

Estimación del valor económico de la captura de dióxido de carbono (CO₂) en fincas de cacao en la UNOCACE

Estimating the economic value of carbon dioxide (CO₂) capture on cocoa farms at UNOCACE



Yordi Arriaga Bustamante¹

yordi.arriagabus@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0003-0214-370X>

Sergio Pino Peralta²

sergio.pinop@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9254-1597>

Recibido: 15/09/2023; Aceptado: 7/12/2023

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo valorar económicamente las remociones de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, realizadas por los árboles de cacao de la Asociación "El Deseo", de la Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras (UNOCACE), en una superficie de 118 ha; aplicando una metodología de tipo descriptiva. Los datos fueron tomados mediante un muestreo aleatorio simple. Las variables obtenidas fueron: biomasa viva, biomasa muerta, carbono total y CO₂ capturado, siendo esta última la de mayor significancia para estimar la valoración económica. Para los datos biométricos, se utilizaron ecuaciones alométricas. Los resultados muestran que la cantidad de reservas de carbono son de 10.104,49 ton en la biomasa aérea, 2.112,2 ton en la biomasa muerta. El flujo de fijación de carbono es de 339,35 ton al año. Estos valores determinan un beneficio anual estimado de USD 12.444,28 en el mercado voluntario de carbono, y de USD 25.708,66 con el mejor comprador del mercado regulado.

Palabras clave: Valoración económica, Cacao, CO₂ capturado, Mercado de carbono.

ABSTRACT

The objective of this research was to economically value the CO₂ removals in the atmosphere, carried out by the cocoa trees of the Association "El Deseo", of the UNOCACE, which has an area of 118 ha; for which a descriptive methodology was applied. The data collection was based on a simple random sampling, selecting 5 specimens. The variables obtained were live biomass, dead biomass, total carbon, and CO₂ captured, the latter being the most significant for estimating the economic valuation. Allometric equations were used for the biometric

¹ Economista, Universidad de Guayaquil, Ecuador

² Ph.D. Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Tumbes, Perú. Economista, Universidad de Guayaquil, Ecuador.

data. The results show that the amount of carbon stocks are 10104.49 tons in aboveground biomass, 2112.2 tons in dead biomass. The carbon fixation flux is 339.35 tons per year. These values determine an estimated annual benefit of USD 12,444.28 in the voluntary carbon market, and USD 25708.66 with the best buyer in the regulated market.

Keywords: Economic valuation, Cocoa, CO₂ captured, Carbon market.

Introducción

El dióxido de carbono (CO₂) es el principal gas de efecto invernadero emitido por la actividad humana. En los últimos 150 años, esta forma de explotación de los recursos naturales ha contribuido de manera significativa al aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera terrestre. En la actualidad, cerca del 20% de la difusión de dióxido de carbono se debe a la destrucción y degeneración del medio ambiente (Ramírez, Panduro, & Miranda, 2014).

A medida que se deteriora el medio ambiente, la opinión pública busca formas de revertir estos declives, teniendo en consideración los retos económicos y sociales también, de cada comunidad. Los programas de captura de carbono son instrumentos con un enorme potencial para contribuir a la transición hacia el desarrollo sustentable.

En los últimos años, el uso insostenible de los recursos naturales ha aumentado la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre, y aquí es donde entran las plantaciones de cacao, porque son los árboles quienes atrapan CO₂ y juegan un papel clave en el medio ambiente. En otras palabras, las plantaciones de cacao (de las que hay muchas en el país al ser Ecuador exportador exclusivo de esta materia prima) tienen un impacto importante en el flujo mundial de carbono y pueden utilizarse en los mercados de carbono, lo que no sólo reduciría la contaminación, sino que también contribuiría positivamente a los ingresos económicos del país.

Este trabajo se realizó con el objetivo de estimar, a través de ecuaciones alométricas, el contenido total de la biomasa y el carbono acumulado en las plantaciones de la Asociación 'El Deseo' de la Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras (UNOCACE), a fin de evaluar ese dato en los mercados de carbono y determinar el aporte económico que generaría para el país.

