

Diseño de un Modelo de Valoración Económica para Sistemas Agroforestales basados en Cacao y Laurel de la región Caribe de Costa Rica

Lucía Fernández Jáuregui, lferjau@gmail.com

Proyecto de Graduación – Universidad EARTH, Provincia Limón, Costa Rica.

Correo electrónico decanato@earth.ac.cr

Resumen

En el presente trabajo se elaboró un modelo de valoración económica para el reconocimiento del servicio ambiental de remoción de CO₂ de la atmósfera, generado por los sistemas agroforestales (SAF). Tomando como caso de estudio un SAF de la región del trópico húmedo de Costa Rica, se determinó el potencial de fijación de carbono de los componentes laurel y cacao a través de modelos alométricos y valores de Incremento Corriente Anual para el crecimiento. Se cuantificó que el sistema estudiado removió hasta su cuarto año de edad 24,42 Mg/ha de CO₂ y para el noveno año se estimó una remoción 65,32 Mg/ha de CO₂. A través del modelo propuesto se determinó una adicionalidad de 31 Unidades Nacionales de Compensación por hectárea (UNC), correspondientes a 31 Mg/ha de CO₂ sobre la Línea Base, removidos en el periodo entre el cuarto y noveno año. En un escenario nacional, con un precio de US\$ 2.80 por UNC, el propietario del terreno recibiría un pago de US\$/ha 87 en este periodo. Mientras que en un mercado internacional, por un precio aproximado de US\$ 10.00 por UNC; el propietario recibiría US\$/ha US\$ 309. El modelo de valoración económica propuesto es una herramienta con potencial de mejorar la calidad de vida de los pequeños productores de sistemas agroforestales, a través de la generación de un ingreso adicional que indirectamente representa un apoyo en la producción de alimentos para el autoconsumo

Palabras clave: Remoción de CO₂, servicio ambiental, valoración económica

Key words: CO₂ removal, environmental service, economic valuation.

Lista de Contenido

Resumen	1
Lista de Contenido.....	2
1 Introducción	3
2 Objetivos	4
3 Metodología.....	5
Descripción del Área de Estudio	5
Mecanismos de Valoración Económica del Servicio Ambiental de Fijación de Carbono en Costa Rica	5
Cuantificación del Servicio Ambiental Fijación de Carbono al Cuarto Año.....	5
Proyección del Servicio Ambiental de Fijación de Carbono.....	6
4 Resultados y Discusión.....	7
Mecanismos de Valoración Económica del Servicio Ambiental de Fijación de Carbono en Costa Rica	7
Diseño del Modelo de Valoración Económica	8
Cuadro resumen	8
Entrada de datos dasométricos.....	9
Procesamiento de datos de laurel y cacao	9
Cuantificación del Servicio Ambiental de Fijación de Carbono al Cuarto Año.....	10
Proyección del Servicio Ambiental de Fijación de Carbono.....	11
Valoración Económica por el Modelo Propuesto	12
Escenario 1 – precio de venta a nivel nacional.....	12
Escenario 2 – precio de venta a nivel internacional	13
5 Conclusiones	14
6 Lista de Referencias Bibliográficas.....	14
7 Anexos.....	19
7.1 Anexo 1. Valores de Incremento Corriente Anual (ICA) en Cacao y Laurel	19
7.2 Anexo 2. Cuantificación y Proyección Estimada de Biomasa, Carbono Acumulado y CO ₂ Removido	19
8 TABLAS Y FIGURAS DEL DOCUMENTO.....	19
Anexos	23
8.1 Anexo 1. Valores de Incremento Corriente Anual (ICA) en Cacao y Laurel.....	23
8.2 Anexo 2. Cuantificación y Proyección Estimada de Biomasa, Carbono Acumulado y CO₂ Removido	25

1 Introducción

El aumento drástico de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la atmósfera es causante de la alteración del equilibrio energético del sistema climático. Desde 1750 hasta el 2011, las emisiones de CO₂ generadas por el ser humano y acumuladas en la atmósfera alcanzaron las 2040 ± 310 GtCO₂, de esta cantidad la mitad fue producida en los últimos 40 años. Para contrarrestar este impacto la mayoría de esfuerzos realizados se han direccionado en la conservación de grandes áreas de hábitats naturales no alterados. Aun así estos espacios no son suficientes para amortiguar el Cambio Climático, ya que sólo ocupan un 5 % de la superficie de la Tierra (Reid y Miller, 1989). Por lo que la perduración de los recursos naturales, dependen en gran parte de la calidad de los hábitats manejados por el ser humano fuera de las áreas protegidas, que actualmente están siendo utilizados para la agricultura (Pimentel *et al.*, 1992).

Ante esta problemática es necesario optar por modelos de producción sostenibles en el tiempo, y los Sistemas Agroforestales (SAF) se presentan como una potencial alternativa. Este tipo de sistema productivo responde a la necesidad de proteger las tierras y la necesidad de satisfacer la demanda de más tierras para la producción de alimentos y la ganadería, ya que puede lograr conciliar objetivos múltiples de producción y conservación a largo plazo (Jiménez *et al.*, 2001).

Aguilar (2007) menciona que un ecosistema, al regenerar la materia prima y absorber los desechos a través del tiempo, mantiene su capacidad de carga, los SAF al cumplir dicha premisa aseguran la funcionabilidad de la tierra en el tiempo.

Castro (2007) menciona de manera concreta los beneficios de este tipo de sistema productivo, como ser: la regulación de gases, flujos hídricos, oferta y calidad de agua, retención de sedimentos, control de erosión, formación de suelos, reciclaje de nutrientes, descomposición de residuos, refugio de especies, materia prima y producción de alimentos y belleza escénica.

Dentro de la valoración de los SAF, se encuentra el Pago por Servicios Ambientales (PSA) definido por Wunder (2006) como: *“Un acuerdo voluntario donde un servicio ambiental definido es comprado por al menos un comprador a por lo menos un proveedor del servicio, si y solo si el proveedor suministra efectivamente dicho servicio ambiental”*.

Los resultados de Camacho *et al.* (2003) muestran que el PSA influye de manera positiva en el uso eficiente de recursos naturales, el fortalecimiento de la conciencia ambiental y revalorización del sector forestal, así como en la consolidación de una redistribución del beneficio social para el desarrollo rural, siendo que el 80 % de los productores que reciben PSA cuentan con propiedades menores a 50 ha.

Por otra parte, PRISMA (2003) señala que los actores sociales consideran que el monto pagado es poco si se compara el programa de SAF con otros como el de plantaciones forestales, por lo que sugiere que se deben innovar las políticas del PSA, convirtiéndolo en una valoración más integral.

La falta de información sistemática de campo ha sido una de las principales limitantes para la generación de información que describa y evalúe de manera concreta y tangible los beneficios de plantaciones agroforestales.

En 1996 Costa Rica crea FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal) y comienza a comercializar las Unidades Nacionales de Compensación (UNC) por un precio de US\$ 7.50 por megagramo de CO₂ removido al año a empresas que desean reducir su huella de carbono; pero este tipo de pago aplica sólo en sistemas de plantaciones forestales.

Desde el año 2003 se incorporaron los SAF al Programa de PSA con un pago de US\$ 1.30 por individuo arbóreo, reconociendo de esta forma los beneficios que brinda este tipo de producción agrícola al ecosistema y de esta forma a la sociedad (MINAE y FONAFIFO, 2016), pero sin reconocer su capacidad total de remoción de CO₂, es decir que no toma en cuenta los otros componentes del sistema. El hecho de que en SAF el pago se realice por individuo arbóreo y sólo considere el componente forestal se debe a las limitaciones de recursos para el monitoreo específico, así como a la falta de herramientas y metodologías que faciliten la capacidad real del sistema en generar este servicio.¹

Dada esta situación y la importancia de reconocer el valor de los recursos naturales para un mejor uso de los mismos el presente trabajo propone un modelo que facilite la determinación del potencial de remoción de CO₂ de SAF basados en cacao y laurel, y un mecanismo de pago como reconocimiento del valor del servicio ambiental generado por estos sistemas.

