

UNIVERSIDAD
CIENTÍFICA
DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“VALORACIÓN ECONÓMICA DE CAPTURA DE CARBONO EN
BOSQUES NUBLADOS”

Trabajo de investigación para optar el Grado de Bachiller en:

INGENIERÍA AMBIENTAL



Presentado por:

Emerson Jaime Huamán (0000-0002-3832-5391)

Asesor:



Landy Alexander Damián Parizaca (0000-0002-0233-9935)

Co-asesora:



María de Los Ángeles La Torre Cuadros (0000-0001-9325-3186)

Lima – Perú

2020



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°174-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTÍFICA.

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 14 de octubre de 2020

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Valoración económica de captura de carbono en bosques nublados**, presentado por:

- **Emerson Jaime Huaman**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Valoración económica de captura de carbono en bosques nublados** con N° de registro de la carrera: **063-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Landy Alexander Damian Parizaca** como asesor y a la docente/colaborador **Maria de los Angeles La Torre Cuadros** como co-asesora de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese.


Documento firmado digitalmente
Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental

VALORACIÓN ECONÓMICA DE CAPTURA DE CARBONO EN BOSQUES NUBLADOS

ECONOMIC ASSESSMENT OF CARBON CAPTURE IN CLOUDY FORESTS

Emerson Jaime Huamán¹, Landy Alexander Damián Parizaca² y María de los Ángeles La Torre Cuadros³

¹Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

²Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

³Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

*Autor de correspondencia: 180000291@ucientifica.edu.pe

Resumen

Existe poca evidencia empírica de aplicación de metodologías inclinados a dar valor económico a los bienes y servicios asociados al bosque nublado. Esta revisión teórica expone la valoración económica de la captura de carbono en bosques nublados. Estos ecosistemas frágiles son amenazados por su colonización rápida y su extensión forestal pequeña.

La valoración es importante para estimar económicamente el impacto ambiental y definir adecuadamente los instrumentos de política y gestión ambiental. Se considera que la captura de carbono varía a la ubicación del bosque nublado, la parte baja deposita 329 t/ha-1 y la parte alta deposita 323 t/ha-1; asimismo, la vertiente occidental almacena el 27.13% y oriental 72.87%; es más, varía por el tipo de ecosistema ya sea pantano, bosque, sábana, varillal, pacal, matorral, pajonal, páramo y humedal. El método más adecuado es el método indirecto conocido como no destructivo debido a la composición de este ecosistema donde prima las especies endémicas, y el sistema de negociación de carbono más rentable es el sistema europeo de negociación de carbono (SENDECO2).

Palabras clave: Andes, Biomasa aérea, Ecuación alométrica, Pago por servicios ambientales, Servicios ecosistémicos.

Abstract

There is little empirical evidence of the application of methodologies inclined to economic value to the goods and services associated with the cloud forest. This

theoretical review exposes the economic valuation of carbon capture in cloud forests. These fragile ecosystems are threatened by their rapid colonization and their small forest extension.

The valuation is important to economically estimate the environmental impact and define the instruments of environmental policy and management. It is considered that the capture of carbon in the location of the cloud forest, the lower part deposits 329 t / ha-1 and the upper part deposits 323 t / ha-1; Likewise, the western slope stores 27.13% and eastern 72.87%; It is more, corresponded by the type of ecosystem and sea swamp, forest, sheet, varillal, pacal, scrub, grassland, paramo and wetland. The most appropriate method is the indirect method known as non-destructive due to the composition of this ecosystem where endemic species prevail, and the most profitable carbon trading system is the european carbon negotiation system (SENDECO2).

Key words: Andean, Aerial biomass, Allometric equation, Ecosystem services, Payment for environmental services.

Introducción

Los bosques nublados, también conocidos como bosques montanos son ecosistemas que brindan servicios de captura de carbono, regulación climática, suministro de agua, conservación de biodiversidad de flora y fauna, provisión de comida y fibra, polinización, regulación de plagas y enfermedades, purificación de agua, soporte de deslizamientos y soporte de todos los servicios ecosistémicos (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2011; Bussmann, 2012; Spracklen y Righelato, 2014 y Caro-Caro y Torres-Mora 2015). Se sabe que la extensión de estos ecosistemas de montaña, son muy restringidos en el mundo (Carbajal, Rodríguez, Ávila, Rodríguez y Hernández, 2017), sin embargo, poseen un gran potencial de captura de carbono en sus depósitos, tanto de biomasa aérea o forestal, suelo y mantillo (Ordóñez, Rivera, Tapia, y Ahedo, 2015).

En el Perú, se ha estudiado relativamente poco sobre la valoración de carbono en bosques nublados, a pesar de que representa una prioridad global de conservación de estos ecosistemas (Tejedor, 2012). Los bosques nublados peruanos presentan una alta capacidad de captura de carbono (López, 2015), se ha calculado 98,06 tC/ha en biomasa arbórea de acceso difícil y 84,54 tC/ha en fácil acceso aproximadamente (Málaga,

Giudice, Vargas y Rojas, 2014; Spracklen y Righelato, 2014), y en bosques de relictos altoandinos (i.e. distribución reducida) es 8.9 tnC/ha (Meneses y Zamora, 2018).

Según el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR] (2017) en el 2016 la deforestación fue de 164 662 ha, un indicador de aumento de 5.2% concertado con el año 2015 (156 462 ha), la segunda más alta de los últimos 16 años, sola prevalecida por la registrada en el 2014 (177 566 ha) (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017). El cambio de uso de suelo por deforestación causa el 51% de las emisiones de gases que contribuye al calentamiento global (MINAM, 2009).

Este trabajo de revisión tiene como objetivo analizar las metodologías inclinadas a dar valor económico a los bienes y servicios asociados al bosque nublado, conocer las características, extensión e importancia de valorar económicamente y sistema de negociación de carbono.

Revisión teórica

Secuestro y captura de carbono

Problemática

A nivel global, entre 2000 y 2010, trece millones de hectáreas de ecosistemas forestales se perdieron (FAO, 2010). En la actualidad, en el mundo se encuentra 850 millones de hectáreas de bosques degradados, para recuperar la biodiversidad y los diferentes servicios ecosistémicos que brinda se requiere de un plan de restauración y rehabilitación (Fernández, 2017), ya que los bosques forman parte de las principales estrategias para mitigar el cambio climático (IDEAM, 2017; Fernández, 2013), por lo que actúan como depósitos de carbono en sus diferentes estratos forestales, no forestales como las praderas y sistemas agrícolas (Granja, 2015).

En Perú, la pérdida de los bosques húmedos amazónicos tuvieron un aumento del 5.2% al pasar de 156 462 ha el 2015 a 164 662 el 2016 (MINAM, 2017); marcando el pico más alto de deforestación en los últimos dieciséis años, tan solo quedando bajo los registros del 2014 (177 566 hectáreas) (Rosales, 2008).

Captura de carbono

La captura de carbono es un servicio de regulación y constituye un valor de uso indirecto del ecosistema conocido como función ecológica (Sanjurjo y Welsh, 2005), en Colombia es conocido como fijación de carbono. Existen cuatro reservorios o depósitos (océano,

atmósfera, sistema terrestre y suelo) ya sea natural o artificial (Benavides y León, 2007), cuales fijan miles de toneladas métricas de carbono.

El océano es uno de los más grandes depósitos de carbono, el más grande después del suelo, almacena en las masas de aguas oceánicas frías y profundas, al elevar su temperatura provoca la liberación a la atmósfera (De la Cruz, *et al.*, 2014). El sistema terrestre se refiere a la vegetación arbórea y no arbórea, que tienen la capacidad de capturar carbono en su biomasa tanto en la madera, rama, raíz y en la hojarasca al gas de efecto invernadero que es el dióxido de carbono que se encuentra en el ambiente, a través de la fotosíntesis oxidativa y respiración celular, (Arango, 2005), donde al ecosistema forestal se ve como si mismo y no como un simple árbol aislado (Vargas-Mena y Yáñez, 2004).

El suelo es un gran reservorio de carbono en la naturaleza, definitivamente la que secuestra en cantidades altísimas se encuentra en la corteza terrestre; esto por la presencia de alta biomasa orgánica que llega al suelo por acción de la fotosíntesis y se estabiliza por miles de años (Rugnitz, Chacón y Porro, 2009 y Burbano, 2018). Se dice que, por el calentamiento global, la velocidad de mineralización y metabolismo de sedimentos implica la liberación del CO₂ atrapado en los suelos hidromorfos y fríos (Macías, 2004 y Granda, 2005).

Captura de carbono en el Perú

Los estudios realizados por (Asner *et al.*, 2014), indican que las densidades de carbono sobre el suelo y las reservas totales de carbono varían significativamente en cada departamento.