Método

El presente estudio se llevó a cabo en la Asociación “El Deseo”, de la UNOCACE; la cual está ubicada en el Km. 30 de la autopista Durán-Bolicho-Milagro, de la provincia del Guayas. El diseño de esta investigación es no experimental, pues, no se manipularon variables para producir resultados, más bien, la recolección de datos sobre los árboles de cacao se llevó a cabo gracias a una investigación de campo. Básicamente, se midió parámetros biométricos y, a partir de ellos, se logró determinar la biomasa total y carbono almacenado en el territorio.

Población y muestra

Para conocer el total aproximado de árboles de cacao sembrados por la Asociación ‘El Deseo’, se llevó a cabo una entrevista directamente en las oficinas de UNOCACE. Según (Cabello, 2023), ‘El Deseo’ consta de 48 miembros, que suman un total de 118 ha. de cacao sembrado.

Para el desarrollo de las ecuaciones siguientes, que son las que ayudarán a calcular la captura de CO₂ que estas plantaciones hacen, se determinó un total de cinco (5) ejemplares seleccionados mediante un muestreo aleatorio simple.

Parámetros estudiados

- Fijación de carbono en el suelo
- Carbono presente en la biomasa aérea
- Carbono presente en la biomasa muerta
- Flujo anual de carbono

Carbono almacenado en la biomasa

Biomasa aérea

Para hallar la biomasa total aérea se utilizó el siguiente método: la medición del diámetro del tallo; para el caso de estudio de este proyecto, la especie *Theobroma cacao* L., el diámetro

se midió a 30 cm del suelo. Una vez realizado esto, se calculó la biomasa aérea total utilizando la fórmula propuesta en la investigación de (Ramírez, Panduro, & Miranda, 2014):

$$\text{Biomasa aérea total para el cacao: } B = 10^{-1,625+2.63 \times \log(d_{30})}$$

Donde:

B = biomasa aérea total (kg árbol⁻¹)

D₃₀ = diámetro a 30 cm del suelo

Biomasa muerta

En el caso de la biomasa muerta, se empleó la metodología de ICRAF (2009), donde se usó un marco cuadrado de 0,25 m² (50 cm x 50 cm); el mismo proceso empleado por (Ramírez, Panduro, & Miranda, 2014).

El proceso se llevó a cabo recolectando todo el material dentro del marco; se tomó una submuestra de 200 g que se guardó en una bolsa de papel, y luego el material se transportó a un horno, donde se secó a 60 °C hasta alcanzar un peso constante.

Para hallar el valor de la materia seca se empleó la fórmula siguiente:

$$MS(bm) = \left(\frac{PS \text{ submuestra}}{PF \text{ submuestra}} \right) * PFT$$

Donde:

MS (bm) = Materia seca de la biomasa muerta (kg)

PS submuestra = Peso seco de la submuestra

PF submuestra = Peso fresco de la submuestra

PFT = Peso fresco total

Biomasa total

Se calculó la biomasa total mediante la siguiente fórmula:

$$BS \text{ total} = BS \text{ aérea total} + MS \text{ muerta total}$$

Arriaga, Pino.

Cantidad de carbono en la biomasa

Para calcular la cantidad de carbono almacenada en un ejemplar de *Theobroma cacao*, se hizo uso de una fórmula previamente empleada en trabajos investigativos, como es el caso de la investigación de (Ramírez, Panduro, & Miranda, 2014). La fórmula es la siguiente:

$$CT = Bt * Fc$$

Donde:

CT: Carbono total (medido en toneladas, t)

Bt: Biomasa total aérea

Fc: Fracción de carbono en biomasa (0,5)

Según (Quiceno, Tangarife, & Álvarez), se multiplica la biomasa total con el factor 0,5, pues, esto es el 50% de la biomasa vegetal.

