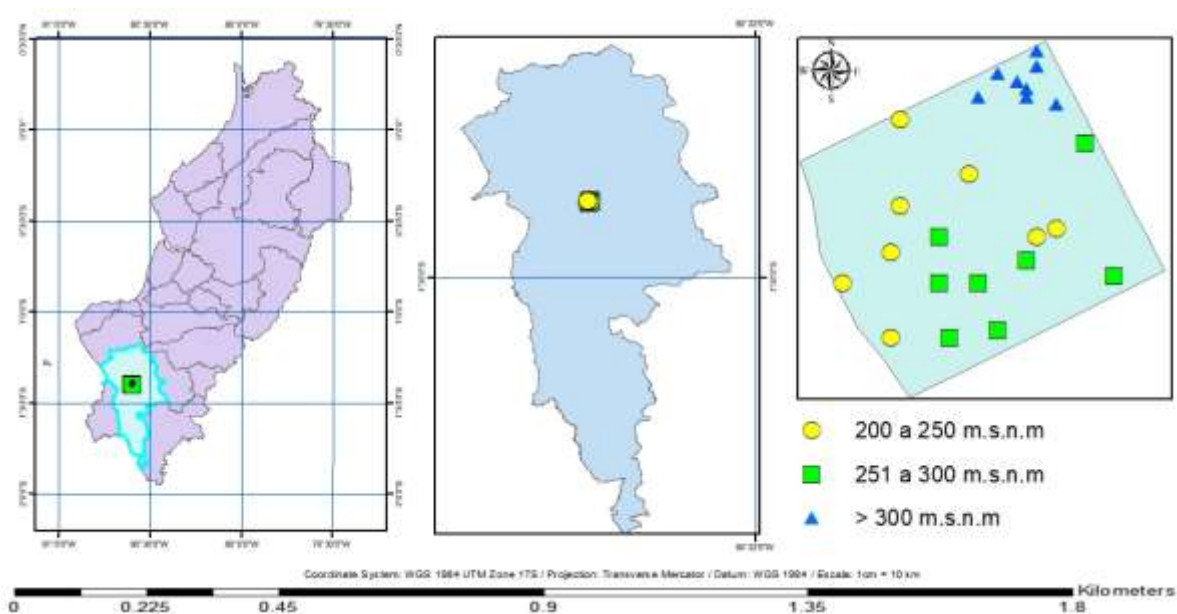


Figura 1. Ubicación del área en estudio y de las parcelas utilizadas para determinar carbono almacenado en biomasa aérea viva y suelos.

4.2 Métodos

Se utilizaron las 24 parcelas permanentes de muestreo establecidas por Salas et al. (2020) contemplando tres pisos altitudinales (200 a 250 msnm; 251 a 300 msnm y > a 300 msnm), en cada uno de los cuales se ubican 8. La intensidad del muestreo se establecerá en $\pm 20\%$ (Pearson et al., 2005). 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).

4.3 Compartimientos de carbono en estudio

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

4.4 Carbono almacenado en biomasa aérea

Se utilizó un método indirecto, considerando que es de bajo costo, tiempo y recursos; comparado con los métodos destructivos. De esta manera, se utilizará la ecuación alométrica para bosques secos mixtos propuesto por Chave et al. (2005), la cual contempla la medición de algunas variables en los árboles dentro de las parcelas para después ser reemplazadas en la siguiente fórmula:

$$BA_{est} = \exp(-2,187 + 0,916 \times \ln(pDAP^2H)) \equiv 0,0112 \times (pDAP^2H)^{0,916}$$

Donde:

BA_{est} = biomasa aérea estimada (kg M.S./árbol)

ρ = densidad de madera (g/cm^3)

DAP = diámetro a la altura del pecho (cm)

H = altura total del árbol (m)

4.5 Medición de variables dasométricas

Una vez establecidas las parcelas de muestreo, se registraron las variables dasométricas necesarias para alimentar el modelo alométrico. Este modelo abarca medidas de altura total (m), diámetro a la altura del pecho (DAP) (cm) y densidad de madera (g/cm^3). Se midieron los árboles con $DAP \geq 5$ cm en cada parcela obteniendo un inventario de árboles clasificados por género y familia. Para el caso de la densidad de madera se utilizó información recabada en la “*Global wood density database*” (Zanne et al., 2009), previamente fue necesario realizar la identificación de las especies. Esta base de datos recoge información de densidad de madera de varias especies, no obstante, en casos donde no existió el dato, se utilizó la densidad del género, de la familia (Honorio & Baker, 2010) o un promedio de los individuos presentes en la parcela.