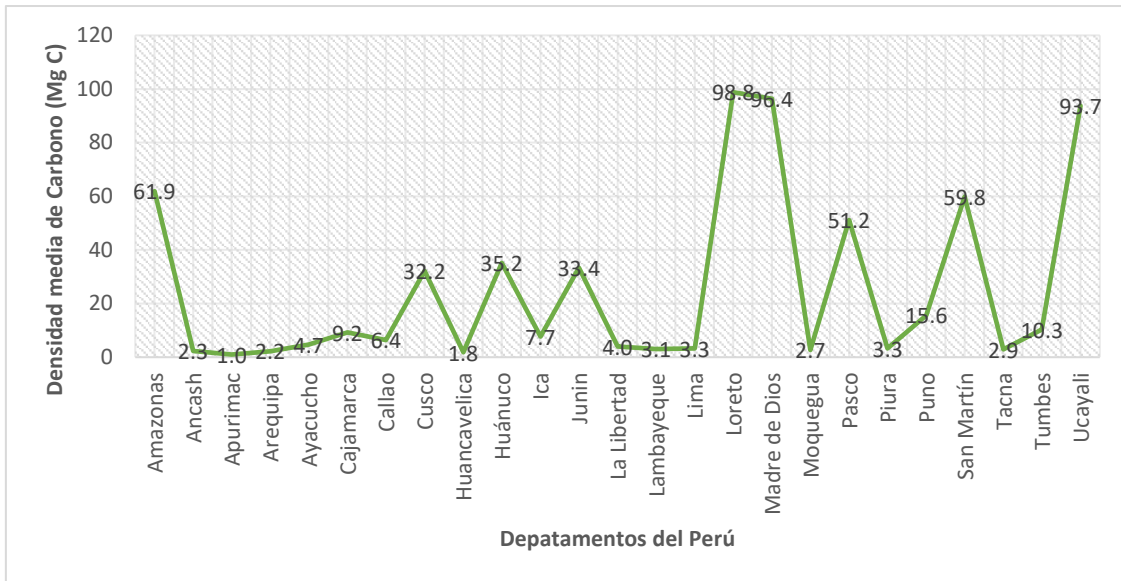


Figura 1. Densidad media de Carbono por departamento.

Fuente: Adaptado de (Asner et al., 2014).

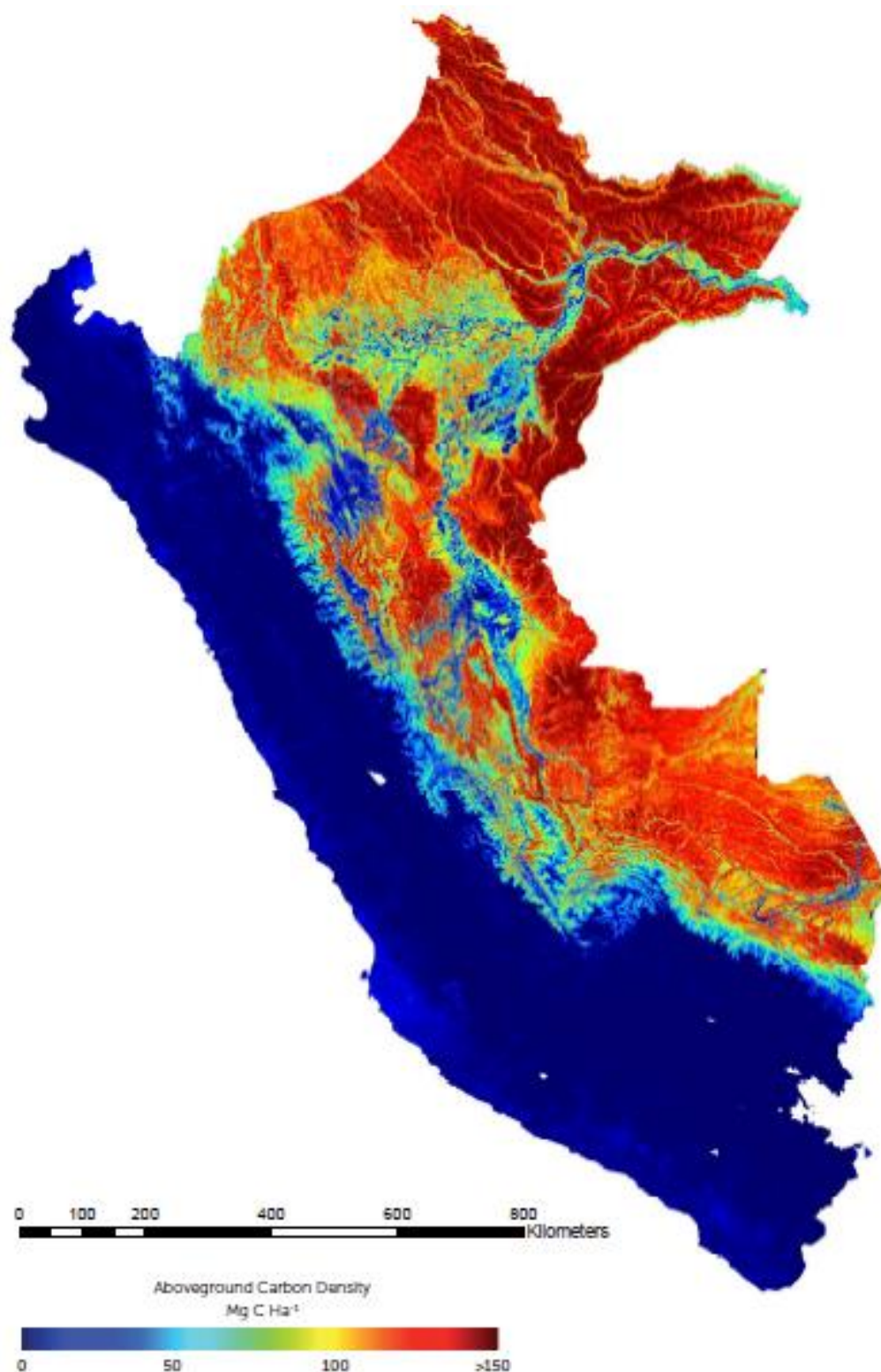


Figura 2. Evaluación de los depósitos de carbono sobre el suelo en el Perú

Fuente: Adaptado de (Asner *et al.*, 2014).

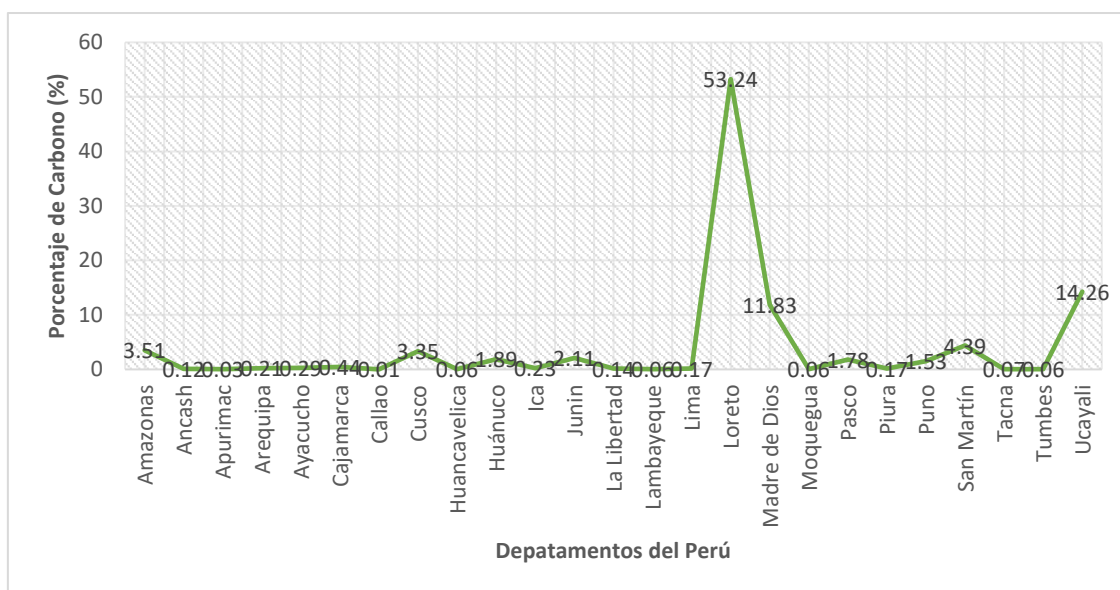


Figura 3. Representatividad de porcentaje de Carbono por departamento.

Fuente: Adaptado de (Asner et al., 2014).

El departamento con mayor reserva de carbono es Loreto con 53%, seguido por Ucayali 14.26% y Madre Dios 11.83%. En las figuras anteriores se muestra que existe diferencia por departamento tanto en la densidad de carbono (Mg C), porcentaje de representatividad a nivel nacional y total Stock de Carbono, está directamente proporcional al reporte que realizó el Ministerio del Ambiente sobre la superficie cubierta por bosques: Loreto 95.14%, Madre de Dios 93.23%, Ucayali 91.72%, Amazonas 72,55%, San Martín 65.92%, Pasco 55.37%, Huánuco 42.93%, Cusco 42.87% y Junín 42.33% (Figura 5).