2 Objetivos

Diseñar un modelo de valoración económica aplicada a Sistemas Agroforestales (SAF) de cacao y laurel.

- Cuantificar el Servicio Ambiental de remoción de CO₂ en un SAF de cacao y laurel ubicado en la Finca Integrada Orgánica (FIO) de la Universidad EARTH.
- Realizar la proyección a cinco años plazo del potencial de remoción de CO₂ en un SAF de cacao y laurel ubicado en la Finca Integrada Orgánica de la Universidad EARTH.

¹ Méndez, C.; Bedoya, R. y Gonzáles, L. Pago de Servicios Ambientales por parte de FONAFIFO [entrevista]. Entrevista realizada por: Lucía Fernández. 27 mayo, 2016. Comunicación personal.

- Elaborar una propuesta de valoración económica al Servicio Ambiental de remoción de CO₂ en un SAF de cacao y laurel ubicado en la Finca Integrada Orgánica de la Universidad EARTH.

3 Metodología

Descripción del Área de Estudio

El estudio se basó en datos de un sistema agroforestal (SAF) de cacao (*Theobroma cacao* L.), ubicado en la Finca Integrada Orgánica (FIO) de la Universidad EARTH, Guácimo, Limón, Costa Rica (10°11'07" N 83°36'40" O) (Figura 1) (Google Earth, 2016). La plantación se encuentra a 83 msnm, la precipitación promedio es de 3 690 mm, la temperatura promedio anual de los últimos diez años es de 25 °C y la humedad relativa es de 85 % (Universidad EARTH, 2015). La plantación agroforestal se estableció el año 2012, tiene un área de 1,65 ha y se basa en el cultivo de cacao con una densidad de 1 111 plantas/ha, combinado con árboles forestales de laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken) con una densidad de 69 plantas/ha.

Figura 1. Vista aérea del área experimental del sistema agroforestal de cacao de la Finca Integrada Orgánica de la Universidad EARTH (Google Earth, 2016)

Mecanismos de Valoración Económica del Servicio Ambiental de Fijación de Carbono en Costa Rica

Para la determinación de la propuesta del mecanismo para el reconocimiento del Servicio Ambiental (SA) de remoción de CO₂ por SAF, se realizaron entrevistas con el personal de FONAFIFO a cargo del Programa de Pago por Servicios Ambientales, con el fin de identificar la modalidad de pago existente, limitaciones, alcances y la disponibilidad a optar por nuevas metodologías de pago en el futuro. Por otro lado se investigó sobre otras posibilidades de comercialización del SA en Costa Rica, analizando experiencias a nivel nacional e internacional, con el fin de conocer los montos ofrecidos y mecanismos de pago. Se realizó también una consulta de bibliografía sobre la evaluación del impacto del Programa de PSA en la economía de los propietarios.

Cuantificación del Servicio Ambiental Fijación de Carbono al Cuarto Año

Se seleccionaron dos componentes del sistema: laurel y cacao, para los cuáles se tomó en cuenta la acumulación de carbono y la remoción de CO₂ tanto por la biomasa aérea, como por la biomasa radical. Para esta cuantificación se realizó un censo de los datos dasométricos correspondientes a cada componente, diámetro a la altura del pecho (DAP) en el caso de laurel y diámetro del tronco a los 30

cm del suelo (Diám. 30) en cacao. A partir de dichas dimensiones se calculó la biomasa en kilogramos para cada individuo. En el caso de laurel se estimó la biomasa aérea y para cacao fue la biomasa total (aérea y radical) a través de los siguientes modelos alométricos.

Cuadro 1. Modelos alométricos para la cuantificación de biomasa para las especies de laurel y cacao.

† Ba= biomasa aérea (kg/árbol); log10= logaritmo de base 10; DAP= diámetro a la altura del pecho (cm); B_t = Biomasa total (kg/árbol); Diám.₃₀ = diámetro a los 30 cm sobre el suelo (cm)

‡ 1 Ortiz y Riascos (2006). 2 Aristizabal y Guerra (2002)

Para obtener la biomasa radical en laurel se consideró que estas representan un 13 % de la biomasa aérea en cada individuo (Macdicken, 1997). Una vez obtenida la biomasa total por cada componente del sistema (parte aérea y radical en laurel y cacao), se calculó el contenido de carbono fijado, utilizando un factor de 0,44 como lo documentan autores como Segura *et al.* (1999) y Schlegel (2001). Se multiplicó por un factor de 3,67 para convertir el carbono fijado a CO₂ removido de la atmósfera siendo esta la unidad de comercialización en Unidades Nacionales de Compensación (UNC).

Proyección del Servicio Ambiental de Fijación de Carbono

Se utilizaron los datos de Incremento Corriente Anual (ICA) de DAP del laurel (Cuadro 2) obtenidos por Ortiz y Riascos (2006) y con la ecuación de Aristizabal y Guerra (2002), se determinó el ICA para el Diám.₃₀ para cacao por un periodo de 20 años; de esta forma, la proyección dependerá siempre de los datos que se ingrese en el modelo de valoración. El ICA correspondiente a cada especie se puede consultar en el Anexo 6.1

Cuadro 2. Ecuación para la proyección del Diám. 30 del cacao

† Diám. 30= diámetro del tronco de cacao a los 30 cm del suelo (cm); e = número de Euler; t = tiempo (años).

‡ 3 Aristizabal y Guerra (2002).

Se estimó la biomasa aérea de laurel y total (parte aérea y radical) de cacao usando las ecuaciones 2 y 3; respectivamente. Se le sumó un 13 % a la biomasa aérea del laurel para considerar la biomasa radical. Se aplicaron los factores para obtener el carbono fijado y el CO₂ removido por ha en un periodo de 20 años. Aunque para fines de la valoración económica sólo se consideró una proyección a cinco años desde el año vigente; lo cual sugiere, una mayor seguridad en cuanto a los riesgos en campo que existen al realizar una proyección por más tiempo. Además, es este mismo periodo de tiempo por el cual FONAFIFO realiza los contratos de PSA.

4 Resultados y Discusión

Mecanismos de Valoración Económica del Servicio Ambiental de Fijación de Carbono en Costa Rica

Actualmente el MINAE y FONAFIFO (2016) indican que así como lo rige el Decreto 39058 (Presidencia de la República y MINAE, 2015) el reconocimiento económico por el servicio ambiental a los propietarios de SAF consiste en el pago de US\$ 1.30 por árbol forestal del sistema, con una distribución de 65 % de dicho monto en el primer año, 20 % en el segundo año y 15 % en el tercer año, por un contrato de cinco años, es decir sin derecho de uso por parte del propietario. Este es un contrato único, es decir que sólo se puede realizar una vez y aplica a plantaciones con 350 árboles como mínimo, y menores a los 12 meses de edad, esto quiere decir que con la densidad del laurel en el sistema en estudio el propietario requeriría de 5 ha para poder optar por este mecanismo, por lo que superficies más pequeñas se ven limitadas a participar del programa. Una vez hecho el contrato y antes de realizar los pagos correspondientes a cada año, el regente forestal debe visitar la propiedad e indicar el número de árboles sobrevivientes y su estado fitosanitario (FONAFIFO y MINAE, 2009). Por otro lado, FONAFIFO coordina Proyectos de Compensación de Emisiones en los que se comercializan las Unidades Nacionales de Compensación (UNC) generadas por plantaciones forestales. Para empezar a cuantificar dichas unidades el proveedor debe haber superado la remoción básica de CO₂/ha, conocida como Línea Base, la cual es determinada bajo una continuidad del uso actual de la tierra, como pasturas o cultivos agrícolas, los cuales mantienen una remoción de 10 Mg/ha de CO₂ (Leiva *et al.*, 2003). Una vez cuantificado el monto de unidades es vendido por un valor de US\$ 7.50 por Mg de CO₂.² El CO₂ removido a partir de la Línea Base, se conoce como adicionalidad. En cuanto a la venta del servicio a nivel internacional se contempla el caso de una compañía hidroeléctrica de Noruega que compró Compensaciones Negociables Certificables (CTO's por sus siglas en inglés Certifiable Tradable Offsets), por un valor de US\$ 10.00/Mg de CO₂ (Subak, 1999). Por otro lado Dimitrov (2007) en un trabajo realizado en Nicaragua utilizó un precio de referencia de US\$ 3.00 por Mg de CO₂ removido, considerando el costo de establecer un proyecto piloto de esta índole y el precio que pagarían algunos organismos internacionales. También existen experiencias con el Proyecto de Bosques Privados, a través del cual en 1998 los participantes recibieron en pagos promedio de US\$ 120.00/ha por año por plantaciones forestales, US\$ 60.00/ha por año por la

² Méndez, C., Bedoya, R. y Gonzáles, L. Pago de Servicios Ambientales por parte de FONAFIFO [entrevista]. Entrevista realizada por: Lucía Fernández. 27 de mayo, 2016. Comunicación personal.

protección de bosques y US\$ 45.00/ha por año por el manejo y reforestación de bosques (Subak, 1999)

En zonas con condiciones por debajo de la línea de pobreza la situación el pago puede llegar a tener un mayor impacto. En la península de Osa, en Costa Rica, se determinó que el reconocimiento económico de los servicios ambientales generados en pequeñas fincas permitió que la mitad de los productores supere esta condición y en el 44 % de los casos se convirtió en la principal fuente de ingreso, lo que indica que los pagos por servicios ambientales son más efectivos en tierras marginales, donde un pago modesto puede inclinar la balanza a favor de la conservación (Muñoz, 2004).

Diseño del Modelo de Valoración Económica

Siendo CO₂ equivalente el gas de efecto invernadero que se comercializa a través de las Unidades Nacionales de Compensación, este trabajo propone un reconocimiento de dicho servicio, a través de unidades de removidas y no por árbol. El modelo consiste en una cuantificación y una estimación para un periodo de cinco años plazo de la acumulación de CO₂ por parte del sistema para su posterior valoración económica; y se desarrolló en un documento del programa Microsoft Excel, compuesto por cuatro hojas: 1) cuadro resumen. 2) entrada de datos dasométricos. 3) Matriz laurel. 4) Matriz cacao.

Cuadro resumen

Como se muestra en la Figura 2 esta hoja se compone de tres partes. En la primera se pide al usuario que ingrese datos principales de la parcela. En cuanto al muestreo, el modelo se basa en parcelas circulares estándares de 800 m² (radio = 16 m), y el usuario según su elección de muestreo utilizado debe ingresar el número de parcelas muestreadas, así como la siguiente información:

- Nombre de la finca
- Ubicación regional
- Área total (ha)
- Año actual
- Radio de la(s) parcela(s) de muestreo (m)
- Número de parcelas a muestrear
- Densidad de plantación del laurel (árboles/ha)
- Densidad de plantación del cacao (árboles/ha)
- Precio por UNC (US\$/Mg de CO₂)
- Línea base (Mg/ha de CO₂ removido)
- Tasa del costo de oportunidad del capital (%)

Figura 2. Cuadro resumen del modelo de valoración económica.

En la segunda parte se muestra el indicador técnico del sistema, es decir el CO₂ removido hasta el año actual y la remoción estimada para los próximos cinco años de la plantación. También se indica la remoción por cada componente (laurel y cacao) y el porcentaje correspondiente. Posteriormente se indica el número de UNC reconocidas para su comercialización habiendo aplicado el modelo de valoración propuesto. En la tercera parte se encuentra el indicador económico, es decir el pago por las UNC en dólares americanos, el porcentaje de distribución correspondiente a cada año (65 % el primer año, 20 % en el segundo y 15 % en el tercero), luego se muestra el pago equivalente a estos porcentajes por cada año según la distribución, y el monto correspondiente a cada componente. Finalmente se indica el Valor Actual Neto (VAN) del pago total, considerando la tasa de costo de oportunidad del capital indicada por el usuario.

Entrada de datos dasométricos

En la segunda hoja el usuario debe entregar los datos dasométricos obtenidos en el muestreo de las parcelas indicadas. Como se indica en la Figura 3. los datos correspondientes al laurel (DAP) deben ser ingresados en el formulario 1 y los de cacao (Diám. ₃₀) en el formulario 2. En ambos casos se debe indicar la edad del individuo en años.

Figura 3. Hoja de entrada de datos dasométricos de laurel y cacao.

Procesamiento de datos de laurel y cacao

Estas dos hojas (tercera y cuarta) funcionan como una matriz en la que los datos son procesados, según la edad que se le haya otorgado a cada individuo el dato dasométrico correspondiente (DAP para laurel y Diám. ₃₀ para cacao) será desplazado a la hoja (laurel o cacao) y columna correspondiente al año indicado (Figura 4). El proceso de cuantificación y proyección se indica en la sección 3.5 y 3.6 de la metodología.

Figura 4. Matriz para el procesamiento de datos de laurel.

Finalmente los valores obtenidos de Mg de CO₂ removido por cada año son trasladados al Cuadro Resumen según el año correspondiente. Posteriormente se determinan las Unidades Nacionales de Compensación (UNC) con la siguiente ecuación:

$$UNC = Q - A - (LB*S) \quad (4)$$

Donde,

UNC = Unidades Nacionales de Compensación (Mg de CO₂ por superficie del sistema)

Q = CO₂ removido estimado para el quinto año después del contrato (Mg/ha)

A = CO₂ removido cuantificado en el año actual (Mg/ha). (Previo al contrato).

LB = Línea Base (Mg/ha de CO₂ removido)

S = Superficie total del sistema (ha)

Luego de obtener las UNC totales se multiplican por el factor de distribución correspondiente a cada año del acuerdo (Cuadro 3). En este caso se mantiene la distribución utilizada por la FONAFIFO en PSA, así como lo determina el Decreto 39058 (Presidencia de la República y MINAE, 2015).

Cuadro 3. Distribución en porcentaje del pago por el servicio ambiental de fijación de carbono.

Con esta distribución se asegura que sea atractivo el mecanismo para el productor ya que obtendría un monto mayor en el primer año, el cual podría funcionar como un capital significativo para el productor. Como lo mencionan Ortiz *et al.* (2008) la valoración de este servicio ecosistémico podría contribuir a la economía familiar a través de la creación de mecanismos de comercialización como la venta de UNC para la reducción de gases de efecto invernadero como una alternativa para la mitigación de estas emisiones.

Cuantificación del Servicio Ambiental de Fijación de Carbono al Cuarto Año

Siendo el sistema de estudio de pequeño tamaño, no se realizó un muestreo, sino un censo del cual se obtuvieron los datos requeridos indicados previamente, así como los datos dasométricos. Para correr el modelo se consideró un muestreo de las parcelas equivalentes al terreno total de estudio, 21 parcelas de 800 m² cada una. Este es el tamaño mínimo de parcelas manejado por FONAFIFO, y su metodología de muestreo puede consultarse en los Anexos 6.2 y 6.3. Se determinó que el laurel alcanzó una biomasa de 9,02 Mg/ha (Cuadro 4), lo cual coincide con los datos de Somarriba (2001) que indican que árboles entre un rango cercano de DAP tenían 10,14 Mg/ha de biomasa.

En el caso del cacao, se obtuvo una biomasa promedio de 8,15 kg/árbol, correspondiente a un Diám₃₀ promedio de 7,68 cm. En un estudio realizado en el municipio de Alto Beni de la región tropical de Bolivia, (Djahan, 2013) indica que cada individuo de cacao tiene una biomasa de 4 kg/árbol para árboles con un Diám₃₀ de 4,47 cm. Los datos del sistema evaluado casi duplican a los de Bolivia, esta diferencia podría corresponder a las diferencias de material clonal y condiciones edafoclimáticas, y aun así se observa una relación proporcional entre biomasa y Diám₃₀.

Cuadro 4. Biomasa, Mg de carbono fijado y CO₂ removido en laurel y cacao para el cuarto año de edad

En cuanto a la acumulación de carbono se cuantificó que el sistema alcanzó los 6,66 Mg/ha de C, de los cuáles el 40 % corresponde al cacao y el 60 % al laurel, este valor es similar al reportado por Djahan (2013) que indica que un sistema agroforestal de cacao de cuatro años (acompañado por *Inga* sp., *Guazuma crinita* y *Bixa orellana*) llega a fijar 7,2 Mg/ha de C, mientras que en un sistema monocultivo orgánico la acumulación de carbono alcanzó tan sólo los 3,8 Mg/ha de C. Por otro lado Somarriba *et al.* (2008) reportan una acumulación de 5,12 Mg/ha de C, estos resultados coinciden con la conclusión de Valdivieso (1997) que indica que en sistemas agroforestales los árboles de laurel alcanzan un mayor crecimiento en comparación a los valores de una plantación monoespecífica.

Proyección del Servicio Ambiental de Fijación de Carbono

En la siguiente figura se observa la proyección estimada de acumulación de carbono por los dos componentes, desde la edad actual del sistema hasta los 20 años.

Figura 5. Proyección estimada de la acumulación de carbono en laurel y cacao.

Para el octavo año se estimó una acumulación por la biomasa aérea del laurel de 8,85 Mg/ha de C, valor similar reportado por Somarriba *et al.* (2008) quienes indican una acumulación de 6,6 Mg/ha de C por la biomasa aérea al octavo año.

De manera individual se estimó que un árbol de laurel fija 0,15 Mg/árbol de C para el octavo año, este valor coincide con el reportado por Somarriba *et al.* (2001) quienes indicaron que al octavo año el laurel alcanzó una acumulación de 0,12 Mg/árbol de C.

Para los 15 años los valores obtenidos en el estudio para laurel fueron de 15,20 Mg/ha de C y 10,36 Mg/ha de C para cacao, estos valores son menores a los reportados por Aristizabal y Guerra (2002) quienes estimaron que el laurel podría fijar hasta 49,43 Mg/ha de C al cumplir los 15 años, y el cacao 15,11 Mg/ha de C, pero debe considerarse que las densidades de plantación de Aristizabal son superiores (200 árboles/ha para laurel y entre 1300 y 1600 árboles/ha para cacao).

Para los 20 años se estimó un Diám.₃₀ de $17,82 \pm 5,62$ cm en el cacao correspondientes a una biomasa promedio por árbol de 40,14 kg. En el caso del laurel se proyectó una biomasa promedio de $0,521 \pm 0,138$ Mg/árbol. Ortiz *et al.* (2008) encontraron valores proporcionales para los 25 años e indica que un árbol de laurel logra acumular entre 0,76 Mg y 1,0 Mg.

Finalmente el sistema estudiado laurel-cacao presentó una acumulación de carbono para los 20 años de 30,37 Mg/ha. El estudio de Ortiz *et al.* (2008) reporta una acumulación entre 43 Mg/ha y 62 Mg/ha de C hasta los 25 años, con una acumulación anual entre 1,7 Mg/ha y 2,5 Mg/ha de C, de esta forma

para los 20 años se presentaría una acumulación entre 34 Mg/ha y 50 Mg/ha de C, similar a la reportada en este trabajo.

Como se muestra en la Figura 6, se determinó que de la acumulación de carbono a los 20 años un 56 % fue fijado por el laurel (17,12 Mg/ha de C) y un 44 % por el cacao (13,25 Mg/ha de C), mientras que Ortiz *et al.* (2008) indican que entre un 80 % y 85 % correspondía al laurel (entre 35,48 Mg/ha y 51,15 Mg/ha de C). Esta diferencia se debe a los valores obtenidos en laurel, lo cual se atribuye a que en el estudio de Ortiz *et al.* (2008) la densidad de plantación era superior (6 x 6 m).

El porcentaje de acumulación de carbono alcanzado por el cacao demuestra la importancia de tomar en cuenta este componente para una mayor aproximación a la acumulación total real del sistema, y de esta forma abrir la posibilidad de un reconocimiento económico mayor hacia los productores por la generación de este servicio.

Figura 6. Porcentaje de acumulación de carbono por cada componente evaluado en el sistema.

Es importante mencionar que los valores encontrados demuestran el potencial de los SAF como sumideros de carbono a ser considerados en mercados de bonos de carbono, siendo que fueron similares a los encontrados en bosques secundarios en el Caribe de Costa Rica, siendo que Fonseca *et al.* (2008) reportan una fijación de carbono en la biomasa de 1,5 Mg/ha por año, y en el presente estudio se determinó una fijación de carbono de 1,52 Mg/ha/año.

Valoración Económica por el Modelo Propuesto

Se estimó que del cuarto al noveno año de la plantación, el sistema podría generar 31 UNC/ha. Siguiendo el mecanismo de pago propuesto en el diseño, se consideraron dos escenarios como posibilidades de venta de las UNC obtenidas. Para ambos casos se utilizó una tasa activa de bancos privados para el sector agrícola como la tasa de oportunidad del capital del 8,28 % (BCCR, 2016).

Escenario 1 – precio de venta a nivel nacional

Para el cálculo se asume un precio de US\$ 2.80 por UNC. Como se muestra en la Figura 7 el propietario recibiría el primer año del acuerdo (quinto año de la plantación) un monto por hectárea de US\$ 56, US\$ 18 el segundo año y US\$ 13 el tercer año. Haciendo un total de US\$ 87. Si bien esto significa que el pago estaría dentro de la asignación presupuestaria nacional, pone en evidencia el bajo monto que se paga en comparación a otros casos, con el riesgo de convertirse en una oportunidad poco atractiva para el propietario. Por ejemplo, en 1998 con el Proyecto de Bosques Privados se canceló un monto de US\$ 120.00/ha por año a propietarios de plantaciones forestales (Subak, 1999), mientras que los US\$ 142.75 corresponden a un pago de cinco años.

Figura 7. Cuadro resumen del modelo de valoración económica para el escenario de comercialización nacional

Escenario 2 – precio de venta a nivel internacional

Para el cálculo se asume un precio por UNC de US\$ 10.00 (basado en los casos ejemplificados en la sección 4.1). Como se muestra en la Figura 8 se estima que por una hectárea el propietario, recibiría el primer año un monto de US\$ 201, US\$ 62 el segundo año y US\$ 46 el tercer año haciendo un total de US\$ 309. Este monto representa una mayor rentabilidad económica para los propietarios, como justo reconocimiento de la sociedad por los beneficios de los SAF a la producción sostenible.

La presente propuesta resulta plenamente aplicable al perfil de propietarios partícipes del Programa de PSA entre los años 1997 y 2002, quienes indicaron que este pago sí sería importante para su gestión económica, tomando en cuenta que se reconocen como agricultores que utilizan la mano de obra familiar, dependen económicamente de la agricultura y ganadería, viven en fincas propias que tienen de 1 ha a 30 ha y que utilizan el PSA para gastos familiares (Ortiz *et al.*, 2003)

Figura 8. Cuadro resumen del modelo de valoración económica para el escenario de comercialización internacional.

En el estudio de Ortiz *et al.* (2003) se indica como los propietarios partícipes del PSA en la zona del Caribe optan por el PSA como una medida para cubrir sus necesidades a través de un ingreso generado por su terreno. Esto indica la importancia del reconocimiento de actividades que generen servicios ambientales, con el fin de que los propietarios cuenten con un ingreso generado por su terreno, sobre todo cuando dependen de este ingreso.

Los SAF a diferencia de las plantaciones forestales, permiten la generación ingresos alternos al ser al mismo tiempo un sistema de producción agrícola, que en este caso genera ingresos correspondientes a la venta del grano del cacao, por lo que el propietario no depende solo del pago por UNC, y el mecanismo planteado se vuelve aún más atractivo para los productores. Además, se debe considerar que este sistema productivo, tiene la capacidad de generar alimentos para el autoconsumo, generando un doble impacto, como un apoyo la seguridad alimentaria y una oportunidad para mejorar la calidad de vida de familias del medio rural. Por lo que el mecanismo planteado cumple con los tres principios de la sostenibilidad que son la sostenibilidad económica, social y ambiental.

5 Conclusiones

Para el presente año se cuantificó que el laurel y el cacao removieron 24,42 Mg/ha de CO₂, valor a partir del cual se estimó una remoción de 65,32 Mg/ha de CO₂ para el noveno año de la plantación, lo cual convierte a los sistemas agroforestales en sumideros potenciales de carbono.

Para reconocer este potencial en su totalidad es necesario considerar otros componentes del sistema además del forestal, que en este caso, como se demostró, el cacao representa un 44 % de la remoción de CO₂.

Del cuarto al noveno año de la plantación se cuantificó una adicionalidad del sistema de 31 Unidades Nacionales de Compensación por hectárea, que en el mercado nacional podría representar un pago de US\$ 87 por ha y US\$ 309 por ha en el mercado internacional.

La determinación de una Línea Base sobreestimada, así como un bajo precio por las Unidades Nacionales de Compensación puede representar un obstáculo en la implementación de mecanismos de comercialización de bonos de carbono, al ser poco atractivo para el propietario del sistema agroforestal.

El modelo de valoración económica es una herramienta con el potencial de mejorar la calidad de vida de los pequeños productores de sistemas agroforestales, a través de la generación de un ingreso adicional y que, además representaría indirectamente un apoyo en la producción de alimentos para el autoconsumo.

6 Lista de Referencias Bibliográficas

- Aguilar, B. 2007. Reflexiones y estudios de caso utilizando una teoría multidimensional del valor: recomendaciones para Centroamérica. In *Valoración económica, ecológica y ambiental: análisis de casos en Iberoamérica*. Heredia (CR): EUNA. p. 32-77. ISBN 978-9977-65-291-1.
- Aristizabal Hernández, J. y Guerra Montañez, A. 2002. Estimación de la tasa de fijación de carbono en el sistema agroforestal nogal cafetero (*Cordia alliodora*)-cacao (*Theobroma cacao* L)-plátano (*Musa paradisiaca*) [Trabajo de Grado Ing. Forestal]. Bogotá (CO): Universidad Distrital “Francisco José Caldas”. 124 p.
- Ávila Vargas, G. 2002. *Fijación y almacenamiento de Carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol* [Magíster Scientiae]. Turrialba (CR): CATIE. 99 p.
- Barrantes, A. y Ugalde, S. 2015. *Precios de la madera en Costa Rica para el primer semestre del 2015 y tendencias de las principales especies comercializadas*. Heredia (CR): Oficina Nacional Forestal. 9 p.
- BCCR (Banco Central de Costa Rica). 2016. *Tasa de interés para préstamos en EUA\$ para agricultura en Bancos Privados*. San José (CR) [consultado 31 de octubre 2016]. Disponible en el *World Wide Web*.

<<http://indicadoreseconomicos.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20484>>.

- Blanco, J. [2006]. *La experiencia colombiana en esquemas de pagos por servicios ambientales*. Contribuciones por S. Wunder y F. Navarrete. [s.l.]. ECOVERSA; CIFOR. 108 p.
- Camacho Soto, M.; Reyes Gatjens, V.; Miranda Quirós, M. y Segura Bonilla, O. 2003. *Gestión local y participación en torno al pago por servicios ambientales: estudios de caso en Costa Rica*. El Salvador (SV): PRISMA. 66 p.
- Castro, E. 2007. Pago por servicios ambientales (PSA) en cuencas cafetaleras: valorando económica y ecológicamente la dinámica e integralidad de los agroecosistemas. In *Valoración económica, ecológica y ambiental: análisis de casos en Iberoamérica*. Heredia (CR): EUNA. p. 407-438. ISBN 978-9977-65-291-1.
- Dimitrov Barzev, R. 2007. *Valoración económica de los Bienes y Servicios Ambientales (BSA) de las Regiones Autónomas del Atlántico (RAA) y la cuantificación de su aporte a la economía nacional*. Nicaragua In *Valoración económica, ecológica y ambiental: análisis de casos en Iberoamérica*. Heredia (CR): EUNA. p. 407-438. ISBN 978-9977-65-291-1.
- Djahan, E. 2013. *Estimación de la fijación de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas de producción de cacao* [Tesis Lic. Biología]. La Paz (BO): Universidad Mayor de San Andrés. 122 p.
- FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, CR) y MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía y Telecomunicaciones, CR). 2009. Reglamento no. 01-2009 del 28/01/009. *La Gaceta*, 6 marzo, no. 46, 32 p.
- Fonseca, W.; Alice, F.; Montero, J.; Toruño, H.; Leblanc, H. 2008. Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica. *Agroforestería en las América*, no. 46, p. 57-64.
- Google Earth. 2016. Universidad EARTH [en línea] [consultado 5 junio 2016]. 9 marzo 2016. 10°11'07" N 83°36'40" O 40 m
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2007. *Cambio climático 2007 [Informe de síntesis]*. Ginebra (CH). 104 p.
- Jiménez, F.; Muschler, R. y Köpsell, E. (eds.). 2001. *Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales*. Turrialba (CR): Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Serie Materiales de Enseñanza; no. 46. 187 p. ISBN 9977-57-36-9.
- Leiva, M.; Alfaro, M.; Hidalgo, M. y Méndez, A. 2003. *Costa Rica frente al cambio climático*. Oma (IT): FAO. 10 p. Serie Centroamericana de Bosques y Cambio Climático.