4.6 Cálculo del stock de carbono en la biomasa aérea por hectárea

Una vez calculada la biomasa aérea (kg MS/árbol), se realizó a cabo el cálculo de 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 empleando.

$$BA = (\sum AU / 1000) \times (10\ 000 / \text{área de la parcela})$$

Donde:

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

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

Factor 1 000 = Conversión de las unidades de la muestra de kg MS / Mg MS

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

Para poder realizar la conversión de biomasa aérea a Carbono se tomó en cuenta los lineamientos definidos por la guía de buenas prácticas para uso de suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (Penman et al., 2003), que asume que el contenido de carbono es el 50% de la biomasa aérea de cada árbol vivo (IPCC, 1996; Brown, 1997; Chojnacky y Milton, 2008; Barrett, 2014; Jew et al., 2016; Hetland et al., 2016; Rajput, 2016; Tashi et al., 2016; Vijayakumar et al., 2016), teniendo entonces que:

$$CBA = (BA * FC)$$

Donde:

CBA = Cantidad de 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

4.7 Carbono en el suelo

Para la valoración del carbono almacenado en el suelo, por cada parcela se tomará una muestra a diferentes profundidades (0-10; 10-20 y 20-30 cm) para después determinar densidad aparente a través del método del cilindro (Anderson e Ingram, 1993) y carbono orgánico mediante

el método de Walkley-Black (Walkley y Black, 1934). Éstas muestras de suelo serán tomadas usando una calicata de 40 x 40 x 40 cm en el centro de cada parcela.

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

$$COS_t = \sum_1^n (C_i * TH_i * BD_i * 100)$$

Donde:

COS_t = Carbono orgánico del perfil de suelo completo ($Mg\ ha^{-1}$)

BD_i = Densidad aparente del horizonte i (g/cm^3)

TH_i = Espesor del horizonte i (m)

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

4.8 Carbono total almacenado

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

$$CT = COS_t + C_{BA}$$

Donde:

CT = Carbono total

COS_t = Carbono orgánico del perfil de suelo completo ($Mg\ ha^{-1}$)

CBA = Cantidad de carbono en la biomasa aérea ($Mg\ C/ha^{-1}$)

5. Resultados y discusión

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 ($p=0.12$), ni para el carbono almacenado en biomasa aérea ($p=0,99$) del “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands” en Joa, Jipijapa para el año 2020. 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 111,72 y 123,47 Mg C ha⁻¹, con un promedio de 118,36 Mg C ha⁻¹, siendo el carbono en suelos el compartimiento con mayor aporte al almacenamiento total (60,69%).

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.

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	46,74	31,14	77,72	13,04	123,47
251-300	45,74	36,37	73,15	8,52	105,02
> 300	47,08	22,28	64,64	14,08	110,93
p-valor	0,12		0,99		
C.V.	65,56		16,88		

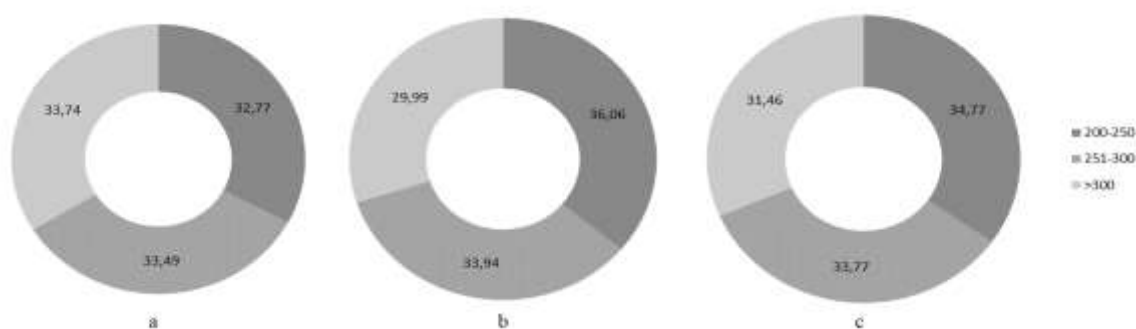


Figura 2. Distribución porcentual del carbono almacenado en biomasa aérea viva (a), en suelos (b) y carbono total (c) considerando los pisos altitudinales del “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.

En este mismo sentido, la Figura 3 muestra en porcentaje el almacenamiento de carbono por especie, siendo posible constatar que los mayores valores los poseen *C. trischistandra* (66,89%), *E. ruizii* (9,93%), *B. graveolens* (8,03%) y *E. velutina* (5,32%); de tal manera que estas cuatro especies almacena alrededor del 90% del carbono almacenado en la biomasa aérea viva del área en estudio, el otro 10% está representado principalmente por *C. arborea*, *G. spinosa*, *C. lutea* y otras en menor proporción.

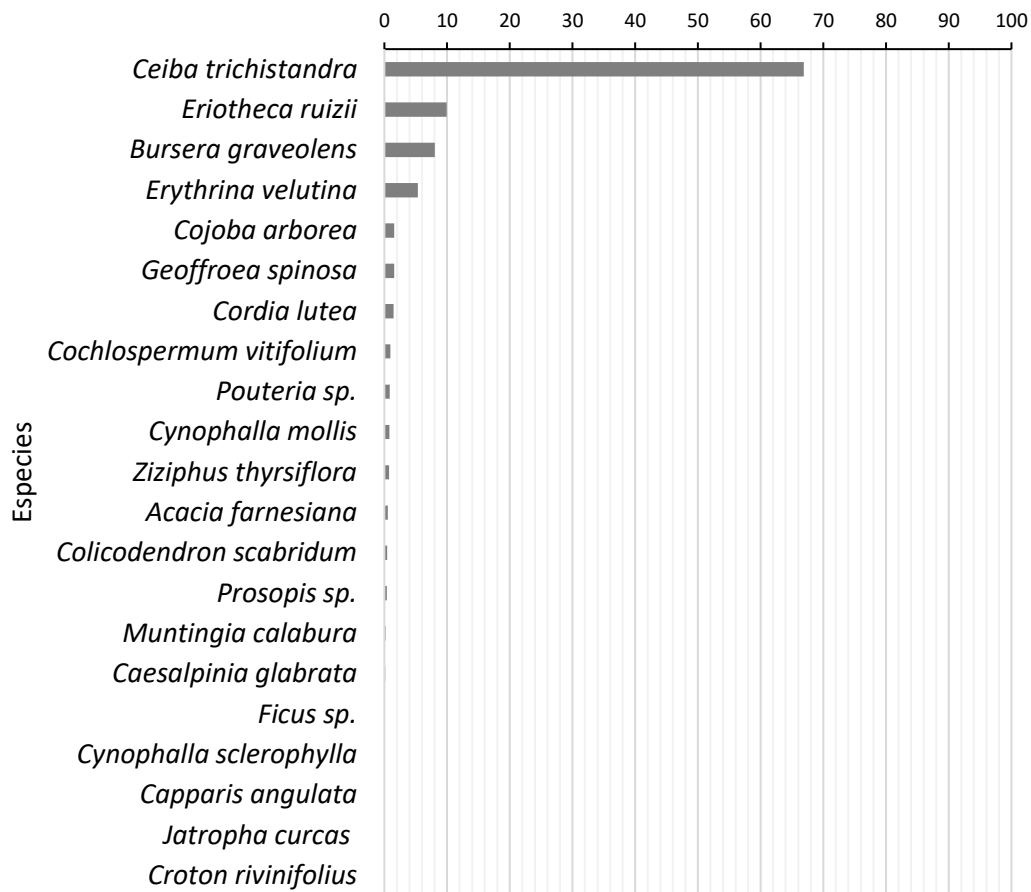


Figura 3. Distribución porcentual del carbono almacenado en biomasa aérea viva con respecto a la especie presente en el “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa.

De igual manera, la familia cuyos individuos almacenan mayor cantidad de carbono es Malvaceae (Figura 4), 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.

