

22

VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO AMBIENTAL DE SECUESTRO DE CARBONO PARA GARANTIZAR LA SOSTENIBILIDAD DEL BOSQUE BUENAVENTURA, ECUADOR

ECONOMIC VALUATION OF THE ENVIRONMENTAL SERVICE OF CARBON SEQUESTRATION TO GUARANTEE THE SUSTAINABILITY OF THE BUENAVENTURA FOREST, ECUADOR

Wunster Favián Maza Valle¹

E-mail: wmaza@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8940-1083>

Irán Rodríguez Delgado¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6453-2108>

¹ Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Maza Valle, W. F., & Rodríguez Delgado, I. (2019). Valoración económica del servicio ambiental de secuestro de carbono para garantizar la sostenibilidad del bosque Buenaventura, Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(1), 154-161. Recuperado de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo valorar económicamente el servicio ambiental del secuestro de carbono. Para el cálculo de biomasa aérea de los árboles vivos, se utilizaron ecuaciones de Factor de Expansión de Volumen y el Factor de Expansión de Biomasa, considerando la biomasa comercial sin tomar en cuenta la totalidad del árbol (ramas, follaje). El cálculo de biomasa de árboles vivos, muertos, troncos caídos y hojarasca fue de 158 t ha⁻¹. Las toneladas de carbono registran un promedio de 76,15 t C ha⁻¹. Para las estimaciones del CO₂, debe multiplicarse el total del carbono por el factor 3,667. La humedad de la maleza y hojarasca varían de acuerdo a la estación, en la presente investigación la humedad de estos componentes fue del 63,78% (las muestras se obtuvieron en los meses de febrero a abril, periodo de mayor presencia de lluvias en la zona). El Bosque Buenaventura cuenta con una biomasa total de 352 331,36 Ton, y un secuestro de CO₂ de 607 239,54 Ton., estimando un valor promedio de \$3 dólares americanos la tonelada (escenario pesimista) se obtendría un valor de \$ 1 821 718,63, a \$10 la tonelada (escenario moderado) el valor ascendería a 6 072 395,42 y a \$20 dólares (escenario optimista), se podría alcanzar los \$12 144 790,84 dólares.

Palabras clave:

Biodiversidad, diversidad eco sistémica, funciones eco sistémicas, bienes ambientales, servicios ambientales, impactos ambientales.

ABSTRACT

The objective of this research was to economically assess the environmental service of carbon sequestration. For the calculation of aerial biomass of the living trees, we use volume expansion factor equations and biomass expansion factor, considering the commercial biomass without taking into account the whole tree (branches, foliage). The calculation of biomass of live, dead trees, fallen trunks and leaf litter was 158 t ha⁻¹. Tons of carbon records an average of 76,15 TC ha⁻¹. For CO₂ estimates, the total carbon must be multiplied by factor 3,667. The humidity of the weeds and leaves vary according to the season, in the present investigation the humidity of these components was of 63,78% (the samples were obtained in the months of February to April, period of greater presence of rainfalls in the zone). The Buenaventura forest has a total biomass of 352 331,36 ton, and a CO₂ sequestration of 607,239.54 Tn., estimating an average value of \$3 US dollars a ton (pessimistic scenario) would obtain a value of \$1 821 718,63, to \$10 ton (moderate scenario) the value would amount to 6 072 395,42 and \$20 dollars (optimistic scenario), we could reach \$12 144 790,84 dollars.

Keywords:

Biodiversity, ecosystem eco-diversity, systemic eco-functions, environmental goods, environmental services, environmental impacts.

INTRODUCCIÓN

El bosque Buenaventura del cantón Piñas, instituida por la fundación JOCOTOCO en 1999, de fácil acceso, protege una angosta zona de bosque nublado y otra zona de laderas secas al oeste de los Andes en el sur de Ecuador.

Los bosques, proporcionan servicios ambientales como el secuestro de carbono, el mismo que es producido por la utilización de combustibles fósiles y otras actividades antropogénicas.

El secuestro, captura y almacenamiento (CCS) de CO₂, es una propuesta que busca disminuir las emisiones de carbono hacia la atmósfera.

La valoración económica de los servicios ambientales que prestan los bosques es una alternativa para la conservación de reservas forestales, siempre y cuando se pueda realizar su identificación, cuantificación física y monetaria de los beneficios y costos que producen los recursos naturales.

De Groot, Wilson & Roelof (2002), definen las funciones ecosistémicas como “la capacidad de los procesos y componentes naturales para proveer bienes y servicios que logren satisfacer las necesidades humanas directa o indirectamente”.

El secuestro, captura y almacenamiento (CCS) de CO₂, es una propuesta relativamente nueva. Se reporta que el primer caso comercial es el de Weyburn en 2000; y el de la planta piloto de producción de energía con CCS integrada, que funciona desde septiembre del 2008 en la central térmica de Schwarze Pumpe de Vattenfall, en Alemania.

Aunque la biodiversidad es una fuente de recursos para el desarrollo de la economía, no existe una identificación precisa de los bienes y servicios que provienen del ecosistema.

Finalmente, a partir de la cumbre de Rio de Janeiro se han realizado muchos estudios relacionados con el manejo sustentable. Uno de estos se relaciona con la valoración económica de los servicios ambientales y la generación de mercados para los mismos. El mercado de servicios ambientales ofrecidos por los bosques está creciendo rápidamente, en muchos casos fomentado por políticas nacionales y regionales, en otros por convenios y tratados internacionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El bosque Buenaventura cuenta con una extensión de 2174,456 ha. Para determinar la valoración económica de secuestro de carbono se seleccionó al azar 12 parcelas de 500 m² y 60 subparcelas de 4m². La biomasa arriba

del suelo se determinó a través de la medición de los árboles vivos, muertos en pie, los troncos caídos, maleza y hojarasca.

Análisis e interpretación de la información.

Chambi (2001), indica que la biomasa por encima del suelo está compuesta por los árboles, la hojarasca y vegetación arbustiva; también materia vegetal muerta, que se refiere a los árboles muertos en pie y troncos caídos, los mismos que se miden en las parcelas correspondientes.

Inventario de tallos leñosos (Chambi, 2001)

- En cada parcela se midió la circunferencia de cada árbol a 1.30 m de altura y se registró en la libreta de campo.
- Luego se determinó la altura de los árboles con el clinómetro y se registró en la libreta de campo.
- En gabinete se determinaron los diámetros haciendo uso de la fórmula siguiente:

$$DAP = C/3.1416$$

C: Circunferencia

- Área Basal: $AB = 0.7854 \cdot D^2$

AB: Área Basal

0.7854: Coeficiente

D²: Diámetro al cuadrado

- Volumen: $V = 0.7854 \cdot D^2 \cdot L$

V: Volumen

D²: Diámetro al cuadrado

L: Longitud

Cálculos desarrollados para la obtención de resultados de evaluación de biomasa

A. Biomasa árboles vivos o aérea

Factor de Expansión de Volumen (FEV) (Alpizar, 1997, citado por Chambi, 2001)

Dado que se utilizan datos de volumen comercial, se desprecia el volumen no comercial. Para tal efecto, se recurre al Factor de Expansión de Volumen (FEV) para realizar tal corrección. Dicho ajuste se hace dependiendo de sí el volumen reportado es \geq o $<$ a 250 m³/ha.

$$FEV = e^{[1.3 - 0.209 \cdot \ln(Vol)]} \quad Si \quad V < 250 m^3 / ha$$
$$FEV = 1.13 \quad Si \quad V \geq 250 m^3 / ha$$

B. Factor de Expansión de Biomasa (FEB) (Alpizar, 1997, citado por Chambi, 2001).

Al utilizarse los mismos datos de biomasa comercial, se requiere utilizar un Factor de Expansión de Biomasa (FEB), el cual depende de si la biomasa reportada es ≥ 0 o < 190 t/ha.

$$FEB = e^{(3.213 - 0.506 \cdot \ln(\text{biomasa}))} \text{ Si } < 190 \text{ t/ha}$$

$$FEB = 1.75 \text{ Si } \geq 190 \text{ t/ha}$$

Para el cálculo de biomasa aérea de los árboles vivos, se utilizó la ecuación de Brown, Gillespie, & Lugo (1989).

$$BA = \{ \exp[-2.409 + 0.952 \cdot \ln(Dm \cdot DAP^2 \cdot He)] \}$$

BA= Kg/Árbol

Dm= Densidad de la madera(0.601)(gr/cm³)

DAP= Diámetro altura de pecho (cm)

Ln= Logaritmo natural

He= Altura estimada (m)

C. Árboles muertos en pie y troncos caídos.

Para los árboles muertos en pie se utilizó la ecuación de biomasa del Instituto Boliviano de Investigación Forestal (IBIF) considerando el 65% de la biomasa como factor de forma para árboles latifoliados.

$$BM = (0,7854 \cdot DAP^2 \cdot H) \cdot Dm$$

BM=Biomasa de los árboles muertos en pie o troncos caídos (Mg)

Dm= Densidad de la madera (0.601)(gr/cm³)

DAP= Diámetro de fuste (m)

H= Altura total (m)

0.7854= $\pi/4$

0.65= Factor de forma

D. Biomasa de la hojarasca.

Para el cálculo de la biomasa de la hojarasca se obtiene el contenido de humedad en porcentaje, utilizando la ecuación de Schlegel, Gayoso & Guerra (2001).

$$Ch = \frac{Phs - Pss}{Pss} \cdot 100$$

Ch=Contenido de humedad de la submuestra en porcentaje (%)

Phs=Peso húmedo submuestra,valor obtenido en el campo (Kg)

Pss=Peso submuestra,valor obtenido luego del secado (Kg)

100=Constante para transformar en porcentaje

Luego se calcula la proporción de la biomasa de la hojarasca:

$$Bh = \frac{Psm}{Pfm} \cdot Pft$$

Bh= Biomasa de la hojarasca

Psm= Peso seco de la muestra colectada (Kg)

Pfm= Peso fresco (húmedo) de la muestra colectada (Kg)

Pft= Peso fresco total de la parcela (Kg)

E. Determinación de CO₂ fijado.

La biomasa de cada componente se multiplica por el factor de 0.47, según las recomendaciones del Intergovernmental Panel on Climate Change (2006).

$$CBT = Bt \cdot 0,47$$

CBT= Biomasa total de carbono

Bt= Biomasa total

0.47= Constante

Luego se utiliza la siguiente ecuación para determinar CO₂ fijado:

$$CO_2 = Kr \cdot CBT$$

$$Kr = \left(\frac{44}{12} \right)$$

44= corresponde el peso molecular del oxígeno (16x2)+peso molecular de carbono (12)

12= Peso molecular del carbono

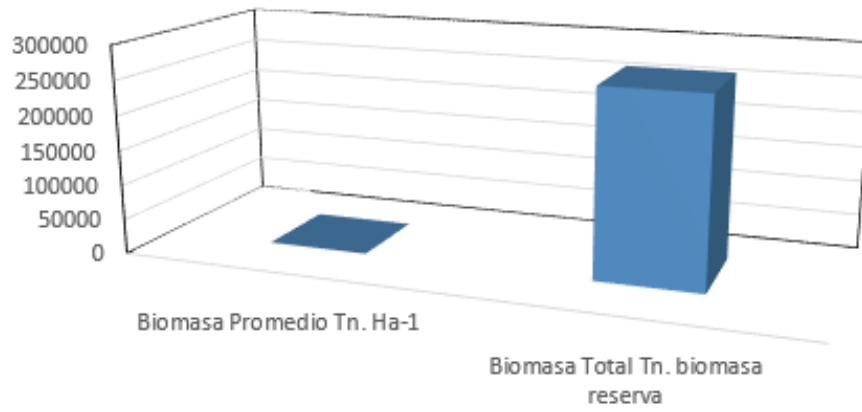
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación, con la metodología propuesta, son lo que se presentan a continuación:

La figura 1 representa la cantidad de biomasa promedio de los árboles vivos que es de 122,44 t. ha⁻¹, pero considerando que la reserva tiene una extensión de 2 174,456 ha. Indica que la biomasa total de la reserva en los árboles vivos es de 266 229,96 t.

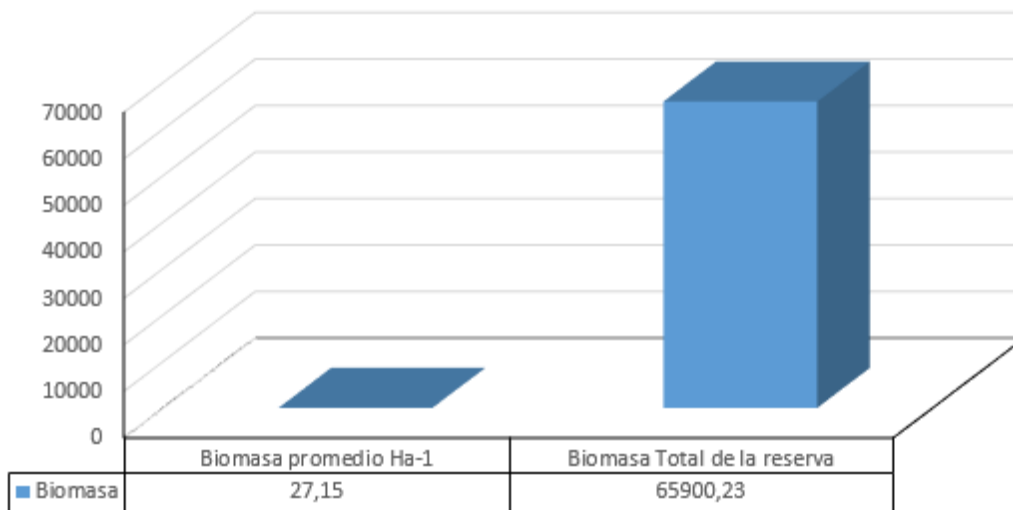
La figura 2 muestra la biomasa promedio de los árboles muertos pero que aún se mantienen en pie, con un promedio de 27,15 t ha⁻¹, si este valor se extrapola para el área total de la reserva, la biomasa alcanzaría 65 900,23 t.

En la figura 3 se observa que la biomasa promedio de los



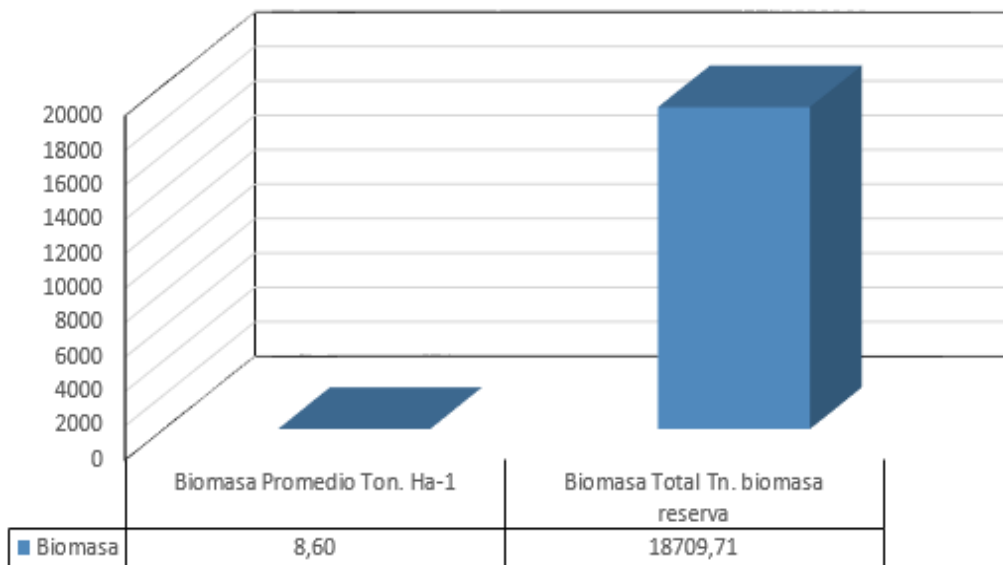
	Biomasa Promedio Tn. Ha-1	Biomasa Total Tn. biomasa reserva
■ Biomasa	122,44	266229,96

Figura 1. Biomasa promedio y total de la reserva de árboles vivos.



	Biomasa promedio Ha-1	Biomasa Total de la reserva
■ Biomasa	27,15	65900,23

Figura 2. Biomasa promedio y total de la reserva de árboles muertos en pie.



	Biomasa Promedio Ton. Ha-1	Biomasa Total Tn. biomasa reserva
■ Biomasa	8,60	18709,71

Figura 3. Biomasa promedio y total de la reserva de troncos caídos.

troncos caídos es de 8,60 ton ha⁻¹ y en toda la extensión de la reserva esta suma 18 709,71 ton., de biomasa de los troncos caídos.

En la figura 4, se evidencian los datos del peso fresco y seco de la maleza y hojarasca por parcela, con la que luego, aplicando la fórmula, se calculará la proporción

de la biomasa de la maleza y hojarasca. La figura 5 muestra los datos de la biomasa promedio de la maleza y hojarasca que asciende a 0,69 t. ha⁻¹ y que al considerar el área total de la reserva esta llega a 1 491,46 t.

La figura 6 representa el resumen de las cuatro fuentes de biomasa con sus respectivos promedios de biomasa

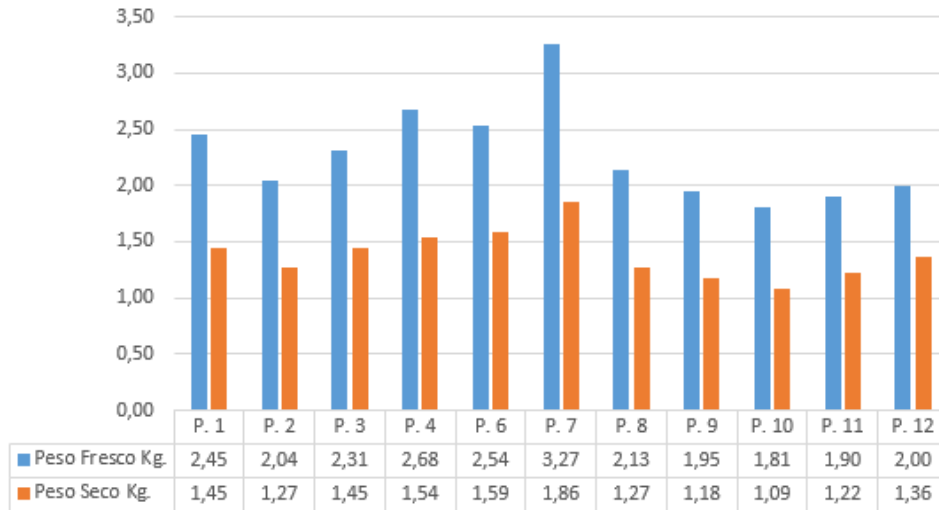


Figura 4. Peso fresco de la maleza y hojarasca Biomasa promedio y total de la reserva de troncos caídos.

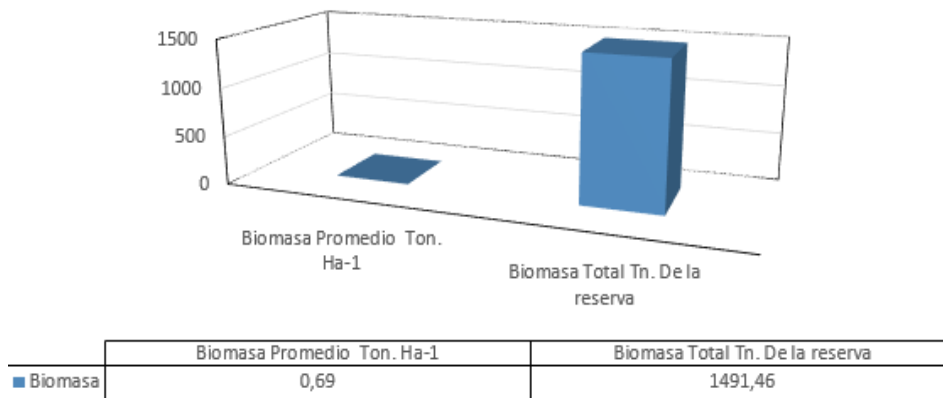


Figura 5. Biomasa promedio y total de la reserva de la maleza y hojarasca.

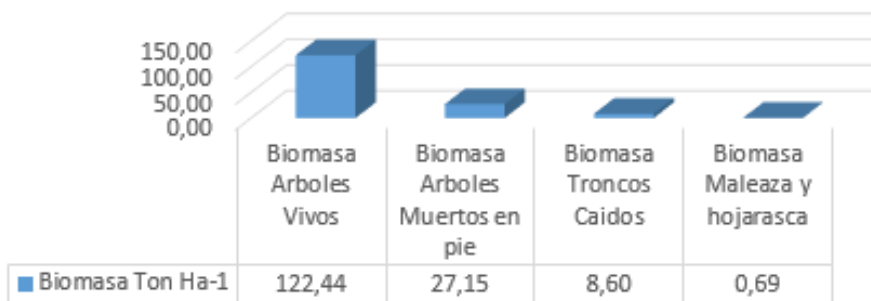


Figura 6. Biomasa promedio de árboles vivos, muertos en pie, troncos caídos, maleza y hojarasca.

toneladas por ha⁻¹, de árboles vivos, muertos en pie, troncos caídos, maleza y hojarasca.

Considerando que la reserva tiene una extensión de 2 174,456 ha y teniendo los promedios por ha de las distintas fuentes de biomasa, los promedios obtenidos de biomasa fueron extrapolados a la totalidad de la reserva y al ser sumados cada una de las fuentes se obtuvo la cantidad de 352 331,36 toneladas, como se puede observar en la figura 7.

En la figura 8, se puede observar la biomasa de todos los componentes que ascendió a 352 331,36 se multiplica por el factor de 0,47 dando como resultado el dato de carbono primario, que en este caso fue de un total de 165 595,74 toneladas, luego para determinar el CO₂ fijado se multiplica el valor de carbón primario por el peso molecular del CO₂, obteniéndose las 607 239,54 toneladas de dióxido de carbono.

La figura 9 representa finalmente la valoración de los bonos de carbono con tres posibles escenarios de venta a 3, 10 y 20 dólares americanos, considerando

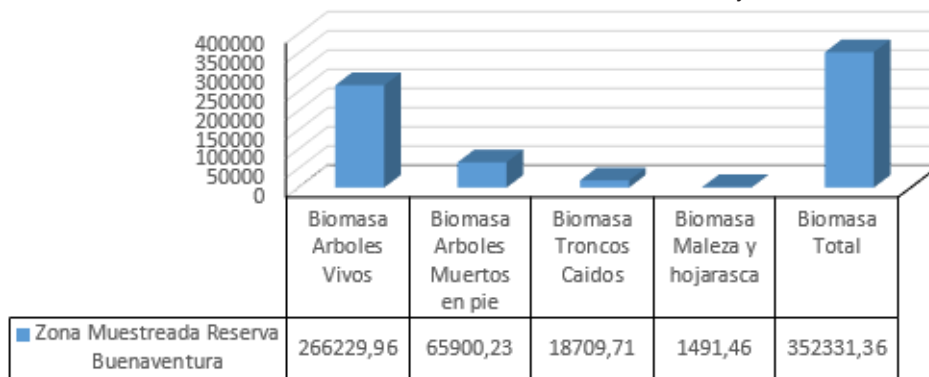


Figura 7. Biomasa total de árboles vivos, muertos en pie, troncos caídos, maleza y hojarasca.

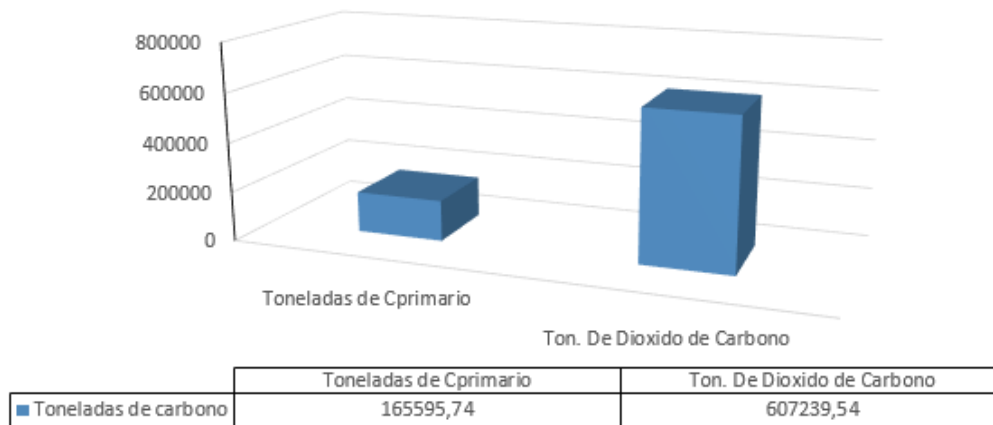


Figura 8. Toneladas de carbono primario y dióxido de carbono fijado.

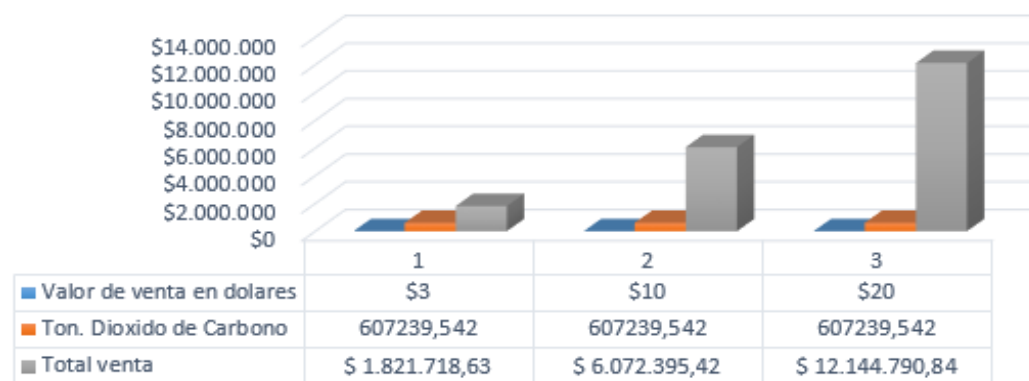


Figura 9. Valor probable obtenido por la venta de carbono.

las toneladas de dióxido de carbono que en la presente investigación fue de 607 239, 542.

Para el cálculo de biomasa aérea de los árboles vivos, se utilizó las ecuaciones de Factor de Expansión de Volumen y el Factor de Expansión de Biomasa y luego la ecuación de Brown, et al., (1989), planteada también por Alpizar (1997), citado por Chambi (2001), utilizando los mismos datos de biomasa comercial. Usando el Factor de Expansión de Biomasa (FEB), el cual depende de si la biomasa reportada es $FEB=1.75$ si la biomasa es \geq a 190 t/ha o $FEB=e^{(3.213-0.506*\ln(\text{biomasa}))}$ si la biomasa es $<$ a 190 t/ha.

El contenido de carbono de la biomasa aérea comercial del bosque Buenaventura es del 43,8%, resultado que se encuentra dentro del rango de 40 a 60% de contenido de carbono en la materia orgánica, citado por otros autores.

En el cálculo de la biomasa se utilizó el valor promedio el 0,601 g/cm enunciada por Álvarez, Benítez, Velásquez & Cogollo (2013), que concuerda con la media aritmética para las especies tropicales por regiones y para América Latina que es de una media de 0,60 y un rango común 0,50-0,69 (Brown, 1997).

La biomasa arriba del suelo de árboles vivos, muertos en pie, troncos caídos, maleza y hojarasca es de 158 t ha⁻¹ que están dentro de los promedios enunciados por Brown, et al. (1997), se estima que la biomasa arriba del suelo de los bosques primarios y secundarios varía entre 60 y 230 t ha⁻¹ y entre 25 y 190 t ha⁻¹, respectivamente.

El promedio de toneladas de carbono fue de 76,15 tC ha⁻¹, este es superior a los 68,44 tC ha⁻¹ año⁻¹, que se encontró en el bosque de Lamería y a las 68 tC ha⁻¹ que se obtuvieron en un bosque abierto (Carranza, Aylward, Echeverría, Tosí & Mejías, 1996); de la misma forma, Pearce, Putz & Vanclay (2003), manifiestan que el almacenamiento de carbono de un bosque tropical deciduo en México es de 67,5 tC ha⁻¹.

El contenido de humedad de la maleza y hojarasca fue del 63,78%, quizás porque las muestras se obtuvieron en los meses de febrero a abril, periodo de mayor presencia de lluvias en la zona. Guerrero (1996), en un estudio realizado en Colombia, encontró un contenido de humedad del 54,68% indicando que podría ser a la alta precipitación ya que se realizó en épocas de lluvia (marzo y abril).

El carbón fijado se obtiene multiplicando la biomasa total por el factor 0,47 y el resultado es el carbón primario, este factor está establecido por el Intergovernmental Panel on Climate Change (2006). Factor considerado también, como un valor estándar en el I Simposio internacional de medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales en Chile, 2001. Para

las estimaciones del CO₂, debe multiplicarse el total del carbono por el factor 3,667, según recomendaciones del Intergovernmental Panel on Climate Change (2006).

La valoración económica de los servicios ambientales que prestan los bosques tienen pocas experiencias. Por ejemplo, en el caso de Costa Rica, este país ha negociado con el gobierno de Noruega, un precio de US\$10 por tonelada de carbono almacenada por un periodo de 20 años (Ramírez, Finnegan, Rodríguez & Ortiz, 1994).

El Banco Mundial, estima la valoración económica del secuestro de carbono en una hectárea del bosque amazónico no intervenido en un rango de \$ 374 a \$ 1625, mientras que los precios de la tierra varían entre \$ 20 y \$ 300 ha⁻¹.

CONCLUSIONES

El Bosque Buenaventura cuenta con una extensión de 2 174,456 ha, encontrándose especies forestales con amplia capacidad de adaptación como: *Morus alba*, *Triplaris cumingiana*, *Inga feuilleei*, *Ficus citrifolia*, *Gunnera L.*, *E. Mora*, *Melicoccus bijugatus*, *Tilia platyphyllos*, *Luehea divaricata*, *Cecropia peltata L.*, *Miconia thaezans*, *Krugiodendrum ferreum*, *Juglans jamaicensis* y *Ficus jacobii*.

La biomasa promedio de los árboles vivos es de 122,44 ton Ha⁻¹, la de árboles muertos de 27,15 ton Ha⁻¹, la de troncos caídos de 8,60 ton Ha⁻¹ y la de la maleza y hojarasca de 0,69 ton Ha⁻¹, lo que representa un promedio de 39,72 ton Ha⁻¹.

El contenido de carbono de la biomasa aérea total del bosque Buenaventura es del 43,8%.

La biomasa total de 352 331,36 Ton, y un secuestro de carbono de 607 239,54 Tn de C., obteniéndose una valoración por tonelada de secuestro de dióxido de carbono a \$3 (\$ 1 821 718,63), \$10 (\$ 6 072 395,42) y a \$20 (\$12 144 790,84) dólares americanos respectivamente.

La cuantificación y valoración económica del servicio ambiental de secuestro de carbono, con la metodología utilizada en el presente trabajo, tiene validez para realizar estudios de secuestro de carbono en bosques.

De lo anteriormente expuesto, se concluye que el servicio ambiental del secuestro de carbono, es una oportunidad de ingreso económico que ayudará a la sostenibilidad del bosque Buenaventura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, E., Benítez, D., Velásquez, C., & Cogollo, A. (2013). Stem Basic density of dry forests trees in the Colombian Caribbean coast. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/272823581_Stem_basic_density_of_dry_forests_trees_in_the_Colombian_Caribbean_coast
- Brown, S., (1997). Estimating biomass and biomass changes of tropical forests: A primer. Estudio Roma: FAO.
- Brown, S., Gillespie, A., & Lugo, A. (1989). Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35(4), 881-902. Recuperado de <https://academic.oup.com/forest-science/article-abstract/35/4/881/4642515?redirectedFrom=PDF>
- Carranza, C, Aylward, B, Echeverría, J, Tosí, J., & Mejías, R. (1996). Valoración de los Servicios Ambientales de los Bosques de Costa Rica. San José: Centro Científico Tropical.
- Chambi, P. (2001). Valoración económica de secuestro de carbono mediante simulación aplicado a la zona boscosa del Rio Inambari y Madre de Dios. Bogotá: Instituto de Investigación y Capacitación para el Fomento de Oportunidades Económicas con Base en la Conservación.
- De Groot, R., Wilson, M., & Roelof, M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408.
- Guerrero, E. (1996). Micorrizas, recurso biológico del suelo. Bogotá: Fondo FEN de Colombia.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1998). Terms and Definitions. Forest Resources Assessment Programme, Working Paper 1. Roma: FAO.
- Pearce, D., Putz, F., & Vanclay, J. (2003). Sustainable Forestry in the Tropics: ¿panacea or folly? *Forrest Ecology and Management*, 172 (2-3), 229-247. Recuperado de https://epubs.scu.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1043&context=esm_pubs
- Ramírez, O., Finnegan, B., Rodríguez, L., & Ortiz, R. (1994). Evaluación económica del servicio ambiental de almacenamiento de carbono: El caso de un bosque húmedo tropical bajo diferentes estrategias del Manejo Sostenible. En análisis económico de impactos ambientales. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Schlegel, B., Gayoso, J., & Guerra., J. (2001). Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia: Universidad Austral de Chile.