Fijación anual de carbono

Para el cálculo de la fijación anual de carbono, se procedió a dividir el carbono almacenado en la biomasa versus la edad de la plantación del cultivo de *Theobroma cacao* L. de la Asociación 'El Deseo'. La fórmula fue la siguiente:

$$FAC = \frac{CAB}{E}$$

Donde:

FAC = Fijación anual de carbono (ton C/ha/año)

CAB = Carbono almacenado en la biomasa (ton C/año)

E = Edad de la plantación (años)

Cálculo del dióxido de carbono capturado

Al momento de estimar cuánto dióxido de carbono (CO₂) captura un árbol de cacao, se empleó la siguiente fórmula, que fue usada también por otros autores como (Morales & Vásquez), (Sosa) y (Cabudivo):

$$CO_2 = FAC * 3,6663$$

En donde:

CO₂: Carbono capturado en (ton C/ha/año)

FAC: Fijación anual de carbono (ton C/ha/año)

3,6663: factor de conversión a dióxido de carbono. Este valor es resultado de la división entre los pesos moleculares del carbono y dióxido de carbono:

Peso del CO₂: 43, 999915

Peso atómico del carbono: 12,001115

$$\frac{43,999915}{12,001115} = 3,6663$$

Cálculo del valor económico del dióxido de carbono capturado

Para calcular el valor económico del dióxido de carbono capturado por los árboles de cacao de la Asociación 'El Deseo', de la UNOCACE, se realizó una sencilla multiplicación entre la cantidad de CO₂ capturado y el precio del mercado elegido. La misma fórmula fue empleada por (Sosa) y (Hernández & Vargas).

$$V_e = CO_2 * Precio\ del\ mercado$$

Donde:

V_e: valoración económica del carbono (en dólares americanos)

CO₂: dióxido de carbono capturado (en toneladas, t)

Escenarios en que se obtendrían beneficios por carbono

Escenario 1: mercado de carbono voluntario

Arriaga, Pino.

Estimación del valor económico de la captura de dióxido de carbono (CO₂) en fincas de cacao en la UNOCACE

Para estimar el valor económico de la captura de carbono por las especies muestreadas, se utilizó, en primer lugar, un escenario de mercado voluntario de carbono. Aquí se determinó el valor monetario de los pagos de estas organizaciones voluntarias, en particular Carbonfund, ya que esta organización gestiona proyectos de protección del clima, compensación de carbono, reducción de GEI y reforestación, a individuos, empresas y organizaciones, con normas y directrices muy estrictas en este sector (Morales & Vásquez).

En la **Error! Reference source not found.** se detalla el precio por tonelada métrica de carbono que paga Carbonfund.

Tabla 1. Escenario 1: Mercado voluntario.

Entidad	País de origen	Precio de 1t de CO ₂
Carbonfund	East Aurora, Nueva York, Estados Unidos	10,00 USD

Fuente: Tomado de (Morales & Vásquez).

Escenario 2: mercado de carbono regulado

Para el cálculo monetario del secuestro de carbono por parte de las especies estudiadas, se optó también por el segundo escenario, es decir, el mercado regulado o mercado de cumplimiento. Este tipo de mercado es el utilizado por las empresas o incluso el gobierno, que están obligados por ley a rendir cuentas sobre sus emisiones de GEI y que están normados por programas de disminución de emisiones de carbono. La **Error! Reference source not found.** muestra el valor monetario por el pago de entidades que pertenecen al mercado de cumplimiento (Morales & Vásquez).