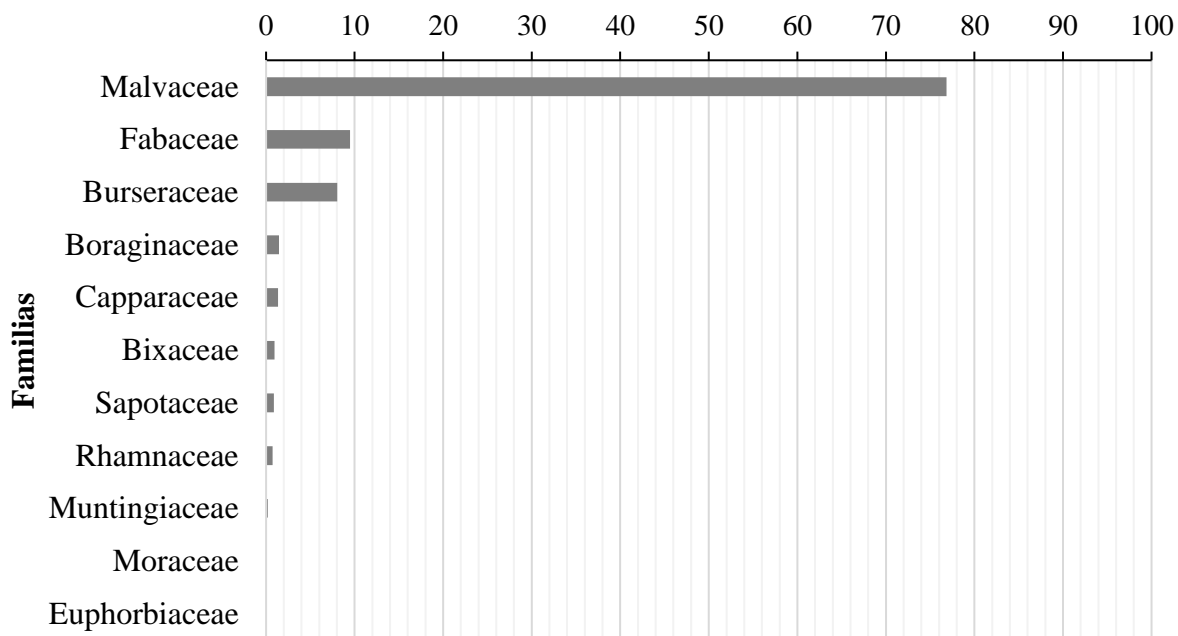


Figura 4. Distribución porcentual del carbono almacenado en biomasa aérea viva con respecto a las Familias presente en el “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa

En cuanto al carbono almacenado en suelos (Figura 2b), los análisis demuestran que no existen diferencias estadísticas entre las cantidades almacenadas en los diferentes pisos altitudinales. En términos generales, el carbono disminuye con la profundidad. No obstante, en el piso altitudinal medio (251 a 300 msnm), el comportamiento es un tanto diferente, teniendo mayores concentraciones de carbono entre los 10 a 20 cm de profundidad (Figura 5).

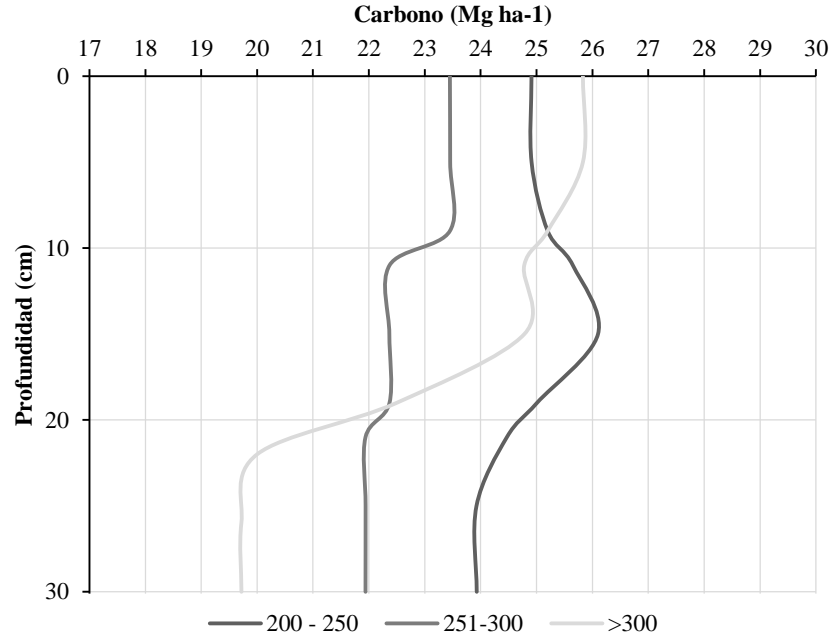


Figura 5. Carbono almacenado en tres profundidades para tres pisos altitudinales en el “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. Joa, Jipijapa

La composición y abundancia arbórea son factores fundamentales de considerar en la estimación de los stocks de carbono almacenado en ecosistemas forestales (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, el hecho de que Salas et al (2020) reportaran una similitud significativa en la composición y estructura arbórea entre capas de altitud del “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”, podría explicar que el carbono almacenado en la biomasa aérea viva no difiera a lo largo del gradiente de elevación en el área en estudio.

Conforme a lo expuesto, fue posible observar que no todas las especies se presentaron en los diferentes pisos altitudinales, siendo el piso más alto (> 300 msnm) el que carece de un alto número de especies que se encuentran presentes en las otras altitudes. No obstante, las especies que dominan el stock de carbono en el área (*C. trichistandra*, *E. ruizii*, *B. graveolens*, *E. velutina*) son comunes a lo largo del gradiente altitudinal; así mismo, la hojarasca que se deposita en el suelo y se incorpora a él después de descomponerse tiene una composición similar. En este punto, es importante señalar que la temperatura puede tener un

efecto en el proceso de descomposición de la materia orgánica (Pries et al. 2017), ya que esta no varía en el gradiente altitudinal de la región, los valores de carbono orgánico son similares y a profundidades expresado por Kramer y Gleixner (2008), hechos que podría explicar la carencia de diferencias estadísticas en la estimación de los stocks de carbono en biomasa aérea viva y suelos del área en estudio.

Los resultados de la estimación del stock de carbono en biomasa aérea viva obtenidos en este estudio, son consistentes con los 37 Mg C ha⁻¹ reportados por el Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE 2015), con los valores reportados por Jaramillo et al. (2003) entre otros estudios sobre esta temática en ecosistemas de bosque estacionalmente seco (Martinez-Yrizar et al., 1992; Brown y Gaston, 1995; Kaninnen, 2000). En este mismo sentido, los resultados de carbono total de este estudio son superiores a los reportados por Salas et al. (2017), quienes consideraron como parámetro de comparación las diferentes formaciones vegetales asociadas a la altitud. Adicionalmente es necesario indicar que algunas zonas del “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands” son transitadas por ganado, lo que sugiere que, en cierta medida, la deposición de estiércol en el suelo favorece los niveles de materia orgánica y, por lo tanto, de carbono.

Al comparar los resultados de este estudio con los de Salas et al. (2020), fue posible establecer que el stock de carbono tanto en biomasa aérea viva como en los suelos del “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands” tuvieron un incremento del 21,11% y 1,17% respectivamente, en el periodo de un año, este incremento ocurre debido a que los flujos que agregan carbono al stock, como el crecimiento, son más altos que los flujos que disminuyen el stock, como la mortalidad (Pearson et al., 2005). El stock de carbono en el suelo no incrementó en igual medida que en la biomasa aérea, debido a que se presenta mayor carbono almacenado en la biomasa aérea, esto se lo atribuye al mayor volumen y biomasa que presenta el árbol (García y Arias, 2017), y aunque en el suelo hay en menor cantidad es más estable que en la biomasa.

6. Conclusiones y recomendaciones

El “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands” ubicado en Joa, Jipijapa puede almacenar un promedio de 46,52 Mg C ha⁻¹ en biomasa aérea viva. El 90% del stock en este compartimiento se encuentra en cuatro especies: *C. trischistandra*, *E. ruizii*, *B. graveolens* y *E. velutina*.

El stock de carbono en los suelos del “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands” en promedio es de 71,84 Mg C ha⁻¹, su acumulación disminuye en la medida en que se profundiza en el suelo.

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.

7. Referencias bibliográficas

- Aguirre Z. (2013). *Formaciones Vegetales de los bosques Secos de la Ceiba y Romeros*, Provincia de Loja. EcoCiencia. Loja, Ecuador.
- 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 H.; Segura M.; Canal D.; Huertas A.; Mosos C. (2017). *Composición florística y reservas de carbono en bosques ribereños en paisajes agropecuarios de la zona seca del Tolima, Colombia.* (2017)1745. Consultado 10 de noviembre 10, 2019. DOI: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v65n4/0034-7744-rbt-65-04-01245.pdf>
- 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.
- 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. (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.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, MA., 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.
- Chojnacky, 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.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Informe sobre recursos mundiales de suelos. FAO. Roma, IT. No. 96. 2002. 61 p. (En línea). Consultado el 10 de Noviembre de 2013. URL: [URL: ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsr96s.pdf](ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsr96s.pdf)
- FAO. (2004) *El cambio climático y los bosques*. Consultado 11 de noviembre 11, 2019. DOI: <http://www.fao.org/3/y0900s/y0900s06.htm>
- Garcia, R, Arias, A. (2017). *Almacen de carbono en plantaciones de Pinus patula y Pinus ayacahuite en San Miguel Tenextepec, Amanalco, Estado de Mexico*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/322448012_almacen_de_carbono_en_plantaciones_de_pinus_patula_y_pinus_ayacahuite_en_San_Miguel_Tenextepec_Amanalco_Estado_de_Mexico
- Gower Stith. (2003): *Patrones y mecanismos del ciclo del carbono forestal*. 9. Consultado 10 noviembre 10, 2019. DOI: https://www.researchgate.net/publication/234150219_Patterns_and_mechanisms_of_the_forest_carbon_cycle
- 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.jadan-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/gpگلulucf/gpگلulucf_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>
- 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.
- 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.
- Locatelli Bruno, Leonard Sylvain.(2001). *Un método para medir el carbono almacenado en los bosques de malleco (chile)*. Consultado 11 de noviembre 11, 2019. DOI: https://agritrop.cirad.fr/478866/1/document_478866.pdf
- 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.
- Martinez-Yrizar, A., Sarukhan, J., Perez-Jimenez, A., Rincon, E., Maass, J.M., Solis-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.
- Mena .M., Valderrama, Leison; García, Harold (2013). *Valoración del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en un bosque pluvial tropical ubicado en la Sub-cuenca del rio*

- Tutunendo, Municipio de Quibdó, Chocó, Colombia*. En: IV Seminario Internacional de Agroforestería "Desde el Chocó Bio-geográfico para el mundo". Quibdó, Chocó, Colombia 17 al 20 de septiembre de 2013. Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba".
- 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.
- Pardos, J. A. (2010) *los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono*. Madrid: I. G. Solprint.S. L.
- Pearson, T., Walker, S. & Brown, S. 2005. Sourcebook for Land use, land-use change and forestry projects. Biocarbon Fund. Winrock International.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, 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.
- Pries, H., Castanha, C., Porras, R., Torn, M.S. 2017. The whole-soil carbon flux in response to warming. *Science* 355(6332), 1420-1423.
- Rajput, P. (2016). *Carbon storage, soil enrichment potential and bio-economic appraisal of different land use systems in mid hill and sub-humid zoneII 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/displaybitstream?handle=1/5810016949>
- Rodríguez-Laguna, Rodrigo; Jiménez-Pérez, Javier; Aguirre-Calderón, Óscar A.; Treviño-Garza, Eduardo J.; Razo-Zárate, Ramón. (2009). *Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México*. *Ra Ximhai*, vol. 5, núm. 3, septiembre-diciembre, 2009, pp. 317-327 Universidad Autónoma Indígena de México El Fuerte, México
- 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.
- 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.
- Schlegel Bastienne. (2001): *Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde*. 5. Consultado 10 de noviembre 10, 2019. DOI: https://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/45_schlegel.PDF
- Solano Darío, Vega Carlos, Eras Victor, Cueva Kelvin. (2013). *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 pluviestacional del Ecuador*. Consultado 11 de noviembre 11, 2019. DOI: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/227/208>
- 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
- 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>.