Diseño de un Modelo de Valoración Económica para Sistemas Agroforestales

- Macdicken, K. 1997. *A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects*. Little Rock (US): International Institute for Agricultural Development. 84 p.
- Marozzi, M. 2007. Valoración ordinal económico-ecológica de escenarios de manejo de los recursos hídricos y naturales en las subcuencas del Río Segundo y el río Ciruelas, cantón de Santa Bárbara. *In Valoración económica, ecológica y ambiental: análisis de casos en Iberoamérica*. Heredia (CR): EUNA. p. 168-201. ISBN 978-9977-65-291-1.
- Martínez Romero, A. y Levya Galán, A. 2014. La biomasa de los cultivos en el ecosistema: sus beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales*, vol. 35, no. 1, p. 11-20.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR) y FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, CR). 2016a. *Distribución histórica de la forma de pago del programa de pago por servicios ambientales*, según Decretos Ejecutivos. San José (CR). 27 p.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR) y FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, CR). 2016b. *Diagramación de modalidades incorporadas al programa de pago de servicios ambientales*. San José (CR). 2 p.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR) y FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, CR).
- Muñoz Arboleda, F. 1993. *Dinámica de raíces finas en los sistemas agroforestales de cacao con sombras de poró y laurel en Turrialba, Costa Rica* [Magister Scientiae]. Turrialba (CR): CATIE. 109 p.
- Muñoz, R. 2004. *Efectos del programa de servicios ambientales en las condiciones de vida de los campesinos de la Península de Osa* [Tesis Evaluación de Programas y Proyectos de Desarrollo]. San José (CR): Universidad de Costa Rica, 343 p.
- Murillo, O. y Camacho, P. 1997. *Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas*. *Agronomía Costarricense*, vol. 21, no. 2, p. 189-206.
- Nieto, C.; Ramos, R. y Calarza, J. 2005. *Sistemas agroforestales aplicables en la sierra ecuatoriana, resultado de una década de experiencia en el campo*. Quito (EC): INIAP; PROMSA; Editorial Nueva Jerusalén. 195 p. Boletín Técnico; no. 22. ISBN 9978-43-989-7
- Ortiz Malavasi, R.; Sage Mora, L.F.; y Borge Carvajal, C. 2003. *Impacto del Programa de Pago por Servicios Ambientales en Costa Rica como medio de reducción de pobreza en los medios rurales*. San José (CR): Unidad Regional de Asistencia Técnica. 62 p. ISBN 9968-866-28-8
- Ortiz, A. y Riascos, L. 2006. *Almacenamiento y fijación de carbono del sistema Agroforestal Cacao Theobroma cacao L y Laurel Cordia alliodora (Ruiz & Pavón) Oken en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica* [Lic. Ing. Agroforestal]. Nariño (CO): Universidad de Nariño. 11 p.

- Ortiz, A.; Riascos, L. y Somarriba, E. 2008. Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y Laurel (*Cordia alliodora*). *Agroforestería de las Américas*, no. 46, p. 26-29.
- Pachauri, RK. y Meyer, LA. (eds.). 2014. *Cambio climático 2014: informe de síntesis*. Ginebra (CH): IPCC. 157 p.
- Phillips-Mora, W.; Arciniegas-Leal, A.; Mata-Quirós, A. y Motamayor-Arias, JC. 2012. *Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales*. Turrialba (CR): CATIE. 68 p. Serie Técnica. Manual Técnico; no. 105. ISBN 978-9977-57-571-1.
- Pimentel, D.; Stachow, U.; Takacs, D.; Brubaker, H.; Dumans, W.; Meaney, J.; O'Neil, A.; Onsi, D. y Corzilius, D. 1992. Conserving biological diversity in agriculture/forestry systems. *BioScience*, mayo, vol. 42, no. 5, p. 354-362.
- Presidencia de la República y MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR). 2015. Decreto no. 39083. *La Gaceta*, 24 julio, p. 3-8.
- Prugh, T.; Costanza, R.; Cumberland, JH.; Daly, HE.; Goodland, R. y Norgaard, RB. 1995. *Natural capital and human economic survival*. Maryland (US): International Society for Ecological Economics. Solomons. 208 p.
- Reid, W. y Miller, K. 1989. *Keeping options alive: the scientific basis for conserving biodiversity*. Washington (US): World Resources Institute. 135 p.
- Russo, R. 2001. Restauración en terrenos de vocación agrícola. In *Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas*. San José (CR): UICN. p. 175-239. Serie Técnica: Gobernanza Forestal y Economía; no. 3. ISBN 978-9968-938-72-3
- Sánchez, Y. 2012. *Elaboración de tablas de volúmenes y determinación de factores de forma de las especies forestales: chuncho (Cedrelinga cateniformes), laurel (Cordia alliodora), sangre de gallina (Otoba sp.), ceibo (Ceiba samauma) y canelo (Nectandra sp.), en la provincia de Orellana [Lic. Ing. Agroforestal]*. Riobamba (EC): Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 114 p.
- Sarukhán, J.; Whyte, A. y Board, MA. (eds.). 2005. *Ecosystems and human well-being. Synthesis*. Washington (US): Millennium Ecosystem Assessment. 155 p. ISBN 1-59726-040-1
- Schlegel, B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. In *Simposio Internacional de Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*, 18 al 20 de octubre del 2001. Valdivia (CL). p. 1-13.
- Segura, M.; Andrade, H. y Villalobos, M. 2009. Metodologías rápidas para estimar carbono en sistemas agroforestales. In Villalobos, M. y Acuña, K. (comp.). *Una experiencia de manejo ambiental en cacao en*

Diseño de un Modelo de Valoración Económica para Sistemas Agroforestales

- los territorios Bribri y Cabecár de Talamanca, Costa Rica, El caso del Proyecto Captura de Carbono*. Turrialba (CR): CATIE. p. 18-29. ISBN 978-9977-57-504-9.
- Segura, M.; Kanninen, M.; Alfaro, M. y Campos, J. 1999. Almacenamiento y fijación de carbono en bosques de bajura de la zona atlántica de Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana*, no. 30. p. 23-28.
- Somarriba, E.; Suárez, A.; Calero, W.; Botina, A. y Chalaca, D. 2008. Aprovechamiento, rendimiento maderable y carbón perdido en los residuos de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales (*Theobroma cacao*) y bananales (*Musa AAA cv. Gros Michel*) de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, no. 46, p. 34-39.
- Somarriba, E.; Valdivieso, R.; Vásquez, W. y Galloway, G. 2001. Survival, growth, timber productivity and site index of *Cordia alliodora* in forestry and agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, vol. 51, no. 2, p. 111-118.
- Subak, S. 1999. *The case of Costa Rica's carbon commodity*. Washington (US): NRDC. 3 p.
- Universidad EARTH. 2015. Base de datos climáticos [documento en Excel]. Guácimo (CR). Actualizado mensualmente.
- Valdivieso, RG. 1997. *Crecimiento de laurel (Cordia alliodora (Ruiz y Pavón) Oken) como componente maderable de sistemas agroforestales en Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá* [Tesis Magister Scientiae]. Turrialba (CR): CATIE. 83 p.
- Wunder, S. 2006. *Pagos por servicios ambientales: principios básicos esenciales*. Yakarta (ID): CIFOR. 32 p. Occasional Paper; no. 42.

7 Anexos

7.1 Anexo 1. Valores de Incremento Corriente Anual (ICA) en Cacao y Laurel

Fuente. † Aristizabal y Guerra, 2002; ‡ Ortiz y Riascos, 2006.

7.2 Anexo 2. Cuantificación y Proyección Estimada de Biomasa, Carbono Acumulado y CO2 Removido

8 TABLAS Y FIGURAS DEL DOCUMENTO



Figura 1. Vista aérea del área experimental del sistema agroforestal de cacao de la Finca Integrada Orgánica de la Universidad EARTH (Google Earth, 2016)

Cuadro 1. Modelos alométricos para la cuantificación de biomasa para las especies de laurel y cacao.

Espece	Modelo alométrico †	Referencia ‡
<i>Cordia alliodora</i>	$Ba = 10[-0,51 + 2,08 * \log_{10}(DAP)]$	(1)
<i>Theobroma cacao</i>	$Bt = 0,115 * (Diám.30)^2$	(2)

† Ba= biomasa aérea (kg/árbol); log₁₀= logaritmo de base 10; DAP= diámetro a la altura del pecho (cm); B_t = Biomasa total (kg/árbol); Diám.₃₀ = diámetro a los 30 cm sobre el suelo (cm)

‡ 1 Ortiz y Riascos (2006). 2 Aristizabal y Guerra (2002)

Cuadro 2. Ecuación para la proyección del Diám. ₃₀ del cacao

Espece	Ecuación †	Referencia ‡
--------	------------	--------------

Diseño de un Modelo de Valoración Económica para Sistemas Agroforestales

$$Theobroma cacao \quad \text{Diám. } 30 = 21,7437 * (1 - e^{-0,066t}) \quad (3)$$

† Diám. 30= diámetro del tronco de cacao a los 30 cm del suelo (cm); e = número de Euler; t = tiempo (años).

‡ 3 Aristizabal y Guerra (2002).

MODELO DE VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO AMBIENTAL DE FIJACIÓN DE CARBONO PARA SAF's DE CACAO Y LAUREL													
1. Nombre de la finca		Finca Integrada Orgánica, Universidad EARTH											
2. Ubicación regional		Las Mercedes de Guácimo, Limón											
3. Área total (ha)		1,65											
4. Año actual		4											
5. Radio de la parcela de muestreo (m)		15											
6. Número de parcelas a muestrear		21											
7. Cacao. Densidad de plantación (árboles/ha)		1111											
8. Laurel. Densidad de plantación (árboles/ha)		69											
9. Precio por UNC (US\$/Mg de CO ₂)		2,8											
10. Línea base (Mg/ha de CO ₂ removido)		10											
11. Tasa de costo de oportunidad del capital		8,28%											
Nota: Los datos reportados corresponden a la superficie total del terreno introducida en el punto 3													
Tipo de Indicador	Indicador	Año actual		Proyección estimada anual									
		4	5	6	7	8	9						
Indicador técnico	CO ₂ removido (Mg)	40,29	%	55,26	%	69,16	%	81,94	%	93,74	%	107,77	%
	Laurel. CO ₂ removido (Mg)	24,01	60%	34,96	63%	44,67	65%	53,10	65%	60,51	65%	67,00	62%
	Cacao. CO ₂ removido (Mg)	16,28	40%	20,30	37%	24,50	35%	28,83	35%	33,23	35%	40,77	38%
	UNC reconocidas	0		33		10		8		0		0	
Indicador económico	Pago total UNC (US\$)	142,75											
	Distribución del pago (%)	0%	65%	20%	15%	0%	0%						
	Pago anual por UNC (US\$)	0,00	92,79	28,55	21,41	0,00	0,00						
	Laurel (US\$)	0,00	58,71	18,44	13,88	0,00	0,00						
	Cacao (US\$)	0,00	34,08	10,11	7,53	0,00	0,00						
VAN		117,21											

Figura 2. Cuadro resumen del modelo de valoración económica.

* DAP: Diámetro a la Altura del Pecho = 130 cm			* Diám. 30: Diámetro del tronco del cacao a 30 cm del suelo		
Formulario 1. Valores de DAP* de laurel			Formulario 2. Valores de Diám. 30* de cacao		
Nº árbol	Edad del árbol (años)	DAP* (cm)	Nº árbol	Edad del árbol (años)	Diám. 30* (cm)
1	4	7,4	1	4	7,7
2	4	9	2	4	7,4
3	4	23,5	3	4	8,3
4	4	19	4	4	6
5	4	16	5	4	9,4
6	4	16,4	6	4	7,8
7	4	17,2	7	4	10
8	4	17	8	4	8,1
9	4	12	9	4	10
10	4	18	10	4	11,5
11	4	13	11	4	7,1
12	4	19	12	4	8,9
13	4	22,7	13	4	7,3
14	4	21	14	4	10,4

Figura 3. Hoja de entrada de datos dasométricos de laurel y cacao.

Edad de los árboles (años)											
4		5		6		7		8		9	
DAP (cm)	Biomasa (kg/árbol)	DAP (cm)	Biomasa (kg/árbol)	DAP (cm)	Biomasa (kg/árbol)	DAP (cm)	Biomasa (kg/árbol)	DAP (cm)	Biomasa (kg/árbol)	DAP (cm)	Biomasa (kg/árbol)
4,8		3,6		2,7		2,1		1,7		1,4	
7,40	19,86	11,00	45,30	13,70	71,51	15,80	96,21	17,50	118,99	18,90	139,65
9,00	23,84	12,60	60,09	15,30	89,98	17,40	117,58	19,10	142,74	20,50	165,37
23,50	219,70	27,10	295,51	29,80	360,06	31,90	414,84	33,60	462,15	35,00	503,11
19,00	141,19	22,60	202,56	25,30	256,15	27,40	302,36	29,10	342,69	30,50	377,87
16,00	98,75	19,80	150,82	22,30	197,00	24,40	237,56	26,10	273,28	27,50	304,66
16,40	103,96	20,00	157,09	22,70	204,42	24,80	245,73	26,50	282,07	27,90	319,95
17,20	114,79	20,80	170,44	23,50	219,70	25,60	262,51	27,30	300,07	28,70	332,96
17,00	112,03	20,60	167,05	23,30	215,82	25,40	258,26	27,10	295,51	28,50	328,15
12,00	54,29	15,60	93,69	18,30	130,59	20,40	163,69	22,10	193,35	23,50	219,70
18,00	126,17	21,60	184,36	24,30	235,54	26,40	279,86	28,10	318,65	29,50	352,56
13,00	64,12	16,60	106,62	19,30	145,87	21,40	180,83	23,10	211,99	24,50	239,59
19,00	141,19	22,60	202,56	25,30	256,15	27,40	302,36	29,10	342,69	30,50	377,87
22,70	204,42	26,30	277,66	29,00	340,24	31,10	393,50	32,80	439,56	34,20	479,48
21,00	173,87	24,60	241,63	27,30	300,07	29,40	350,08	31,10	393,50	32,50	431,24
14,30	79,18	17,90	124,72	20,60	167,05	22,70	204,42	24,40	237,56	25,80	266,79
27,00	293,25	30,60	380,45	33,30	453,61	35,40	515,14	37,10	567,93	38,50	613,42
18,90	139,65	22,50	200,70	25,20	254,05	27,30	300,07	29,00	340,24	30,40	375,30
22,00	191,53	25,60	262,51	28,30	323,38	30,40	375,30	32,10	420,27	33,50	459,30

Figura 4. Matriz para el procesamiento de datos de laurel.

Cuadro 3. Distribución en porcentaje del pago por el servicio ambiental de fijación de carbono.

Año	Distribución del pago (%)
1	65
2	20
3	15
4	0
5	0

Cuadro 4. Biomasa, Mg de carbono fijado y CO₂ removido en laurel y cacao para el cuarto año de edad

Componente	Biomasa total (Mg/ha)	Carbono acumulado (Mg/ha)	CO ₂ removido (Mg/ha)
Laurel	9,02	3,97	14,55
Cacao	6,11	2,69	9,87
Total	15,14	6,66	24,42

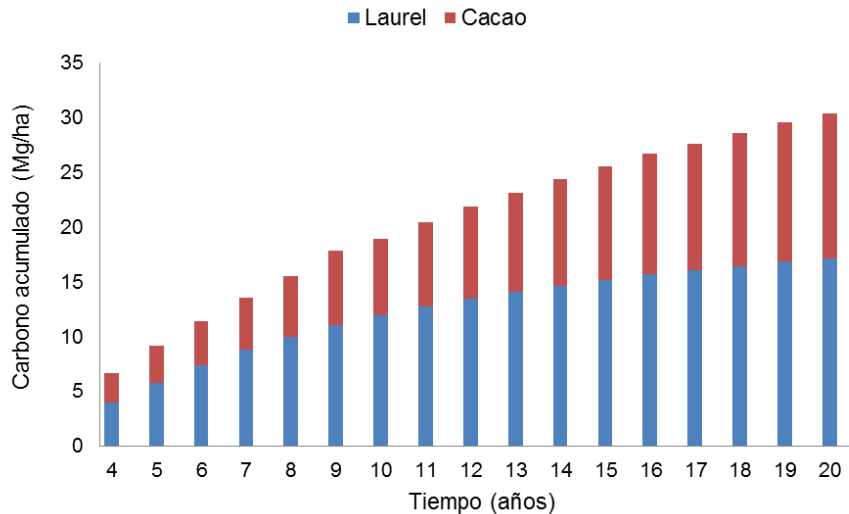


Figura 5. Proyección estimada de la acumulación de carbono en laurel y cacao.

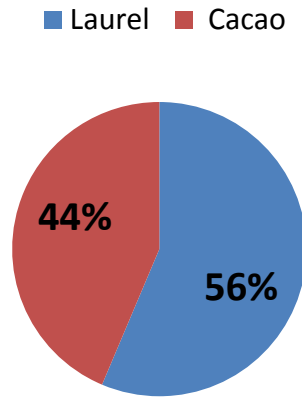


Figura 6. Porcentaje de acumulación de carbono por cada componente evaluado en el sistema.

MODELO DE VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO AMBIENTAL DE FIJACIÓN DE CARBONO PARA SAF's DE CACAO Y LAUREL													
1. Nombre de la finca		Finca Integrada Orgánica, Universidad EARTH											
2. Ubicación regional		Las Mercedes de Guácimo, Limón											
3. Área total (ha)		1,65											
4. Año actual		4											
5. Radio de la parcela de muestreo (m)		15											
6. Número de parcelas a muestrear		21											
7. Cacao. Densidad de plantación (árboles/ha)		1111											
8. Laurel. Densidad de plantación (árboles/ha)		69											
9. Precio por UNC (US\$/Mg de CO ₂)		2,8											
10. Línea base (Mg/ha de CO ₂ removido)		10											
11. Tasa de costo de oportunidad del capital		8,28%											
Nota: Los datos reportados corresponden a la superficie total del terreno introducida en el punto 3													
Tipo de Indicador	Indicador	Año actual		Proyección estimada anual									
		4	5	6	7	8	9						
Indicador técnico	CO ₂ removido (Mg)	40,29	%	55,26	%	69,16	%	81,94	%	93,74	%	107,77	%
	Laurel. CO ₂ removido (Mg)	24,01	60%	34,96	63%	44,67	65%	53,10	65%	60,51	65%	67,00	62%
	Cacao. CO ₂ removido (Mg)	16,28	40%	20,30	37%	24,50	35%	28,83	35%	33,23	35%	40,77	38%
Indicador económico	UNC reconocidas	0		33		10		8		0		0	
	Pago total UNC (US\$)	142,75											
	Distribución del pago (%)	0%		65%		20%		15%		0%		0%	
	Pago anual por UNC (US\$)	0,00		92,79		28,55		21,41		0,00		0,00	
	Laurel (US\$)	0,00		58,71		18,44		13,88		0,00		0,00	
	Cacao (US\$)	0,00		34,08		10,11		7,53		0,00		0,00	
VAN		117,21											

Figura 7. Cuadro resumen del modelo de valoración económica para el escenario de comercialización nacional

MODELO DE VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO AMBIENTAL DE FIJACIÓN DE CARBONO PARA SAF's DE CACAO Y LAUREL													
1. Nombre de la finca		Finca Integrada Orgánica, Universidad EARTH											
2. Ubicación regional		Las Mercedes de Guácimo, Limón											
3. Área total (ha)		1,65											
4. Año actual		4											
5. Radio de la parcela de muestreo (m)		16											
6. Número de parcelas a muestrear		21											
7. Cacao. Densidad de plantación (árboles/ha)		1111											
8. Laurel. Densidad de plantación (árboles/ha)		69											
9. Precio por UNC (US\$/Mg de CO ₂)		10											
10. Línea base (Mg/ha de CO ₂ removido)		10											
11. Tasa de costo de oportunidad del capital		8,28%											
Nota: Los datos reportados corresponden a la superficie total del terreno introducida en el punto 3													
Tipo de Indicador	Indicador	Año actual		Proyección estimada anual									
		4	5	6	7	8	9						
Indicador técnico	CO ₂ removido (Mg)	40,29	%	55,26	%	69,16	%	81,94	%	93,74	%	107,77	%
	Laurel. CO ₂ removido (Mg)	24,01	60%	34,96	63%	44,67	65%	53,10	65%	60,51	65%	67,00	62%
	Cacao. CO ₂ removido (Mg)	16,28	40%	20,30	37%	24,50	35%	28,83	35%	33,23	35%	40,77	38%
	UNC reconocidas	0		33		10		8		0		0	
Indicador económico	Pago total UNC (US\$)	509,83											
	Distribución del pago (%)	0%	65%	20%	15%	0%	0%						
	Pago anual por UNC (US\$)	0,00	331,39	101,97	76,47	0,00	0,00						
	Laurel (US\$)	0,00	209,67	65,85	49,56	0,00	0,00						
	Cacao (US\$)	0,00	121,72	36,12	26,91	0,00	0,00						
VAN		418,60											

Figura 8. Cuadro resumen del modelo de valoración económica para el escenario de comercialización internacional.

Anexos

8.1 Anexo 1. Valores de Incremento Corriente Anual (ICA) en Cacao y Laurel

Año	Cacao †	Laurel ‡
	Diám. 30 (cm)	DAP (cm)
1	1,39	2,00
2	1,30	7,50
3	1,22	6,50
4	1,14	4,80
5	1,07	3,60
6	1,00	2,70
7	0,94	2,10
8	0,88	1,70
9	0,82	1,40
10	0,77	1,10
11	0,72	1,00
12	0,67	0,80
13	0,63	0,70
14	0,59	0,60
15	0,55	0,60
16	0,52	0,50
17	0,48	0,40
18	0,45	4,00

Diseño de un Modelo de Valoración Económica para Sistemas Agroforestales

19	0,42	0,40
20	0,40	0,30

Fuente. † Aristizabal y Guerra, 2002; ‡ Ortiz y Riascos, 2006.

8.2 Anexo 2. Cuantificación y Proyección Estimada de Biomasa, Carbono Acumulado y CO₂ Removido

Año	Biomasa			Carbono acumulado			CO ₂ removido		
	(Mg/ha)			(Mg/ha)			(Mg/ha)		
	Laurel	Cacao	Total	Laurel	Cacao	Total	Laurel	Cacao	Total
4	7,98	4,24	12,23	1,04	6,06	7,10	9,02	6,11	15,14
5	11,62	4,89	16,51	1,51	6,71	8,22	13,13	7,63	20,76
6	14,85	5,50	20,35	1,93	7,32	9,25	16,78	9,20	25,98
7	17,65	6,07	23,72	2,30	7,88	10,18	19,95	10,83	30,78
8	20,12	6,60	26,72	2,62	8,42	11,03	22,73	12,48	35,22
9	22,27	7,10	29,37	2,90	8,92	11,81	25,17	15,32	40,49
10	24,05	7,56	31,61	3,13	9,38	12,51	27,18	15,79	42,96
11	25,73	8,00	33,73	3,34	9,82	13,16	29,07	17,41	46,49
12	27,12	8,41	35,52	3,53	10,22	13,75	30,64	19,00	49,65
13	28,36	8,79	37,15	3,69	10,61	14,29	32,05	20,57	52,61
14	29,45	9,15	38,60	3,83	10,96	14,79	33,28	22,08	55,36
15	30,56	9,48	40,04	3,97	11,30	15,27	34,54	23,55	58,09
16	31,51	9,79	41,30	4,10	11,61	15,71	35,60	24,98	60,59
17	32,27	10,08	42,36	4,20	11,90	16,10	36,47	26,34	62,81
18	33,05	10,36	43,41	4,30	12,18	16,47	37,35	27,65	65,00
19	33,83	10,61	44,45	4,40	12,43	16,83	38,23	28,90	67,13
20	34,43	10,85	45,28	4,48	12,67	17,15	38,91	30,12	69,02