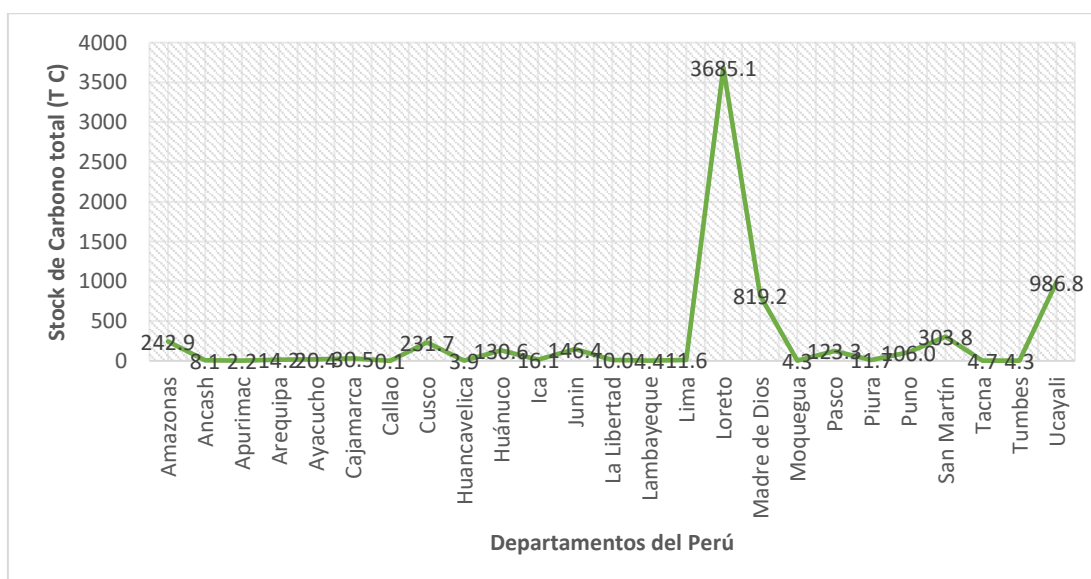
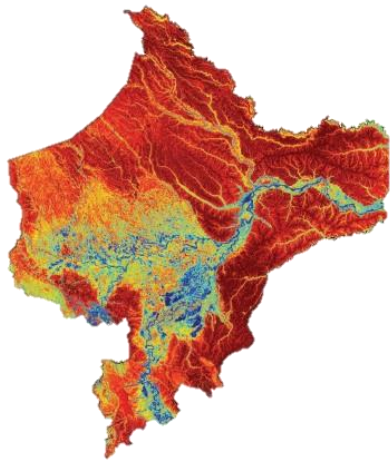
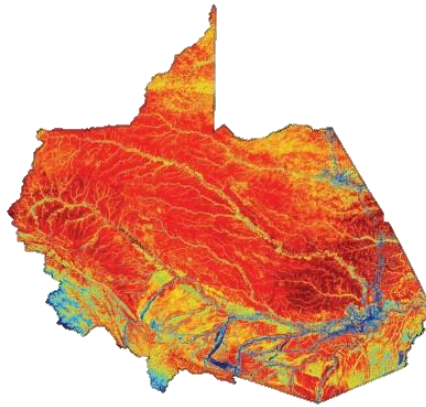


Figura 4. Total de Stock de Carbono por departamento.

Fuente: Adaptado de (Asner et al., 2014).

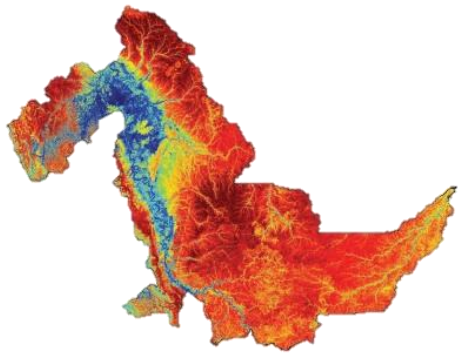


Loreto 98.8 Mg C ha⁻¹

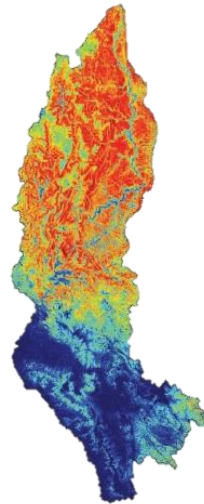


Madre de Dios

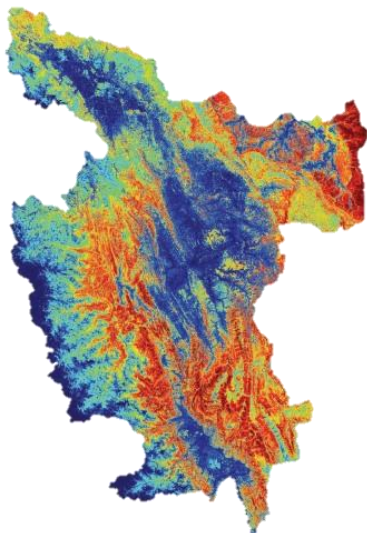
96.4 Mg C ha⁻¹



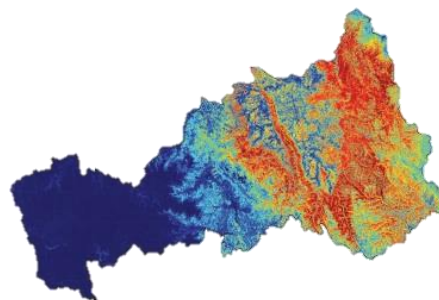
Ucayali 93.7 Mg C ha⁻¹



Amazonas 61.9 Mg C ha⁻¹



San Martín 59.8 Mg C ha⁻¹



Pasco 51.2 Mg C ha⁻¹

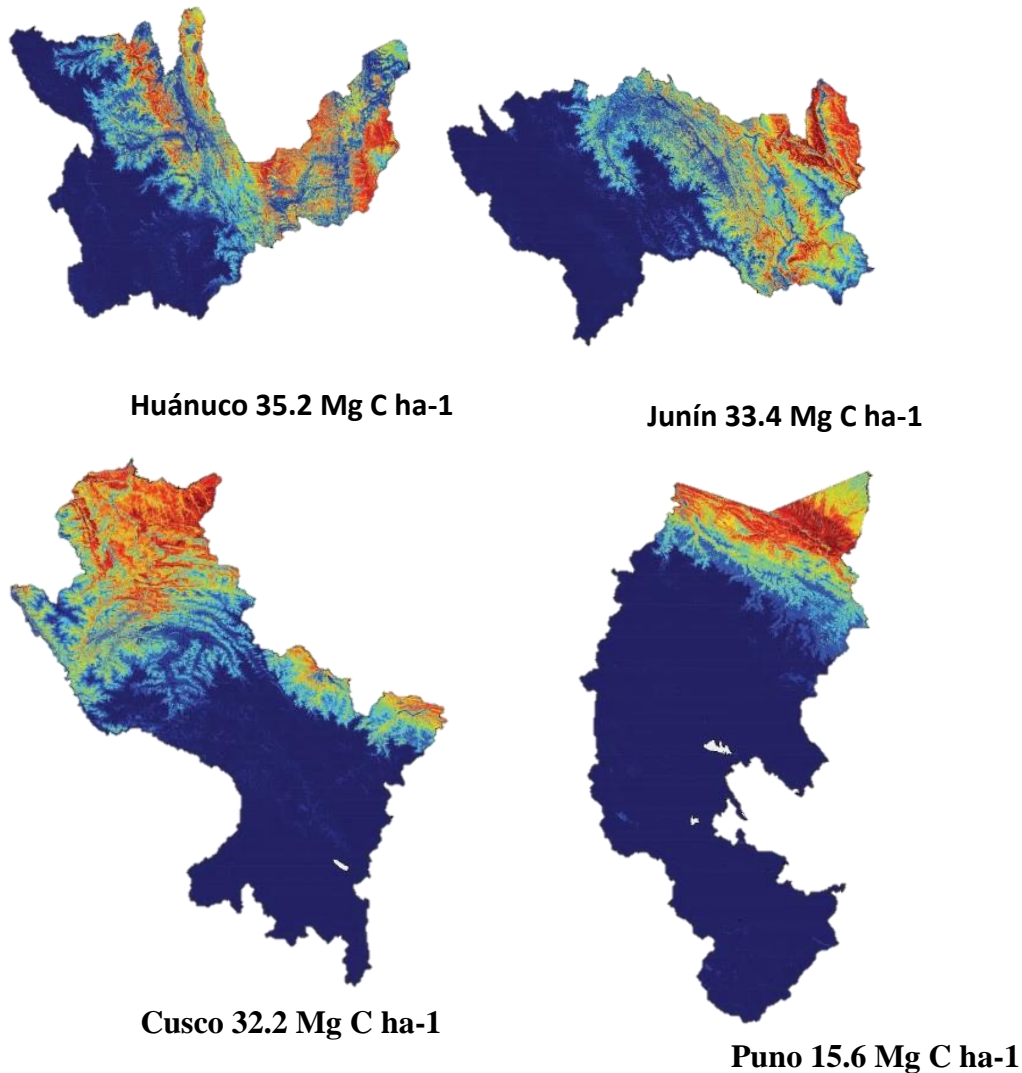


Figura 5. Los diez departamentos del Perú con mayor Densidad media de carbono (Mg C).

Fuente: Adaptado de (Asner, *et al.*, 2014).

Avance de los estudios científicos

En el mundo científico existen estudios de cuantificación y valoración de captura de carbono para cada depósito, más desarrollado en sistemas terrestres y suelo. Se dice que el 26% del total de carbono está depositado en el océano, 20% en la atmósfera, 14% en sistema terrestre y 40% en el suelo (Sandoval, *et al.*, 2003); (Artetxe, *et al.*, 2014).

En la actualidad para monitorear el carbono están empleando tecnologías como satélites geodésicos y de teledetección (Pueyo, 1991), los cuales juegan un papel fundamental para registrar el CO₂ global (Martínez, *et al.*, 2017). Asimismo, sirven para modelar espacialmente el carbono mediante el uso de imágenes satelitales de las áreas de seleccionadas (González *et al.*, 2005; Martínez y Alejandro 2014 y Ruiz, *et al.*, 2017).

Valoración económica de captura de carbono en bosques

Situación actual

La valoración del recurso forestal es una disciplina que se viene desarrollando desde hace varios períodos, mayormente en aspectos conceptuales y modelos de gestión, mientras la consolidación de una teoría de valoración económica y externalidades ambientales es nueva (Calatrava-Requena, 1994).

La valoración ambiental es un término utilizado en aspectos económicos, que se dirige a la cuantificación monetaria que percibe una persona al acceder a un activo ambiental (Linares y Romero, 2008; Raffo, 2015), un proceso mediante el cual se reconoce el valor de satisfacción al adquirir una necesidad, la cual puede tener un enfoque antropocéntrico, biocéntrico o enfoque de desarrollo sostenible (Cayo, 2014). Es decir, una herramienta fundamental para valorar económicamente el impacto ambiental (Báez-Quiñones, 2018) y definir adecuadamente los instrumentos de la política y gestión ambiental (Muñoz-Pedrerros, 2005).

Para muchos el concepto de valoración económica de un servicio ambiental sigue siendo indescriptible; es más, existe discusión frecuentemente, manifestando que la valoración económica de ecosistemas es imposible, no se resignan indicando que colocar un valor a algo intangible es imprudente (Correa, 2005). Sin embargo, en pleno 2019, los estudios de valoración son muy desarrollados en servicios ecosistémicos hídricos y carbono, pero en determinados ecosistemas frágiles no se han desarrollado aún, y se encuentran gravemente amenazados por acción del hombre que han sobreexplotado algunas especies, llevando a la extinción de las mismas (La Chira, 2016). Los bienes ambientales son capitales materiales que está al servicio de la persona, durante el proceso se degrada y se transforma; asimismo los servicios ambientales generan utilidades a la persona, pero indirectamente, durante el proceso no se degradan ni se transforman (Carbal, 2009), como por ejemplo la regulación hídrica y captura de carbono de los bosques (Silva y Correa, 2010).

Ecosistema terrestre

Los bosques tienen el potencial de capturar el carbono e incorporar en su desarrollo, lo asimila a través de la fotosíntesis y lo mantiene secuestrado por periodos prolongados (Benjamin y Maser, 2001). El secuestro de carbono en los ecosistemas terrestres disminuye en forma logarítmica de acuerdo a su edad de cada unidad arbórea (Seppänen,

2003), por el tipo de sustratos en el que haya crecido, altura del dosel y actividad antropogénica.

El potencial de capturar el carbono de los bosques es diferente de acuerdo la localización. La gran parte de los depósitos de carbono en ecosistemas terrestres están situados en bosques de baja latitud, mientras que la gran parte del carbono del suelo está localizada en los bosques de alta latitud (Sánchez y Rosales, 2003). Asimismo, por el tipo de ecosistema ya sea pantano, bosque, sábana, varillal, pacal, matorral, pajonal, páramo, bofedal o humedal, sin importar en la región natural que sitúa (*Tabla 1*) (SERFOR, 2017), y en consecuencia, el valor del ecosistema disminuye.

Tabla 1. *Ecosistemas por cada región natural del Perú*. Fuente: (MINAM, 2018).

REGIÓN NATURAL	ECOSISTEMA
SELVA TROPICAL	Pantano herbáceo-arbustivo
	Sabana húmeda con palmeras
	Pantano de palmeras
	Bosque aluvial inundable de agua blanca
	Bosque aluvial inundable de agua negra
	Bosque de terraza no inundable
	Varillal
	Bosque de colina baja
	Bosque de colina alta
	Bosque de colina de Sierra del Divisor
	Pacal
	Bosque estacionalmente seco oriental (Huallaga, Ene-Perené, Urubamba)
	YUNGA
Bosque montano de yunga	
Bosque altimontano (pluvial) de yunga	
ANDINA	Matorral montano
	Páramo
	Pajonal de puna seca
	Pajonal de puna húmeda
	Bofedal
	Zona periglaciaria y glaciaria
	Jalca
	Matorral de puna seca
	Bosque relicto altoandino (queñoal y otros)
	Bosque relicto montano de vertiente occidental
Bosque relicto mesoandino	
Bosque estacionalmente seco interandino (Marañón, Mantaro, Pampas y Apurímac)	

COSTA	Matorral andino
	Bosque tropical del Pacífico (Tumbes)
	Manglar
	Bosque estacionalmente seco de colina y montaña
	Loma costera
	Matorral xérico
	Bosque estacionalmente seco de llanura
	Bosque estacionalmente seco ribereño (algarrobal)
	Humedal costero

Métodos de valoración

Para valorar el carbono de un ecosistema forestal, primero se debe cuantificar el carbono, para lo cual existen guías y manuales para determinar el carbono. El Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) y el Consorcio Iniciativa Amazónica (IA) (2009) publicaron un manual técnico para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales (Rugnitz, *et al.*, 2009). En Colombia se desarrollaron ampliamente este tema, uno de ellos es el Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-Carbono (Yepes *et al.*, 2011) y estimación de las reservas potenciales de carbono almacenada en la biomasa aérea en bosques naturales (Phillips, *et al.*, 2011). Asimismo, en Perú la Red Amazónica de Inventarios Forestales RAINFOR hizo un Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos en Perú (Honorario y Baker, 2010) y otro en específico para hacer estimaciones de contenidos de carbono de la biomasa aérea arbórea (Málaga, *et al.* 2014).

Según (Gentry, 1995), para determinar el carbono se selecciona parcela como estrategia de planificación para reducir el costo y tiempo de evaluación. Para esto, se requiere medir y estimar la biomasa sobre el suelo, biomasa subterránea, biomasa en materia orgánica muerta y carbono en el suelo. En biomasa sobre el suelo prevalece la biomasa arbórea o aérea, no arbórea, y propiamente dicha biomasa sobre el suelo (hierbas) (Rugnitz, *et al.*, 2009).

La biomasa arbórea o aérea se refiere toda la vegetación leñosa, biomasa arriba del suelo, pueden ser tropicales, subtropicales, andinos o amazónicos (Chou y Gutiérrez, 2012). En términos generales, se refiere a todos los árboles vivos y árboles muertos en pie (Quiñe, 2009). Mientras, biomasa no arbórea son aquellas formaciones vegetales que crecen por debajo del sotobosque, es decir la formación vegetal arbustiva; y la biomasa sobre el suelo se refiere a parte arbustiva que cubre la corteza terrestre (Salazar, *et al.*, 2012).

Para estimar la biomasa existen dos métodos, el método destructivo y no destructivo. El método destructivo se utiliza para crear un álgebra alométricas para cada especie arbórea, para esto se requiere fijar la biomasa pesando con una báscula a cada uno de los componentes del árbol. Definitivamente hacerlo es complicado, si es para evaluar en un determinado ecosistema o Área Natural Protegida ANP con mucha más razón ya que se requiere representatividad (Rugnitz *et al.*, 2009). En un bosque nublado, una de las razones principales de no utilizar un método directo es la presencia de gran diversidad de especies endémicas. Según Martínez y Rechberger (2007), resaltan que en un bosque nublado las especies típicas son *Brunellia boliviana*, *Juglans sp.* y *Meliosma boliviensis*, pero estas no son representativas.

Mientras, el método indirecto o no destructivo consiste en utilizar ecuaciones para determinar la biomasa mediante la medición de algunas dimensiones que son fáciles de medir en campo. Esta práctica evita la degradación del área de estudio, por el hecho que los bosques nublados de montaña son calificados como ecosistemas muy frágiles, y más amenazados por su rápida colonización y su pequeña extensión forestal (Llerena *et al.*, 2010).

Estas ecuaciones son denominadas alométricas por crecimiento diferencial de los bosques, cuales se generan a partir del método directo. En la actualidad existen varias ecuaciones desarrolladas, que no requieren trabajo para estimar la biomasa aérea. A continuación, se presenta las ecuaciones alométricas desarrolladas que se pueden aplicar en diferentes ecosistemas indicados en la (Tabla 2).

Tabla 2. Ecuaciones alométricas para un determinado ecosistema.

Ecuación	Componente
Biomasa. $A = \exp(-6.3789 - 0.877 \ln(1/D^2) + 2.151 \ln(L))$	Palmas
Biomasa. $A = 139,48 + 7,308 H^{1,133}$	Palmas
Biomasa. $A = \exp(0,360 + 1,218 \ln H)$	Palmas
Biomasa. $A = 0,632 + 1,296 \ln(L)$	Palmas
$\ln(BA) = -3,956 + 3,106 \ln(D)$	Palmas
Biomasa. $A = \exp(0,0499 + 2,053 \ln D)$	Lianas
$\log_{10}(BA) = 0,12 + 0,91 \log_{10}(BA)$	Lianas
Biomasa. $A = 0,028 + 1,841 \ln(D)$	Lianas
Biomasa. $A(\text{kg/par}) * (1\text{tn}/1000\text{kg}) * FC = BA(\text{tHa}^{-1})$	Bosques naturales
$\log_{10}(BA) = -2,18 + 0,08(D) - 0,0006(D^2)$	Árboles dispersos
Biomasa. $A = \exp(2,4128 \ln D - 1,9968)$	Arbustos
Biomasa. $A = \exp(4,039 - 1,991 * \ln(D) + 1,236 * (\ln(D))^2 - 0,126 * (\ln(D))^3 + 1,283 * \ln(\rho))$	Bosque seco tropical

$Biomasa.A = \exp(2,828 - 1,596 \cdot \ln(D) + 1,236 \cdot (\ln(D))^2 - 0,126 \cdot (\ln(D))^3 + 0,441 \cdot \ln(\rho))$	Bosque húmedo tropical
$Biomasa.A = \exp(1,595 - 1,224 \cdot \ln(D) + 1,236 \cdot (\ln(D))^2 - 0,126 \cdot (\ln(D))^3 + 0,691 \cdot \ln(\rho))$	Bosque pluvial tropical
$Biomasa.A = \exp(2,421 - 1,415 \cdot \ln(D) + 1,236 \cdot (\ln(D))^2 - 0,126 \cdot (\ln(D))^3 + 1,067 \cdot \ln(\rho))$	Bosque húmedo premontano
$Biomasa.A = \exp(2,225 - 1,552 \cdot \ln(D) + 1,236 \cdot (\ln(D))^2 - 0,126 \cdot (\ln(D))^3 - 0,237 \cdot \ln(\rho))$	Bosque húmedo montano bajo
$Biomasa.A = \exp(3,441 - 1,809 \cdot \ln(D) + 1,236 \cdot (\ln(D))^2 - 0,126 \cdot (\ln(D))^3 + 1,743 \cdot \ln(\rho))$	Bosque húmedo montano
$M = 34,47 - 8,0671D + 0,6589D^2$	Bosque tropical seco
$M = \exp(-1,996 + 2,32 \ln(D))$	
$M = 0,08479(\rho_w^{0,55255} D^{2,2435} H^{0,4773})$	
$M = e(-2,409 + 0,952 \cdot \ln(D^2 H))$	
$M = 0,112 \cdot (\rho_w D^2 H)^{0,916}$	
$M = \rho_w \cdot e(-0,67 + 1,78 \ln(D) + 0,207(\ln(D))^2 - 0,028(\ln(D))^3)$	
$M = 10^{(-0,5352 + \log_{10}(BA))}$	
$M = (38,36 \cdot B^{-6,9045}) D^{(B=d+hB^*)}$	Bosque tropical
$M = 0,2457 \rho_w (D^{2,67})$	
$M = (0,2457 \rho_w) D^{2,38}$	
$\rho \cdot \exp(1,239 + 1,980 \cdot \ln(dap) + 0,207 \cdot \ln(dap)^2 - 0,0281 \cdot \ln(dap)^3)$	Bosque nublado
AGB = f(DAP, A, p) + valor residual de la desviación alométrica	Bosque mesófilo de montaña
Biomasa.A = $(\sum AU / 1\ 000) \times (10\ 000 / \text{área de la parcela})$	Bosque
$\ln B = -1,86 + 2,49 \ln DAP$	Bosque
$\ln B = -1,86 + 1,24 \ln DAP^2$	
$\ln B = -3,18 + 1,49 \ln DAP \cdot Ht$	
$\ln B = -2,72 + 0,94 \ln DAP^2 \cdot Ht$	
$\ln B = -3,18 + 0,75 \ln DAP^2 \cdot Ht$	
$\ln B = 9,89 + 1,24 \ln AB$	
$\ln B = 9,89 + 0,62 \ln AB^2$	
$\ln B = 6,17 + 0,94 \ln AB \cdot Ht$	
$\ln(B) = -2,286 + 2,471 \ln(D)$	Bosque húmedo tropical
$\ln(B) = -1,81 + 2,32 \cdot \ln(D)$	
$\ln(B) = -2,232 + 2,422 \ln(D)$	
$B = \exp[(2,475 \cdot \ln(D) - 2,4)]$	
$\ln(B) = -2,749 + 2,634 \ln(D)$	
$\ln(B) = -2,134 + 2,53 \cdot \ln(D)$	
$\ln(B) = 4,937 + 1,058 \cdot \ln(D^2)$	
BiomasaA = $\exp(-2,450 + (0,932 \cdot (\ln((D^2) \cdot H \cdot \rho)))$	Arboles
BiomasaA = $\exp(-2,286 + 2,471 \ln D)$	Helechos
BiomasaA = $\exp(0,360 + 1,218 \ln H)$	Palmeras
$Y = 0,2035 \cdot (dap)^{2,3196}$	Bosque seco
$\rho \cdot \exp(-1,239 + 1,980 \cdot \ln(D))$	Bosques de neblina

$\ln(dap)+0,207*\ln(dap)^2-0,0281*\ln [(dap)]^3$	Bosque enano Bosque chico Bosque nublado Bosque neblina montano
$V = \pi*r^2*H$	
Biomasa (g) = Volumen del árbol (cm ³) *densidad (g/cm ³)	

Tabla 3. Ecuaciones alométricas para una determinada especie botánica.

Especie	Ecuación
<i>Ceiba pentandra</i>	$\ln(V) = -94.377 + 0.111 \times \ln(DAP^2) \wedge \ln(h) + 34.336 \times \ln(h^2 \times \ln(DAP)) - 10.726 \times h - 0.282 \times DAP$
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	$\ln(V) = 14.194 - 0.016 \times \ln(DAP^2) \wedge \ln(h) - 5.654 \times \ln(h^2 \times \ln(DAP)) + 1.943 \times h + 0.032 \times DAP$ con un R ² de 0.624
<i>Tectona grandis</i>	Biomasa.A = 0,153 D ^{2,382}
<i>Acacia mangium</i>	Biomasa.A = 0,2040 D ^{2,2801}
<i>Tectona grandis</i>	Biomasa.A = 0,0908 D ^{2,575}
<i>Bombacopsis quinata</i>	Biomasa.A = 0.0103 D ^{2,993}
<i>Eucalyptus sp.</i>	Biomasa.A = 1.22 D ² H ^{0,01}
<i>Bactris gasipaes</i>	Biomasa.A = 0,97 + 0,078 G - 0,00094 G ² + 0,0000064 G ³
<i>Hevea brasiliensis</i>	Biomasa.A = -3,84 + 0,528 G + 0,001 G ²
<i>Cordia alliodora</i>	BA = 0,525 + 0,015 D ² H
Especies agroforestales	Log ₁₀ (BA) = -0,834 + 2,223 (log ₁₀ D)
<i>Bactris gasipaes</i>	Biomasa.A = 0,74 * h ²
<i>Coffea arabica</i>	Log ₁₀ (BA) = -1,181 + 1,991 * log ₁₀ (D ₁₅)
<i>Coffea arabica (en sombra)</i>	Biomasa.A = exp(-2,719 + 1,991(ln D) (log ₁₀ D))
<i>Cordia alliodora</i>	Biomasa.A = 10exp(-0,76 + 2,38* log ₁₀ (D))
<i>Musa paradisiaca</i>	Biomasa.A = 0,030 x 2,13 D
<i>Theobroma cacao</i>	Biomasa.A = 10exp(-1,63 + 2,63* log ₁₀ (D ₃₀))
<i>Citrus sinensis</i>	Biomasa.A = -6,64 + 0,279 x G + 0,000514 G ²
<i>Inga sp.</i>	Log ₁₀ (BA) = -0,889 + 2,317 (log ₁₀ D)
<i>Hevea brasiliensis</i>	Biomasa.A = -3,84 + 0,528 G + 0,001 G ²
<i>Guadua sarcocarpa</i>	Biomasa.ST (kg) = -3.614311904 + 2.558090732DC Biomasa.ST (kg) = -3.204068847+ -0.03907892LC1+ 2.558112622DC

<i>Rhizophora mangle</i>	$Biomasa = -282.97 + 42.40DAP$ $LnB = 1.54 + 0.19DAP$ $lnB = -1.91 + 2.59lnDAP$ $lnB = -1.91 + 1.30lnDAP^2$ $lnB = -3.16 + 1.55lnDAP * Ht$ $lnB = -2.73 + 0.98lnDAP^2 * Ht$ $lnB = -3.16 + 0.77ln(DAP * Ht)^2$ $lnB = 10.35 + 1.30lnAB$ $lnB = 10.35 + 0.65lnAB^2$ $lnB = 6.48 + 0.98lnAB * Ht$	
<i>Avicennia germinans</i>	$B = -354.18 + 39.72DAP$ $lnB = -1.96 + 2.45lnDAP$ $lnB = -2.95 + 0.94lnDAP^2 * Ht$ $lnB = 9.62 + 0.61lnAB^2$ $lnB = -3.53 + 0.76ln(DAP * Ht)^2$	$lnB = 2.06 + 0.13DAP$ $lnB = -3.52 + 1.52lnDAP * Ht$ $lnB = 9.62 + 1.23lnAB$ $lnB = 5.94 + 0.94lnAB * Ht$ $lnB = -1.96 + 1.23lnDAP^2$
<i>Quercus magnoliaefolia</i>	$B = 0.0345 * DBH^{2.9334}$	
<i>Polylepis flavipila</i>	$BA = \text{Volumen comercial} * D * FEB$ $Y = \beta_0 + \beta_1 Ln(X) + \epsilon$	
<i>Pinus halepensis</i>	$ln(y) = \beta_0 + \beta_1 ln(Db) + \epsilon$ $ln(y) = \beta_0 + \beta_1 ln(Db^2 H) + \epsilon$ $Y = \beta_0 + \beta_1 Db_2 H + \epsilon$ $y / Db = \beta_0 / Db_2 + \beta_1 H + \epsilon$	
<i>Polylepis rugulosa,</i>	$B = 0.16496 [A + D]^{2.667785}$	
<i>Polylepis reticulata</i>	$Y = B * XK$ $LnY = LnB + K * LnX$ $Y = 0,3346X^{2,3037}$ $Biomasa\ aérea = Y = 0,3346X^{2,3037}$	
<i>Ficus Soatensis</i>	$ln(B) = 1.901 * ln(DAP) + 0.267 * ln(AF) + 1.122 * ln(p)$	
<i>Tecoma stans</i>	$ln(B) = -2.9409 + 2.6925 * ln(DAP)$ $BiomasaA = \sum Au / 1000 * 10000 / \text{área de la parcela}$	

Valoración de captura de carbono en bosques nublados

Bosques Nublados

Los bosques húmedos de montañas, también conocidos como selva alta, bosques de neblina y ceja de montaña, sus características biológicas y físicas cambian con la elevación (Bussmann, 2005), tanto la presencia de las neblinas y la gran diversidad de bromelias y epífitas de los árboles, el suelo está revestido por hojarasca con una capa muy profunda de humus, nitritos y nitratos (MINAM, 2011); estos bosques húmedos andinos forman parte de la región Yunga (Martínez y Rechberger, 2007). Se dice que, de todos los bosques tropicales del mundo, solamente 2.5% son bosques nublados, equivalente a 0.3% de la superficie terrestre. Los bosques nublados incorporan una biósfera única y

estratégico, de alto valor que actúa de forma natural como sumidero de carbono, y otros servicios de mucha importancia para ciudades locales (Armenteras, *et al.* 2010). La climatología se caracteriza por un ambiente cálido en las partes bajas y frías en las partes altas, con temperatura variante entre 4 a 22°C, y altitud entre 500 a 3,500 msnm, con frecuentes lloviznas (Reynel, 2012; Quintero, *et al.* 2017).

Cada estrato en un bosque nublado simboliza un mosaico de características ambientales, se caracteriza por ser un bosque difícil de circular por ella, pero atractiva por poseer diversidad florística, especialmente orquídeas, bromelias, helechos, musgos y líquenes (Granados-Sánchez, *et al.* 2007), el tamaño de los bosques varía de acuerdo con la altitud, a mayor altitud menor tamaño; mientras la proporción de epífitas cada vez es mayor (Navarro, 1997). Los bosques nublados son muy importantes por los servicios ambientales que suministran como la captura de carbono (Salinas, 2005).

La leyenda de existencia de un bosque nublado se ve mediante el esparcimiento, espacio donde habita, su desarrollo y permanencia en el tiempo ante diferentes perturbaciones antropogénicas y naturales; donde los indicadores biológicos son la edad, consistencia en tronco, semilla, diámetro y porte (Ortiz, *et al.*, 2017).

Estudios de valoración

En los últimos años se viene haciendo grandes esfuerzos científicos en estimar el carbono almacenado en la biomasa de los ecosistemas terrestres, y valorar los bienes y servicios ambientales como la captura de carbono, para valorar económicamente el impacto ambiental (Báez, 2018), incluir en el sistema de cuentas de cada país (Rangel *et al.*, 2013) y definir adecuadamente los instrumentos de la política y gestión ambiental (Muñoz, 2005). Sin embargo, gran porcentaje de estudios se realizaron para bosques tropicales, dejando aún lado la potencialidad de los bosques nublados (bosque húmedo montano, y premontano y matorral húmedo), cuales se encuentran gravemente amenazados por acción del hombre, que han sobreexplotado algunas especies, incluso llevándolas a la extinción (La Chira, 2016).

Según Carbajal *et al.* (2017) el bosque nublado es un ecosistema muy restringido en el Perú y el mundo. Estos poseen un gran potencial de captura de carbono en sus diferentes depósitos de biomasa forestal y no forestal como praderas (Ordóñez, *et al.* 2015). Se dice que la biomasa arbórea en selva alta de acceso difícil es 98,06 tC/ha y accesible es 84,54 tC/ha aproximadamente (Málaga *et al.*, 2014). Asimismo, bosques de relictos altoandinos

fija 8.9 tnC/ha (Meneses y Zamora, 2018). Por su parte (López, 2015) obtuvo que el mejor estrato como depósito de carbono son los bosques nublados.

Según Ríos (2012) la ecuación indirecta en parcelas permanentes de 5600m² y 5200m² estimó la capacidad de captura de carbono de un bosque de neblina, en este estudio registró 1464 unidades de árboles, obteniendo en total 329 t/ha-1 en la parcela baja, y 323 t/ha-1 en la zona alta. Por otro lado, analizó la cantidad de carbono C y CO₂e secuestrado en todos los estratos (*Tabla 4*).

Tabla 4. *Captura de carbono C y dióxido de carbono CO₂ equivalente secuestrado por estrato.*

Estrato	Captura de carbono estimado T/ha ⁻¹	CO ₂ equivalente T/ha ⁻¹
Biomasa Aérea	54	182
Biomasa Subterránea	15	51
Suelo	88	296
Materia orgánica muerta	39	131
TOTAL	196	660

En Perú, en el año 2000, Portilla realizó estudio de valoración económica total de bosques nubosos montanos tropicales en el departamento de San Martín donde determinó la cantidad de carbono secuestrado por vertiente occidental y oriental en diferentes diámetros DAP (*Tabla 5*).

Tabla 5. *Diferencia de carbono capturado entre vertiente occidental y oriental con variación en DAP.* Fuente: (Portilla, 2000).

DAP	Bosques del occidente (Tn C)	Bosques del oriente (Tn C)	Biomasa total (Tn C)
20-29	384,342.44	954,191.25	1'338,533.69
30-39	318,361.52	770,778.62	1'089,140.14
40-49	306,248.39	732,412.95	1'038,661.34
50-59	44,889.82	436,130.99	481,020.81
60-69	78,521.57	184,650.24	263,171.81
70-79	56,432.92	78,216.45	134,649.37
80-90	32,064.16	78,216.45	110,280.61
100 - +	-	45,048.71	45,048.71
Total	1'220,860.82	3'279,645.66	4'500,506.48

A medida que va subiendo el DAP reduce significativamente el carbono capturado en ambas vertientes. Asimismo, varía en el valor en términos económicos (*Tabla 6*).

Tabla 6. Valor económico de los bosques nubosos montanos tropicales en el departamento de San Martín. Fuente: (Portilla, 2000).

Valor por captura de carbono	Valor de bosques del occidente (US\$)	Valor de bosques del oriente (US\$)	Valor del Bosque (US\$)
	12'208,608.2	32'796,456.6	45'005,064.8

Diámetro a altura del pecho (DAP)

La medición del diámetro a altura del pecho sobre el nivel del suelo es la medida que se obtiene en el trabajo de campo. La elección del diámetro depende del evaluador, y parámetro en estudio, cuanto más pequeño sea el DAP más acertado serán las estimaciones. En un estudio Ferro-Díaz (2015), señaló que el DAP 2.5 - 10 cm se aplica cuando el estudio va dirigido a registrar unidad de árboles. Mientras, el DAP superiores de 10 cm son considerados para el propósito de evaluación de la composición o monitoreo permanente. Por otra parte, Portilla (2000), indicó que el volumen total de los árboles de la vertiente occidental con DAP inferiores a 50 cm simboliza el 82.63%, y con DAP superiores a 80 cm representan el 2.62%; y en la vertiente oriental los árboles con DAP inferiores a 50 cm simbolizan el 70.24%, y con DAP superiores a 80 cm representan el 3.53%.

Consideraciones generales para la investigación

Antes de realizar el trabajo de campo es imprescindible buscar y analizar información de fuentes secundarias como expedientes técnicos, planos, informes técnicos, y otros documentos del bosque nublado (Llerena *et al.*, 2010). En otras palabras, el primer paso para realizar el estudio de valoración económica, que consiste determinar el tipo de ecosistema, evaluar a profundidad las particularidades físicas y biológicas del área de estudio, verificar los tipos de formaciones vegetales, enumerar especies representativas para aplicar directamente la ecuación alométrica o verificar otras alternativas. Indicar si es área natural protegida por el estado, región o privado.

Luego de la evaluación de información secundaria, se realizar el trabajo de campo para obtener la información primaria, para ello se necesita hacer caminatas con el propósito de identificar in situ la naturaleza del bosque nublado. Luego de realizar una caracterización del área de estudio se procede a establecer parcelas o transectos y evaluar parámetros necesarios siguiendo el protocolo mencionado en los métodos de valoración del ecosistema estudiado (Llerena *et al.*, 2010).

Para estimar la captura de carbono en bosque nublados se utiliza las fórmulas alométricas establecidas por (Chave *et al.*, 2005) para Selva Alta y Zona Hidromórfica citada en la guía “Estimación de carbono aéreo de bosques en el Perú” por la Red Amazónica de Inventarios Forestales (RAINFOR). Además, se puede utilizar ecuaciones alternativas de bosque nublado.

Tabla 7. *Ecuación alométrica para bosques de selva alta o bosque nublado.* Fuente: (Chave *et al.*, 2005).

Tipo de bosque	Ecuación alométrica	Fuente
Bosques de neblina	$\rho * \text{Exp}(-1,239 + 1,980 * \ln(\text{dap}) + 0,207 * \ln(\text{dap})^2 - 0,0281 * \ln^3(\text{dap}))$	(Chave <i>et al.</i> , 2005)
Bosque enano		
Bosque chico		
Bosque nublado		
Alterno	Ecuación alternativo	
Bosque neblina montano	$V = \pi * r^2 * H$ Biomasa (g) = Volumen del árbol (cm ³) * densidad (g/cm ³)	(Ríos, 2012)

Luego de haber asignado la fórmula se calcula la biomasa aérea total de cada estrato y en seguida se convierte la cantidad de carbono en unidad de capacidad por hectárea (t C ha⁻¹) (Phillips, *et al.*, 2011), para ser automatizada con la equivalencia de dióxido de carbono CO₂ y expresar en términos económicos.

Valor del bosque

Los bosques poseen un valor por los servicios ecosistémicos que brinda, no solamente la captura de carbono sino también de otras fuentes. Sin embargo, se desconoce el patrimonio del país. En el mundo existen los mercados voluntarios de carbono, que aplican mecanismos para mitigar los Gases Efecto Invernadero (GEI), donde se canjea el dióxido de carbono equivalente (tCO_{2e}) con capital. El primer mercado es controlado por normativas internacionales determinadas en el protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el segundo es el que no se encuentra reglamentado y suma relaciones productivas y patrones voluntarios (Llerena y Yalle, 2014). Asimismo, existe el procedimiento de negociación de carbono establecido por el sistema de negociaciones de CO₂ europeo, el precio por tCO_{2e} es 20,65 € y los créditos que ofrece entre 7 y 10 \$ los planes de REDD en América Latina (SENDECO2, 2019).

Conclusiones

La valoración de captura de carbono de un bosque nublado es importante para estimar económicamente el impacto ambiental y definir adecuadamente los instrumentos de política y gestión ambiental. Se considera que la captura de carbono varía según la ubicación del bosque nublado, la parte baja deposita 329 t/ha-1 y la parte alta deposita 323 t/ha-1; asimismo, la vertiente occidental almacena el 27.13% y oriental 72.87%; es más, varía por el tipo de ecosistema ya sea pantano, bosque, sábana, varillal, pacal, matorral, pajonal, páramo, bofedal o humedal. El método más adecuado es el método indirecto conocido como no destructivo debido a la composición de este ecosistema donde prima las especies endémicas, y el sistema de negociación de carbono más rentable es el sistema europeo de negociación de carbono (SENDECO2).

Referencias bibliográficas

- Arango, B.E. (2005). Sumideros de carbono en el marco del Protocolo de Kioto. *Premio Colección de Estudios Del Consejo Económico y Social*, 2, 13–21.
- Armenteras, D., Cadena, C.E., y Modeno, R. (2010). *Evaluación del estado de los bosques de niebla y de la meta 2010 en Colombia*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Artetxe, A., Del Hierro, O., Gartzia, N., Pinto, M., y Arias, A. (2014). *Sumideros de carbono de la comunidad autónoma del País Vasco. Capacidad de secuestro y medida para su promoción*. España: Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco.
- Asner, G.P., Knapp, D.E. Martin, R.E. Tupayachi, R. Anderson, C.B. Mascaró, J. Sinca, F. Chadwick, K.D. Sousan, S. Higgins, M. Farfan, W.. Silman, M.R. Llactayo, W.A. y Neyra, A.F. (2014). *The High-Resolution Carbon Geography of Peru*. Carnegie Institution for Science. A Collaborative Report of the Carnegie Airborne Observatory and the Ministry of Environment of Perú.
- Báez-Quiñones, N. (2018). Valoración económica del medio ambiente y su aplicación en el sector ganadero cubano. *Pastos y Forrajes*, 41(3), 161–169.
- Benavides, H.O., y León, G.E. (2007). Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM*, 1(1), 1–102.

- Benjamin, J., y Masera, O. (2001). Captura de Carbono ante el cambio climático. *Maderas y Bosques*, 7(1), 3–12.
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 82–96.
- Bussmann, R.W. (2005). Andean Forests of Southern Ecuador, classification, regeneration and use. *Rev. Peru. Biol.*, 12(2), 203–216.
- Calatrava-requena, J. (1994). Valoración Económica de Recursos Naturales: Consideraciones generales y descripción de métodos basados en la existencia de funciones de demanda. *Institute of Agricultural Research and Training (IFAPA)*, 1(28).
- Carbajal, J., Rodríguez, A. A., Avila, L. P., Rodríguez, A. L., y Hernandez, H. (2017). Captura de carbono por una fachada vegetada. *Acta Universitaria*, 27, 55–61.
- Carbal, A. (2009). La valoración económica de bienes y servicios ambientales como herramienta estratégica para la conservación y uso sostenible de los ecosistemas: Caso Ciénaga La caimanera, Coveñas - Sucre, Colombia. *Criterio Libre*, 7(10), 71–89.
- Cayo, N. E. (2014). Valoración económica ambiental según la disponibilidad a pagar por el turismo rural vivencial en la isla Taquile – Perú, 2013. *Comuni@cción*, 5(2), 25–34.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B. y Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87–99.
- Chou, S.W., y Gutiérrez-Espeleta, E. (2012). Ecuación para estimar la biomasa arbórea en los bosques tropicales de Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 26(2), 41–54.
- Correa, F. (2005). Valoración económica de ecosistemas estratégicos asociados a fuentes hídricas que abastecen acueductos veredales. *Semestre Económico*, 1, 29–48.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], (2017). *Bosques territorios de vida. Estrategia integral de control a la deforestación y gestión de los bosques (EICDGB)*. Colombia: Gobierno de Colombia.
- De la Cruz, M., Valdez, J., Gaxiola, G., Mariano, M., y Espinosa, T. (2014). Flujos de CO₂ océano-atmósfera. *Aspectos Químicos*, (250), 165–180.
- Food Agriculture Organization [FAO], (2010). *La gestión de los bosques ante el cambio climático*. Asociación de Colaboración en materia de Bosques.

- Fernández, J.L. (2013). El Cambio Climático: Sus Causas Y Efectos Medioambientales. *An Real Acad Med Cir Vall*, 50, 71–98.
- Fernández, M. (2017). Revisión de métodos para la estimación de captura de carbono almacenado en bosques naturales. *Universidad Militar Nueva Granada*, 1, 16.
- Ferro-Díaz, J. (2015). Manual revisado de métodos útiles en el muestreo y análisis de la vegetación. *ECOVIDA*, 5(1), 139–186.
- Gentry, A.H. (1995). Patterns of Diversity and Floristic Composition in Neotropical Montane Forest. *The New York Botanical Garden, St. Louis, Missouri*, 1, 103–126.
- González, F., Montes, A.C., Merino De Miguel, S., Cuevas Gozalo, J.M., Gigorro, S.G., y Zamarrón, Y.A.R. (2005). Teledetección y sumideros de Carbono. 121, 117–248.
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F., Hernández-García, M.A., y Sánchez-González, A. (2007). Ecología de las plantas epífitas. *Chapingo*, 9(2), 101–111.
- Granda, P. (2005). Sumideros de carbono en los andes de Ecuatorianos. *Acción Ecológica*, 1, 48.
- Granja, C. (2015). *Comparación de los contenidos de carbono entre la Amazonía y los páramos del Ecuador* (Tesis de pregrado). Pontificia universidad católica del ecuador, Ecuador.
- Honorario, E.N., y Baker, T.B. (2010). *Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos* (Instituto; Universidad de Leeds, Ed.). Lima: Red Amazónica de Inventarios Forestales.
- La Chira, R.R. (2016). *Valoración económica y ambiental mediante el Método de los Precios Hedónicos. El caso del Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo (ACRAMM)*. Universidad Politécnica de Catalunya, Lima, Perú.
- Linares, P. y Romero, C. (2008). *Economía y medio ambiente: herramientas de valoración ambiental* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Llerena, C.A., y Yalle, S.R. (2014). Los servicios ecosistémicos en el Perú. *Xilema*, 27(1), 62–75.
- Llerena, C., Cruz-Burga, Z., Durt, E., Marcelo-Peña, J., Martines, K., y Ocaña, J. (2010). *Gestión ambiental de un ecosistema frágil. Los bosques nublados de San Ignacio, Cajamarca, Cuenca del río Chinchipe*. Lima: Soluciones prácticas.

- López, G.C.A. (2015). *Valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono en el fundo Violeta (Distrito de Tahuamanu - Madre de Dios)* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Macías, F. (2004). Sumideros de carbono para el forzamiento climático antropoceno. Una visión de alternativas de actuación desde la ciencia del suelo. *Edafología*, 11(1), 7–25.
- Málaga, N., Giudice, R., Vargas, C., y Rojas, E. (2014). *Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea en los bosques de Perú*. Lima: Ministerio del Ambiente del Perú.
- Martínez, R.A., Aguirre, O.A., Vargas, B., Jiménez, J., Treviño, E.J., y Yerena, J.I. (2017). Modelación de biomasa y carbono arbóreo aéreo en bosques del estado de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(35), 091–105.
- Martínez, O. y Rechberger, J. (2007). Características de la avifauna en un gradiente altitudinal de un bosque nublado andino en La Paz, Bolivia. *Revista Peruana de Biología*, 14(2), 225–236.
- Martínez, B. y Alejandro, R. (2014). *Modelación de la dinámica del carbono en bosques del estado de Durango* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Meneses, R., y Zamora, N. (2018). Valoración económica del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en la cobertura forestal - Parque Nacional del Huascarán. *Cátedra Villarreal*, 6(1), 67–74.
- Ministerio del Ambiente [MINAM], (2011). *El Perú de los bosques*. Lima: Ministerio del ambiente.
- Ministerio del Ambiente [MINAM], (2017). *Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCBMCC) Banco Interamericano de Desarrollo Programa de Inversiones en Bosques Evaluación Ambiental y Social Estratégica Plan de Gestión*. Lima: Ministerio del ambiente.
- Ministerio del Ambiente [MINAM], (2018). *Definiciones conceptuales de los ecosistemas del Perú*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Muñoz-Pedrerros, A. (2005). Valoración económica de bienes y servicios ambientales : Una herramienta para la gestión ambiental. *Gestión Ambiental*, 10, 10–20.

- Navarro, G. (1997). Contribución a la clasificación ecológica y florística de los bosques de Bolivia. *Revista Boliviana de Ecología*, 2, 3–37.
- Ordóñez, J., Rivera, R., Tapia, M., y Ahedo, L. (2015). Contenido y captura potencial de carbono en la biomasa forestal de San Pedro Jacuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(32), 7–16.
- Ortiz, J., Hernández, L., y Schöngart, J. (2017). Growth and functional traits of tree species of a tropical cloud forest in Southeastern Venezuela. *ACTA BOT. VENEZ*, 40(2), 175–210.
- Phillips, J.F., Duque, A.J., Cabrera, K.R., Yepes, A.P., Navarrete, D.A., García, M.C., Vargas, D.M. (2011). *Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenada en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia*. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Phillips, J.F., Duque, A.J., Yepes, A.P., Cabrera, K.R., García, M., Navarrete, D.A., Cárdenas, D. (2011). *Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia*. Colombia: Climate Change 2013 - The Physical Science Basis.
- Portilla, A.H. (2000). *Valoración económica total del bosque de protección Cordillera Escalera - San Martín*. San Martín: IRG/BIOFOR.
- Pueyo, L. (1991). Satélites geodésicos y de teledetección. España: Gobierno de España.
- Quiñe, P.C. (2009). *Cuantificación de biomasa y reserva de carbón en sistemas agroforestales de café (Coffea arabica L.) en dos pisos altitudinales* (Tesis pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Perú.
- Quintero, Benavides, A.M., Moreno, N., y Gonzales, S. (2017). *Bosques andinos, Estado actual y retos para su conservación en Antioquía*. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Raffo, E. (2015). Valoración económica ambiental: el problema del costo social. *Industrial Data*, 18(1), 108–118.
- Rangel, R.A., Duran, O., Gómez, G., Ferro, H., Barranco, G., Sánchez, M., Vilamajó, D. (2013). Valoración económico-ambiental de recursos naturales seleccionados en la cuenca del río Guanabo, La Habana, Cuba. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 20(302), 45–55.

- Reynel, C. (2012). Flora y fauna del bosque montano nublado puyu sacha. *Asociación Peruana Para La Promoción Del Desarrollo Sostenible APRODES*, 54(1), 383.
- Ríos, A.C. (2012). *Valoración económica de captura de carbono en el (Cerro Chamusquín)* (Tesis pregrado). Universidad técnica particular de Loja, Ecuador.
- Rosales, R. (2008). *Potencial forestal y deforestación en márgenes de la carretera El Castañal-Santa Rosa de Tambopata* (Tesis pregrado). Universidad de Piura, Perú.
- Rugnitz, M.T., Chacón, M.L., y Porro, R. (2009). Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. Rainfor: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/Consortio.
- Ruiz, L.A., Estornell, J., y Erena, M. (2017). Teledetección - Nuevas plataformas y sensores de teledetección Aplicados a la gestión del agua, la agricultura y el medio ambiente. España: Xii Congreso De La Asociación Española De Teledetección (Universida).
- Salazar, E., Gámez, S., González, N., y Siles, P. (2012). Caracterización de la vegetación arbórea y arbustiva con potencial de servicios ambientales al este del lago de Nicaragua. *Nexo*, 25(01), 2–8.
- Salinas, I. (2005). *Estudio taxonómico del orden Scrophulariales (Magnoliopsida) en los Bosques Montanos Húmedos de Carpish (Dpto. Huánuco, Perú)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Sánchez, M., y Rosales, M. (2003). *Agroforestería para la Producción Animal en América Latina - II - Memorias de la Segunda Conferencia Electrónica*. FAO: Agricultura y la alimentación.
- Sandoval, M., Stolpe, N., Zagal, E., Mardones, M., y Junod, J. (2003). The Carbon Sequestration in Agriculture and its Importance in Global Warming. *Theoria*, 12(1), 65–71.
- Sanjurjo, E., y Welsh, S. (2005). Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. *Gaceta Ecológica*, 1(74), 55–68.
- Seppänen, P. (2003). Costo de la captura de carbono en plantaciones de eucalipto en el trópico. *Foresta Veracruzana*, 5(1), 1–6.
- Servicio Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR], (2017). Datos oficiales de bosques y pérdida de la cobertura de bosques húmedos amazónicos - 2016. Lima: Ministerio del ambiente.

- Silva, S.M., y Correa, F. (2010). Valoración económica del suelo y gestión ambiental: aplicación en empresas floricultoras colombianas. *Revista de La Facultad de Ciencias Económicas de La Universidad Militar Nueva Granada*, 18(1), 247–267.
- Vargas-Mena, A., y Yáñez, A. (2004). La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*, 1(70), 5–18.
- Yepes, A.P., Navarrete, D.A., Duque, A.J., Phillips, J.F., Cabrera, K.R., Álvarez, E., Ordoñez, M. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-Carbono en Colombia*. Medellín: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM.