



**Agroecological  
Regenerative  
Cocoa** COLOMBIA • ECUADOR • PERU



## Optimización de los servicios ecosistémicos en los sistemas agroforestales de cacao en Perú y Colombia

Sahil Nair



Sahil es nacional de la India. Tiene experiencia en sostenibilidad ambiental y social. Desarrolló el presente estudio en conjunto con la Alianza Bioversity & CIAT en el contexto de su tesis de maestría en Desarrollo Sostenible en la Universidad de Leuven, Bélgica. Actualmente trabaja con el Asian Development Bank en un proyecto sobre el desarrollo de productos financieros para asociaciones de productores pequeños en Indonesia

Quinten Voordeckers



Quinten es nacional de Bélgica y tiene experiencia en agronomía, ecología y ciencias ambientales. Desarrolló el presente estudio en conjunto con la Alianza Bioversity & CIAT en el contexto de su tesis de maestría en Ingeniería de Agrosistemas y Ecosistemas en la Universidad de Leuven, Bélgica. Ahora sigue sus otros intereses como la lectura y la psicología, inspirados en parte por su excursión de tres meses a Perú.



### Resumen

Los sistemas agroforestales de cacao ofrecen una alternativa sostenible a los monocultivos, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad y proporcionando una variedad de servicios ecosistémicos. Sin embargo, existen desafíos asociados con la competencia por recursos entre los árboles de sombra y las plantas de cacao. Este

resumen combina los hallazgos de dos estudios que evalúan y optimizan los sistemas agroforestales en Perú y Colombia. El estudio en Perú se centra en 30 sistemas agroforestales de cacao en San Martín y Ucayali. Los objetivos buscaban evaluar los servicios ecosistémicos y ofrecer recomendaciones para su optimización. Los servicios evaluados fueron: provisión

de sombra, secuestro de carbono, producción de madera, producción de frutas y producción de cacao. Los resultados mostraron niveles intermedios de biodiversidad y servicios ecosistémicos, pero con alta variabilidad entre los sistemas. Las recomendaciones incluyen ajustar la densidad de árboles de sombra para lograr una sombra del 30-40 %, así como incorporar una mezcla de árboles maderables, frutales y fijadores de nitrógeno, y desarrollar cadenas de valor para productos frutales y créditos de carbono.

Para el caso de Colombia, el estudio se llevó a cabo en 46 fincas de los departamentos de Boyacá, Cesar, Santander y Tolima, enfocándose en el impacto de los árboles de sombra en cuatro servicios ecosistémicos: secuestro de carbono, provisión de sombra, producción de madera y producción de frutas. Los objetivos se orientaron a evaluar el desempeño de los sistemas en términos de servicios ecosistémicos, a identificar especies de árboles de sombra que maximicen estos servicios, así como explorar diseños de plantación óptimos y determinar la viabilidad financiera a largo plazo. Se identificaron seis especies de árboles de sombra ideales y se crearon dos diseños de plantación (cuadrado y doble línea). Un análisis de flujo de caja descontado simplificado mostró que el diseño de doble línea, centrado en la producción de madera, ofrece un mejor valor presente neto (USD 15.606,49) comparado con el diseño cuadrado (USD 14.883,21). Sin embargo, la alta densidad de árboles maderables podría afectar negativamente el ingreso principal del agricultor al reducir el número de plantas de cacao. En conclusión, ambos estudios subrayan la importancia de un diseño cuidadoso y de la selección de especies en los sistemas agroforestales de cacao para equilibrar la productividad de los cultivos con otros servicios ecosistémicos, garantizando así la viabilidad financiera a largo plazo.



## Introducción

El sector agrícola global enfrenta desafíos sin precedentes para satisfacer la creciente demanda de alimentos, pienso y fibra para una población mundial estimada en 10 mil millones para 2050. Sin embargo, los métodos convencionales de aumento de la producción agrícola, como los monocultivos a gran escala y el uso intensivo de insumos, han llevado a problemas como la degradación del suelo, la deforestación y la contaminación por pesticidas y fertilizantes. Además, el cambio climático agrava estas presiones mediante alteraciones en los patrones de temperatura y precipitación, así como eventos climáticos extremos más frecuentes e intensos. Para abordar estos problemas, se promueven

sistemas agrícolas más sostenibles y resilientes, como la agroecología y la agroforestería, que aprovechan los servicios ecosistémicos para mejorar la productividad mientras se conservan los recursos naturales. La agroforestería, en particular, se destaca como una solución prometedora al integrar árboles y cultivos en un mismo terreno, ofreciendo beneficios ambientales como la fertilidad del suelo, la captura de carbono y la adaptación al cambio climático.

El cacao (*Theobroma cacao L.*), nativo de la Amazonía, históricamente cultivado en sistemas agroforestales, se ha enfrentado a la transición hacia monocultivos modernos, lo que ha generado ganancias de productividad a corto plazo, pero incrementando riesgos ambientales y sanitarios. En Colombia, los productores de cacao, principalmente pequeños agricultores, están adoptando prácticas sostenibles como la agroforestería para mejorar la producción y cumplir con la creciente demanda internacional de cacao colombiano de alta calidad. Perú, donde el cacao también se cultiva ampliamente, es el segundo mayor productor mundial de cacao orgánico, con el 44 % del área dedicada a su cultivo bajo este estándar. El aumento de la producción orgánica de cacao ha sido impulsado por esfuerzos gubernamentales para sustituir cultivos de coca por cacao, además del apoyo de la Unión Europea para promover prácticas más sostenibles en la agricultura del país.

Tanto en Colombia como en Perú, los sistemas agroforestales de cacao no solo mejoran la biodiversidad y proporcionan servicios ecosistémicos diversos, sino que también ofrecen ingresos adicionales y ayudan a reducir la presión sobre los bosques naturales, contribuyendo así a la conservación ambiental y al bienestar socioeconómico de los pequeños agricultores.



## Análisis de resultados

### ¿Cómo son los sistemas agroforestales de cacao en el Perú en términos de biodiversidad y ecosistema?

#### Biodiversidad

Más de la mitad de los árboles muestreados pertenecían a especies maderables, como caoba (*Swietenia macrophylla*), capirona (*Calycophyllum spruceanum*) y bolaina (*Guazuma crinita*). Se plantean varias hipótesis para explicar esta predominancia de árboles maderables. En condiciones tropicales con baja conectividad entre los agricultores y los mercados, muchos frutos son difíciles de vender porque se pudren rápidamente. En contraste, la madera puede

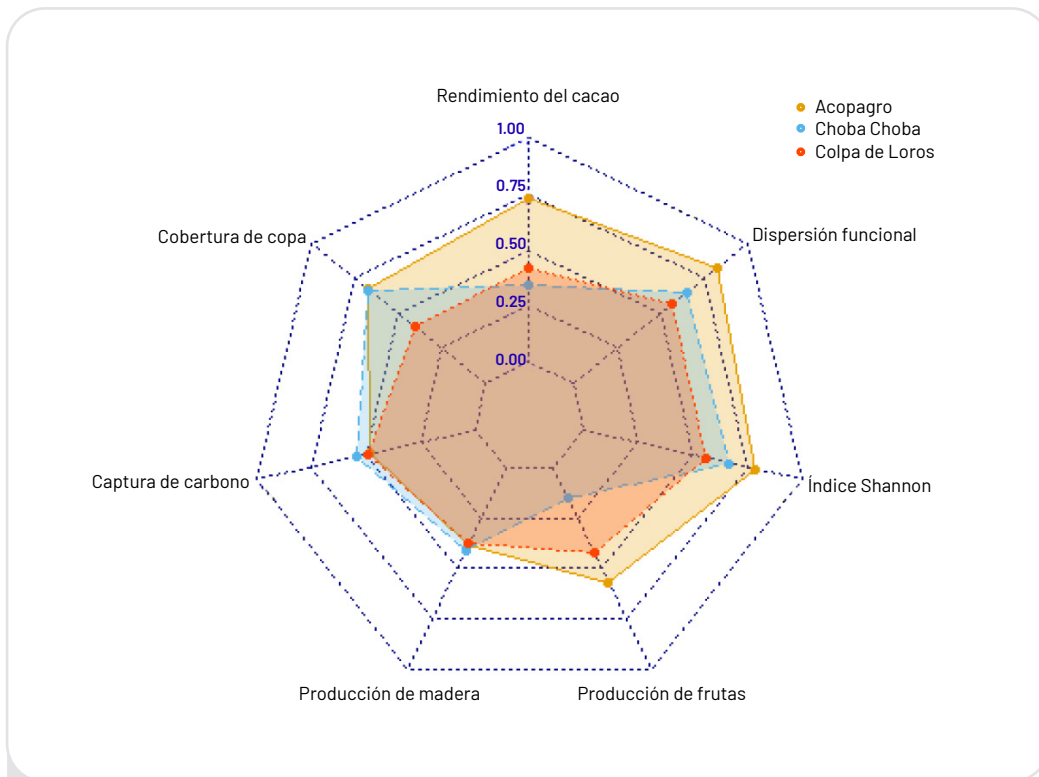
almacenarse durante mucho más tiempo, lo que hace que el mercado de la madera sea más accesible para los agricultores de cacao que el mercado de frutas. Esto también explicaría la observación de que las especies de frutas casi exclusivamente se utilizaban para consumo propio, mientras que la madera a veces se vendía en el mercado. Además, dado que los frutos se usan principalmente para consumo propio, los agricultores no se beneficiarían tanto de plantar muchos árboles frutales del mismo tipo, mientras que para los árboles maderables sería lógico tener muchos del mismo tipo. Otra hipótesis es que los agricultores pueden preferir los árboles maderables sobre los frutales debido a que tienen un dosel más alto, lo que reduce la competencia por la luz con las plantas de cacao.

### Servicios ecosistémicos

El estudio reveló que la cobertura promedio del dosel fue baja, alcanzando un 22 % ( $\pm 14$  SD), posiblemente debido

a la edad relativamente joven de los árboles de sombra en los campos de sistemas agroforestales de cacao (promedio de 12 años).

En cuanto a la producción, se encontró que la tasa promedio de producción de madera fue de 3,7 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), similar a valores encontrados en la región centroamericana. Sin embargo, la producción promedio de frutas fue más difícil de comparar, con un promedio de 1090 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Estos resultados sugieren una amplia variabilidad en los niveles de producción tanto de madera como de frutas en los sistemas estudiados. Además, se observó que el rendimiento promedio de cacao fue de 470 kg de cacao seco por hectárea por año, una cifra moderada en comparación con estudios previos que han reportado rendimientos que varían considerablemente según la región y las condiciones específicas de cultivo.



**Figura 1**

El gráfico de radar muestra las puntuaciones promedio de los índices de servicios ecosistémicos (ES) y biodiversidad para tres cooperativas diferentes. Los ejes del gráfico están ajustados de manera que el valor máximo de cada se representa como 1 en el gráfico. Los valores superiores al percentil 90 también se muestran como 1. Fuente: elaboración propia

## ¿Cómo los sistemas agroforestales de cacao proporcionan servicios ecosistémicos en Colombia?

### Reserva de carbono

El promedio de stock de carbono sobre el suelo de las 46 fincas estudiadas en los departamentos de Boyacá, Cesar, Santander y Tolima en Colombia fue de 16,4 toneladas por hectárea. Esta variación puede atribuirse a factores como el número de árboles por hectárea, la etapa de crecimiento de los árboles, la diversidad de especies y las condiciones climáticas. La mediana de 11,4 toneladas C sugiere que más de la mitad de las fincas almacenan aproximadamente 11 toneladas C por hectárea sobre el suelo. Los sistemas agroforestales de cacao en Santander mostraron un promedio de 21,1 toneladas de carbono por hectárea sobre el suelo, el más alto entre las cuatro regiones estudiadas. Esto podría atribuirse al alto porcentaje (67,4 %) de especies maderables en estos sistemas, las cuales tienden a crecer más grandes y altas en comparación con las especies de frutas, las plantas medicinales y la leña. Por otro lado, Boyacá registró el promedio más bajo de stock de carbono por finca (12,3 toneladas por hectárea), a pesar de tener el mayor número promedio de árboles de sombra por finca (109 árboles por hectárea) y la mayor proporción de especies maderables en el departamento (72 %). Esto se debe en parte a que los árboles de sombra en Boyacá, especialmente las especies maderables, se encuentran en etapas tempranas de crecimiento, con un 27 % de estos árboles con un diámetro a la altura del pecho (DBH) menor a 20 cm. Esto indica que en los próximos 10-15 años, con la madurez creciente de los árboles maderables, los stocks de carbono en los sistemas agroforestales de cacao de Boyacá aumentarán considerablemente.

### Madera

El volumen promedio de madera de todas las fincas muestreadas fue observado en 27,37 m<sup>3</sup> por hectárea, que se ubica dentro del rango de volumen de madera en sistemas agroforestales de cacao basados en laurel (*C. alliodora*) encontrados por Somarriba et al. (2013), que va de 17 a 44 m<sup>3</sup> por hectárea. Los datos de existencias de madera siguen un patrón similar al almacenamiento de carbono sobre el suelo mencionado anteriormente. En general, las fincas de cacao en el departamento de Santander contenían volúmenes altos de madera. Por otro lado, el volumen de madera en Boyacá fue bajo debido a la edad relativamente joven de la mayoría de las fincas muestreadas allí. Sin embargo, se espera que el volumen de madera aumente considerablemente a medida que los árboles envejecen (Somarriba et al., 2013).

## Producción de frutas

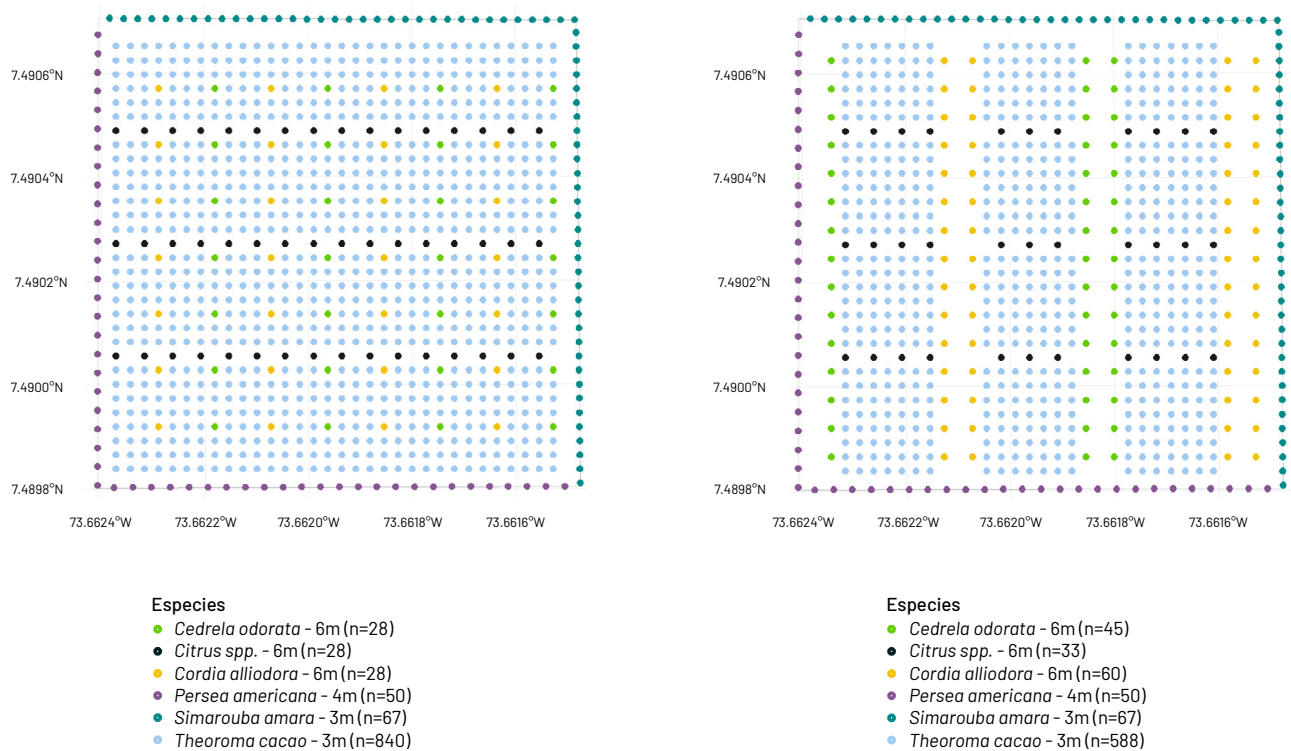
La producción potencial promedio de frutas para todas las fincas muestreadas fue de 1279 kg por hectárea por año. Sin embargo, este número es un cantidad potencial, no todas las frutas producidas serán cosechadas eventualmente, ya que solo una fracción de las frutas no vendidas será consumida y el resto se pudrirá o será consumido por animales. El departamento de Tolima registró el mayor rendimiento promedio de frutas con 1242 kg por hectárea por año, y casi la mitad de los árboles frutales muestreados (47,8 %) se encontraron en las fincas de este departamento. La palta/el aguacate (*Persea americana*) fue la especie de árbol frutal más común en Tolima.

## ¿Cómo se pueden diseñar los sistemas agroforestales de cacao para optimizar la prestación de servicios ecosistémicos de las especies de árboles de sombra más adecuadas?

Los árboles en los bordes suelen tener más espacio en comparación con los árboles de sombra dentro de la finca, lo que facilita la cosecha de madera o frutas con menos perturbaciones para el cacao. Aunque la palta (*Persea americana*) mostró una puntuación relativamente buena como árbol de sombra entre los árboles frutales vendidos por los agricultores, sus características de sombra aún no son óptimas en comparación con las especies maderables debido a su altura de dosel relativamente baja. Sin embargo, la palta obtuvo el mejor precio por kilogramo en el mercado según los datos de la encuesta, lo que hace más probable que los agricultores lo cosechen regularmente.

Por lo tanto, la palta fue elegida como una de las principales especies de borde para todos los diseños de plantación. Entre las especies maderables, el marfil (*Simarouba amara*) fue clasificada en los primeros lugares por su capacidad de proporcionar sombra. Esta especie tiene una tasa de crecimiento muy rápida, superior a la de laurel (*Cordia alliodora*) y cedro (*Cedrela odorata*), lo que se traduce en una edad de cosecha relativamente más temprana. Según los agricultores, *Simarouba amara* se cosechaba a los 15 años, lo que coincide con el ciclo de vida de las plantas de cacao, por lo que fue seleccionada como el segundo árbol de borde en los diseños de plantación, permitiendo la cosecha de madera sin dañar potencialmente las plantas de cacao.

Las especies cítricas, específicamente mandarina (*Citrus reticulata*) y naranja (*Citrus sinensis*), fueron las principales especies de frutas plantadas dentro del borde. Junto con



los árboles frutales, el laural (*Cordia alliodora*) y el cedro (*Cedrela odorata*) son las dos especies maderables utilizadas en ambos diseños dentro del borde con las plantas de cacao. Ambas especies maderables comúnmente utilizadas en el sistema agroforestal de cacao en la región.

El diseño de plantación 1 aplica una siembra de árboles 'al cuadro' y contiene más árboles de cacao y árboles frutales en comparación con el diseño de plantación 2, que tiene un alto número de árboles maderables. Con una estrategia de plantación de doble línea centrada específicamente en árboles maderables, se enfoca principalmente en la producción de madera y en el almacenamiento y secuestro de carbono. Otros factores —como la orientación de los diseños de plantación de árboles (cuadrados, líneas y doble línea) en relación con la pendiente, el viento y el sol— son importantes, pero no se consideran en los modelos propuestos. Sin embargo, se recomienda que en áreas con pendientes pronunciadas las líneas de árboles se planten siguiendo las curvas de nivel, mientras que, en lugares ventosos, las líneas de árboles deberían ser perpendiculares a la dirección del viento. En resumen, el diseño de plantación propuesto

intenta maximizar servicios ecosistémicos específicos seleccionados según los objetivos del estudio, por lo que no está diseñado simplemente para que los agricultores lo adopten sin considerar las características únicas de cada finca y sus objetivos.

### ¿Es financieramente viable para el agricultor implementar los diseños de siembra propuestos?

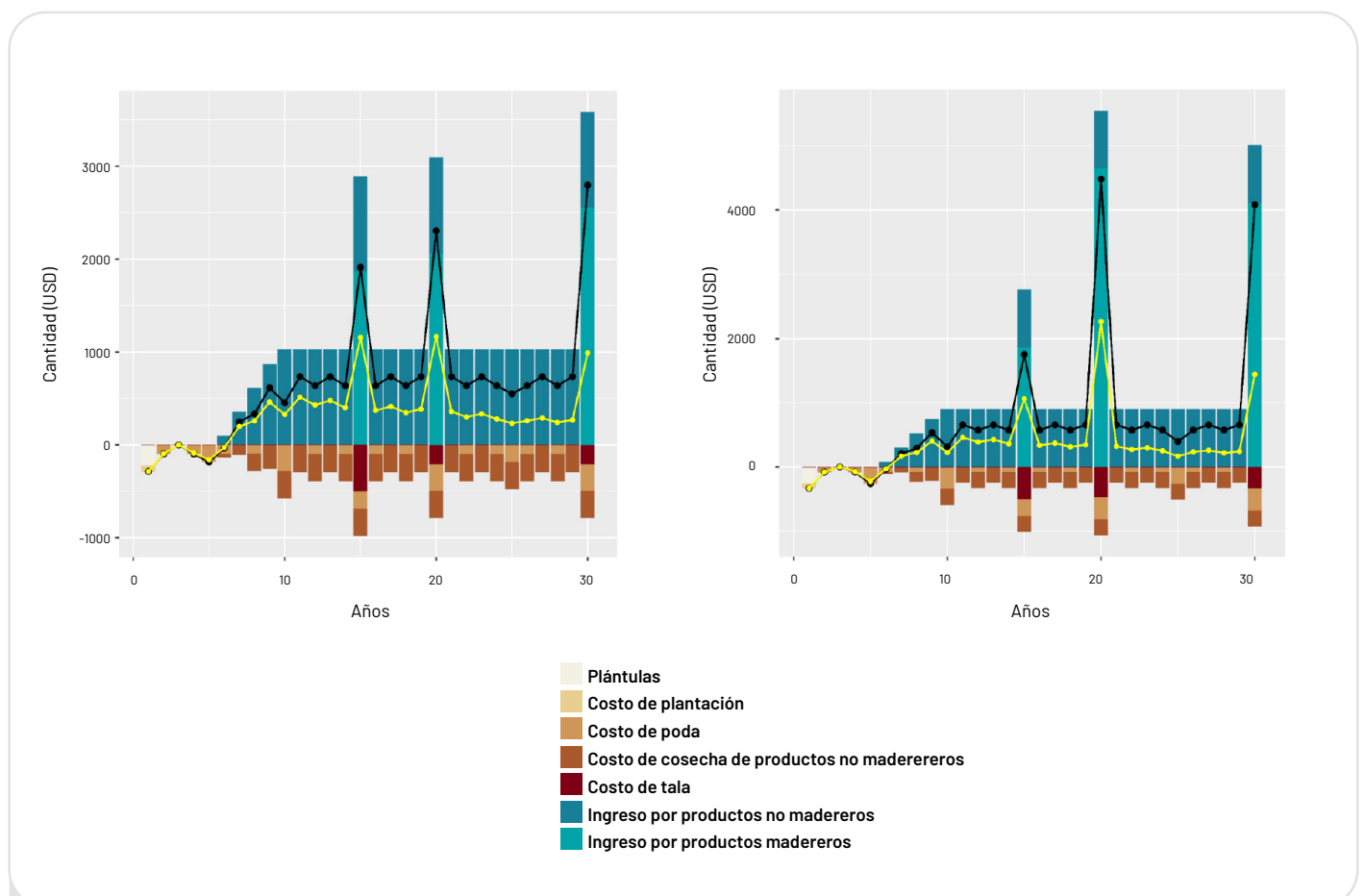
En los dos diseños de plantación propuestos, que incluyen una mezcla de árboles maderables y frutales, se observa un patrón similar de ingresos netos. Los árboles frutales proporcionan retornos regulares anuales a partir del sexto año de plantación, mientras que los árboles maderables generan ingresos significativos durante sus años de cosecha. Aunque el diseño de plantación 2, con líneas dobles de árboles maderables, muestra casi el doble de flujo neto en el año 30 en comparación con el diseño de plantación 1, el flujo neto descontado no muestra una diferencia significativa (USD 453,12). Sin embargo, según los análisis de Valor Presente Neto (VPN), el diseño de

plantación 2 tiene un potencial de ganancia de USD 723,28 más en 30 años que el diseño 1, lo que lo posiciona como la opción más viable financieramente.

El análisis también revela que el diseño 2 requiere una inversión inicial más alta, principalmente para el mantenimiento de los árboles maderables, y ofrece un retorno de la inversión superior solo a partir del año 20 en comparación con el diseño 1. No obstante, la reducción drástica de árboles de cacao en el diseño 2 podría afectar negativamente los ingresos de los agricultores que dependen principalmente del cacao como fuente de ingresos. Además, la inclusión de árboles maderables de crecimiento rápido, especialmente en esquemas de créditos de carbono, podría añadir ingresos adicionales, aunque la implementación a gran escala podría ser desafiante para pequeños agricultores debido a los costos involucrados.

## Conclusiones

Ambos estudios destacan la importancia de los sistemas agroforestales de cacao para la optimización de servicios ecosistémicos clave como el almacenamiento de carbono, la producción de madera, frutas y cacao. En Colombia, se observó que el departamento de Santander sobresale en almacenamiento de carbono y producción de madera, mientras que Tolima muestra altos rendimientos en producción de frutas. Por otro lado, en Perú se encontró una variabilidad significativa entre diferentes sistemas agroforestales en cuanto a biodiversidad y dominancia de árboles maderables, aunque con un promedio de cobertura de dosel relativamente bajo. Ambos estudios resaltan la importancia de equilibrar los diferentes servicios ecosistémicos, señalando *trade-offs* (ventajas vs. desventajas) significativos entre la producción de cacao y la producción de madera, así como sinergias entre la producción de madera y la captura de carbono.



**Figura 3** Proyección de flujo de caja descontado para 30 años del diseño de plantación n° 1 (izquierda) y n° 2 (derecha). La línea de puntos negra es el flujo de caja neto, mientras que la línea de puntos amarilla es el flujo de caja neto descontado. Fuente: elaboración propia.

## **Recomendaciones**

Basándose en estos hallazgos, los estudios realizaron varias recomendaciones para optimizar los sistemas de agroforestería de cacao en Perú y Colombia:

- Ajustar la densidad de árboles de sombra: Aumente o disminuya la densidad de árboles de sombra para mantener una cobertura de dosel del 30–40 %, lo cual maximiza los servicios ecosistémicos sin afectar negativamente los rendimientos del cacao.
- Diversificar los tipos de árboles: Incluya una mezcla de árboles maderables, frutales y fijadores de nitrógeno. Los árboles maderables contribuyen al secuestro de carbono y generalmente tienen copas altas que compiten menos por la luz. Los árboles frutales proporcionan alimentos y pueden generar ingresos adicionales. Los árboles fijadores de nitrógeno mejoran la fertilidad del suelo y pueden aumentar los rendimientos del cacao.

- Desarrollar cadenas de valor: Es crucial desarrollar cadenas de valor para productos frutales y créditos de carbono, de manera que los agricultores puedan obtener ingresos adicionales de estas fuentes.
- Planificar los flujos de caja: la planificación financiera es esencial para comprender cómo capturar adecuadamente los beneficios financieros de los árboles frutales y maderables. Los gastos relacionados con la extracción de madera, permisos, transporte, etc. deben planificarse con anticipación.

## **Referencias**

Somarriba E; Cerda R; Orozco L; Cifuentes M; Dávila H; Espin T; Mavisoy H; Ávila G; Alvarado E; Poveda V; Astorga C; Say E; Deheuvels O. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 173, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.013>





**Contactos**

**Tobias Fremout**

Consultor, Área de Investigación en Paisajes Multifuncionales

✉ T.Fremout@cgiar.org

**Evert Thomas**

Científico Senior, Área de Investigación en Paisajes Multifuncionales

✉ e.thomas@cgiar.org



<https://allbiociat.org/3CrUVwi>



<https://alliancebioversityciat.org>



[cgiar.org](http://cgiar.org)