Tabla 2. Escenario 2: Mercado regulado

Entidad	País de origen	Precio de 1t de CO ₂
SENDECO2	España	17,06 USD
California Air Resources Board	Estados Unidos	14,61 USD
Tanjiaoyi News	China	07,50 USD

Service		
European Energy Exchange	UE	17,30 USD
Korea Exchange	Corea del Sur	20,66 USD
OMF CommTrade	Nueva Zelanda	15,58 USD
Ontario Ministry of the Environment and Climate Change	Canadá	14,60 USD
RGGI, Inc. Schweizer Emissionshan delsregiste	Suiza	08,25 USD

Fuente: Tomado de: (Morales & Vásquez)

Resultados y discusión

Diámetro de circunferencia (a 30 cm del suelo)

Se muestran los resultados de las mediciones realizadas a los ejemplares, en la **Error! Reference source not found.**, la cual detalla los valores de la circunferencia a 30 cm del suelo que fueron medidos en los árboles de cacao en la Asociación 'El Deseo'. Se puede apreciar entonces, que el promedio de los diámetros a 30 cm del suelo es de 21,28 cm aproximadamente.

Tabla 3. Resultados del diámetro a 30 cm del suelo de los árboles muestreados.

Ejemplar	Diámetro a 30 cm del suelo
1	22,12
2	19,86
3	20,52
4	24,72
5	19,19
Promedio	21,28

Fuente: Elaboración propia

Valoración cuantitativa de las especies muestreadas

Arriaga, Pino.

Estimación del valor económico de la captura de dióxido de carbono (CO₂) en fincas de cacao en la UNOCACE

Evaluación de la biomasa aérea

En la **Error! Reference source not found.** se muestra el valor de la biomasa acumulada en la parte aérea de los árboles de cacao de la Asociación 'El Deseo' de la UNOCACE.

Los resultados se calcularon a partir de la medida del diámetro (a 30 cm del suelo), luego estos valores se insertaron en la fórmula alométrica planteada por (Ramírez, Panduro, & Miranda, 2014), descrita en el capítulo anterior, para obtener con ella la cantidad de biomasa en kg/árbol, posteriormente este resultado se multiplicó por el número de árboles que conforman una hectárea de cacao (para el caso 1140) para obtener la cantidad de biomasa total en ton/ha.

Tabla 1. Biomasa aérea total de los árboles de cacao muestreados

Ejemplar	Diámetro de circunferencia (cm)	Biomasa aérea total (kg)	Biomasa aérea total (ton/ha)
1	22.12	81,6178	93,0443
2	19.86	61,4731	70,0794
3	20.52	66,9925	76,3715
4	24.72	109,3245	124,6299
5	19.19	56,1678	64,0313
Promedio	21.28	75,1151	85,6313

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el total aproximado de la biomasa aérea total de toda la población de estudio, se hizo una multiplicación entre el promedio de la biomasa aérea total por hectárea y el total de hectáreas que suman todos los socios de 'El Deseo'. El cálculo fue de la siguiente manera:

$$BAT \text{ 'El Deseo'} = 85,6313 \text{ ton/ha} * 118 \text{ ha}$$

$$BAT \text{ 'El Deseo'} = 10104,4934 \text{ ton}$$

Es así como se determinó que las plantaciones de cacao en la Asociación 'El Deseo' poseen una biomasa aérea total de aproximadamente 10104,49 toneladas.

Evaluación de la biomasa muerta

Tabla 1. Cantidad de biomasa acumulada en la hojarasca

Variables de estudio				
Peso fresco total/0,25 m ² (gr)	Peso fresco submuestra (gr)	Peso seco de la submuestra (gr)	BM kg/0,25 m ²	BMT (Ton/Ha)
363,7	200	123,8	0,45	17,9
*BM = Biomasa muerta		*BMT = Biomasa muerta total		

Fuente: Elaboración propia

La Asociación 'El Deseo' acumula 17,9 toneladas de biomasa muerta por hectárea, como se puede observar en la Tabla 1. Este valor, multiplicado por el área total de estudio, 118 hectáreas, da por resultado 2112,2 toneladas, que es entonces, la cantidad de biomasa muerta total.

Estimación de carbono total almacenado en la biomasa

Tabla 2. Carbono almacenado en la biomasa y el flujo anual de carbono.

Datos promedio de la evaluación de las variables estudiadas				
BAT (ton/ha)	BMT (ton/ha)	BT = BAT + BMT (ton/ha)	CAB = BT*FC (ton C/año)	FAC = CAB/E (ton C/ha/año)
85,6313	17,9	103,5313	51,76565	2,875869444

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la Tabla 2, la biomasa aérea total de los ejemplares muestreadas es de 85,6313 ton/ha, la biomasa muerta total es de 17,9 ton/ha, sumado estos valores se obtiene el total (BT) de 103,5313 ton/ha.

Luego de determinar esa cantidad de biomasa acumulada en la muestra se halló la reserva de carbono almacenado en la biomasa multiplicando la biomasa total acumulado por el factor de carbono (de 0,5) cuyo resultado fue de 51,77 ton C/año.

El flujo anual de carbono se calculó dividiendo la biomasa acumulada entre la edad de las plantaciones (18 años), expresando así la dinámica de la acumulación de carbono. Es necesario destacar que los mercados internacionales consideran estos flujos reales de

carbono almacenado cada año (expresado como CO₂/ha/año), para otorgar los créditos por este servicio.

En esta investigación entonces, se determinó que la Asociación 'El Deseo' tiene en promedio una fluctuación de 2,87 ton C/ha/año. Multiplicando este valor por las 118 hectáreas que pertenecen a la Asociación, se obtuvo entonces que, ésta captura 339,35 toneladas de carbono al año aproximadamente.

Estimación de dióxido de carbono capturado

Se llevó a cabo la siguiente operación matemática para estimar la cantidad de dióxido de carbono capturado: multiplicar el flujo de carbono por el factor de conversión a dióxido de carbono (3,667).

$$CO_2 = 2,87 \text{ ton C/ha/año} * 3,667$$

$$CO_2 = 10,5458 \text{ ton C/ha/año}$$

Estimación del valor económico de la captura de CO₂

Valor monetario del CO₂ en el mercado voluntario

Tabla 3. Estimación de los créditos de carbono en el mercado voluntario

Carbono almacenado en la biomasa	Flujo de carbono	Flujo*3,667	ton CO ₂ * USD 10	Total por 118 ha de la Asociación 'El Deseo'
ton C/ha	ton C/ha	ton CO ₂ equivalente (ton/ha/año)	Monto a recibir por año/ton/ha	USD
51,7657	2,8759	10,5458	105,4581	12444,28

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la

Tabla 3, las plantaciones de cacao en 'El Deseo' proyectan un ingreso anual aproximado de USD 105,46, por ton CO₂/ha/año. El resultado se obtuvo mediante la multiplicación del flujo anual de CO₂ capturado por el precio por tonelada de CO₂ fijado por el mercado de carbono

Carbonfund (USD 10). Al multiplicar el ingreso proyectado por ton CO₂/ha/año y el total de hectáreas de la Asociación se obtuvo el valor de USD 12.444,28 dólares americanos, que puede interpretarse como un beneficio adicional aproximado anual por la captura de CO₂ en las fincas de la Asociación 'El Deseo'.

Valor monetario del CO₂ en el mercado regulado

Tabla 4. Estimación de los créditos de carbono en el mercado regulado

Entidad	Precio de CO ₂ (en US\$ al 2018)	ton CO ₂ /ha/año capturado	Valor total recibir por año/ton/ha	Total por 118 ha de la Asociación 'El Deseo' (en US\$)
SENDECO ₂	17,06	10,5458	179,918	21229,5391
California Air Resources Board	14,61	10,5458	154,0741	18180,7483
Tanjiaoyi News Service	7,5	10,5458	79,0935	9333,033
European Energy Exchange	17,3	10,5458	182,4423	21528,1961
Korea Exchange	20,66	10,5458	217,8762	25709,3949
OMF CommTrade	15,58	10,5458	164,3035	19387,8206
Ontario Ministry of the Environment and Climate Change RGGI, Inc.	14,6	10,5458	153,9686	18168,3042
Schweizer Emissionshandelsregister	8,25	10,5458	87,0028	10266,3363

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4 detalla los valores totales que se pueden conseguir en los distintos mercados de carbono de cumplimiento gracias a la captura de CO₂. Se puede apreciar que el mejor escenario sería Korea Exchange, en donde se percibirían beneficios adicionales anuales de USD 21.528,20 aproximadamente. Así mismo, la proyección menos alentadora es con Tanjiaoyi News Service, con quien se estaría ganando aproximadamente USD 9333,03.

Conclusiones

La Asociación 'El Deseo' presentó una acumulación de biomasa aérea equivalente a 85,63 ton/ha aproximadamente. Por lo tanto, las 118 hectáreas que conforman el terreno poseen una biomasa aérea total de aproximadamente 10104,49 toneladas.

El área estudiada presentó una biomasa muerta de 17,9 ton/ha aproximadamente, lo que equivale a 2112,2 toneladas de biomasa muerta entre todo el terreno de estudio.

La biomasa total presentada en Asociación 'El Deseo' es 103,53 ton/ha, dando un total de 12.216,69 toneladas aproximadamente, por todo el terreno.

La reserva de carbono almacenado en la biomasa es de 51,77 ton C/año.

El flujo de carbono de Asociación 'El Deseo' fue 2,87 ton C/ha/año. Por lo tanto, las 118 hectáreas 339,35 toneladas de carbono al año.

La propuesta de negociación con el mercado voluntario de carbono (Carbonfund) cumple, a simple vista, con las perspectivas de viabilidad, generando un ingreso anual aproximado de USD 105,46 dólares americanos, por ton CO₂/ha/año, valor que, multiplicado por el total de hectáreas, sería unos USD 12.444,28.

Dentro del mercado de cumplimiento, la mejor alternativa sería Korea Exchange, de la cual podría obtenerse ingresos de hasta USD 25.708,66. Por otra parte, el escenario menos favorable sería con Tanjiaoyi News Service, de donde se obtendrían ingresos algo así de USD 9.332,62.

■ Referencias bibliográficas

- Cabudivo, K. (s.f.). Secuestro de CO₂ y producción de oxígeno en árboles urbanos de la Av. Abelardo Quiñones - distrito San Juan Bautista, Loreto - Perú, 2016. *Tesis*. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos.
1. Hernández, D., & Vargas, A. M. (s.f.). Aproximación a la valoración económica de la absorción de CO₂ y producción de O₂ en la Reserva Forestal protectora de los Ríos Blanco y Negro. *Trabajo de grado*. Universidad de La Salle, Bogotá.
 2. Morales, M. P., & Vásquez, M. P. (s.f.). Valoración económica de la captura de carbono en las especies *Podocarpus sprucei* y *Oreocallis grandiflora* en el Bosque Protector Aguarongo. (*Trabajo de titulación*). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
 3. Quiceno, N., Tangarife, G., & Álvarez, R. (s.f.). ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE BIOMASA, FIJACIÓN DE CARBONO Y SERVICIOS AMBIENTALES, EN UN ÁREA DE BOSQUE

PRIMARIO EN EL RESGUARDO INDÍGENA PIAPOCO CHIGÜIRO-CHÁTARE DE BARRANCOMINAS, DEPARTAMENTO DEL GUAINÍA (COLOMBIA). *Revista Luna Azul*. Universidad de Caldas, Manizales.

4. Ramírez, C., Panduro, G., & Miranda, E. (2014). Captura de carbono en un sistema agroforestal con *Theobroma cacao* en el campus de la Universidad Nacional de Ucayali -Pucallpa-Perú. *Rev. Tzhoecoen*, 165-180.
5. Sosa, J. (s.f.). Valoración económica del secuestro de CO₂ en tres tipos de bosque en el distrito del Alto Nanay, Loreto-Perú-2014. *Tesis*. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos.