

RELACIÓN ENTRE PROCESOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA Y MODELOS  
FINANCIEROS DE CAPTURA DE CARBONO: UNA EXPERIENCIA EN LA SELVA  
CENTRAL DEL PERÚ



SERGIO ALFREDO WILCHES PARDO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VILLAVICENCIO

2025

RELACIÓN ENTRE PROCESOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA Y MODELOS  
FINANCIEROS DE CAPTURA DE CARBONO: UNA EXPERIENCIA EN LA SELVA  
CENTRAL DEL PERÚ

SERGIO ALFREDO WILCHES PARDO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director

M. Sc. RODRIGO ISAAC VELOSA CAICEDO

Magíster en Recursos de Vida Silvestre

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VILLAVICENCIO

2025

**Autoridades Académicas**

**P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O. P.**

Rector General

**P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O. P.**

Vicerrector Académico General

**P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.**

Rector Seccional Villavicencio

**P. Adrián Mauricio GARCÍA PEÑARANDA, O.P.**

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

**Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBON**

Secretaria General Seccional Villavicencio

**Mg. Rodrigo CORTES BORRERO**

Decano de la Facultad de Derecho

**Tabla de contenido**

	<b>Pág.</b>
Resumen.....	6
Abstract .....	7
Introducción .....	8
Marco Conceptual.....	12
Metodologías de la restauración ecológica .....	15
Metodología del Estado del Arte .....	17
Análisis Bibliométrico .....	17
Construcción de base de datos .....	17
Selección de artículos .....	17
Temas de validación tratados con restauradores de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, Perú .....	18
Panorama General de la Producción Científica .....	19
El Programa de Compensación Digital de la Conservación en el Perú -CDC.....	21
Ambito de Intervención del proyecto CDC .....	23
Resultados e Impactos.....	25
Pasos en la Plataforma CDC .....	27
Etapa 1. Análisis de contexto.....	27
Etapa 2. Diseño del modelo de gestión de recursos naturales .....	28
Etapa 3. Implementación del modelo de gestión de recursos naturales.....	28
Etapa 4. Monitoreo y evaluación del modelo de gestión de recursos naturales. ....	28
Discusión.....	31
Referencias.....	34

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Número de publicaciones generadas sobre los temas de búsqueda en captura de carbono y restauración ecológica publicados entre 2017 - 2025 .....	19
<b>Figura 2.</b> Número de publicaciones por año discriminadas por fuente de filiación. ....	19
<b>Figura 3.</b> Ámbito de intervención del Proyecto Compensación Digital de la Conservación, Perú (Tomado de CDC (2022)).....	23

## Resumen

El mecanismo de Reducción de Emisiones derivadas de la Deforestación y la Degradación Forestal (REDD+) tiene el potencial de proporcionar a los países en desarrollo un financiamiento significativo para actividades de restauración ecológica que contribuyan a la mitigación del cambio climático, la gestión sostenible y el aumento de las reservas de carbono. Con el fin de estimular e informar el debate sobre el papel de la restauración ecológica en REDD+, se describen a través de un caso de estudio (proyecto Compensación Digital de la Conservación -CDC, Perú) las oportunidades y los desafíos del uso de proyectos y programas de restauración con base científica para alcanzar los objetivos de REDD+ de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y almacenar carbono en los ecosistemas nativos. Ahora que el mecanismo REDD+, se ha expandido más allá de centrarse únicamente en las actividades que afectan los presupuestos de carbono, para incluir también aquellas que mejoran los servicios ecosistémicos y generan otros beneficios adicionales para la biodiversidad y las comunidades, la restauración ecológica podría desempeñar un papel cada vez más importante. Sin embargo, en muchos países, faltan herramientas prácticas y orientación para implementar proyectos y programas de restauración eficaces que capturen carbono y, al mismo tiempo, mejoren la integridad y la resiliencia de los ecosistemas. Este estado del arte referencia el caso del Proyecto CDC en la Amazonía Peruana establecido por la Universidad Católica Sedes Sapientiae del Perú.

El presente documento ofrece un estado del arte sobre la relación entre procesos de restauración ecológica y modelos financieros de captura de carbono enfatizados en la selva central del Perú. Para ello, se llevó a cabo una revisión documental y una experiencia de campo desarrollada en el marco de un intercambio académico entre la Universidad Santo Tomás (USTA) y la Universidad Católica Sede Sapiente del Perú. A través de este trabajo, se identifican las principales tendencias, enfoques y vacíos en torno a la aplicación de estos modelos en contextos rurales, con énfasis en su impacto socioeconómico y ecológico. El lector encontrará un análisis crítico sobre cómo los bonos de carbono y en menor medida otros mecanismos como las compensaciones voluntarias, pueden contribuir a la restauración y al desarrollo rural sostenible, especialmente cuando se aplican en predios de pequeña extensión conocidos como “chacras”, donde conviven cultivos agroforestales, relictos de bosque y áreas en regeneración.

**Palabras Clave:** Amazonía Peruana, restauración ecológica, bonos de carbono, modelos financieros, cambio climático, gestión rural sostenible.

### Abstract

The Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+) mechanism has the potential to provide to developing countries with significant financing for ecological restoration activities that contribute to climate change mitigation, sustainable management, and carbon stock enhancement. To stimulate and inform the debate on the role of ecological restoration in REDD+, a case study (the Digital Conservation Offset project, Peru) describes the opportunities and challenges of using science-based restoration projects and programs to achieve REDD+'s objectives of reducing greenhouse gas emissions and storing carbon in native ecosystems. Now that the REDD+ mechanism has expanded beyond focusing solely on activities that affect carbon budgets to also include those that enhance ecosystem services and generate other co-benefits for biodiversity and communities, ecological restoration could play an increasingly important role. However, in many countries, practical tools and guidance are lacking for implementing effective restoration projects and programs that capture carbon while simultaneously improving ecosystem integrity and resilience. This state of the art shows the case of the CDC Project in the Peruvian Amazon which was established by the Catholic University of Perú, Sapiente Campus.

This document provides a state-of-the-art analysis of the relationship between ecological restoration processes and financial models for carbon sequestration in the central Peruvian rainforest. This approach is based on a documentary review and field experience developed within the framework of an academic exchange between the University of Santo Tomás (USTA) and the Catholic University of Peru (Sapiente Campus). Through this work and a scient-metric exercise, the main trends, approaches, and gaps surrounding the application of these models in rural contexts are identified, with an emphasis on their socioeconomic and ecological impact. The reader will find a critical analysis of how carbon credits, and to a lesser extent than other mechanism such as voluntary offsets, can contribute to restoration and sustainable rural development, especially when applied on small properties known as "chacras," where agroforestry crops, forest remnants, and regenerating areas coexist.

**Keywords:** Peruvian Amazon, ecological restoration, carbon credits, financial models, climate change, sustainable rural management.

## Introducción

La Amazonia Peruana constituye un territorio caracterizado por su alta biodiversidad y riqueza natural; sin embargo, se enfrenta a una creciente problemática de deforestación, la cual ha generado una pérdida de más de 2 millones de hectáreas de bosque entre 2001 y 2018, impulsada en gran medida por la expansión de actividades agrícolas y extractivas. (Navarrete et al., 2023). Es bien conocido que la deforestación tiene consecuencias significativas, tanto para los ecosistemas locales como para el equilibrio climático global, debido al incremento de las emisiones de carbono resultantes de la pérdida de cobertura forestal (Seydewitz et al., 2023).

En el contexto de las zonas cafetaleras de la Amazonía Peruana, uno de los principales desafíos ambientales y sociales es la degradación progresiva de los ecosistemas como resultado de la deforestación vinculada a la expansión agrícola (Gusukuma et al., 2024). El cultivo de café, predominante en estas regiones, ha provocado una pérdida significativa de cobertura vegetal nativa, reduciendo la capacidad del suelo para retener nutrientes, incrementando los niveles de erosión y afectando negativamente la biodiversidad local (Camcafe, 2021). Esta situación genera tensiones entre la necesidad de conservar los ecosistemas y la de sostener las actividades agrícolas que representan el sustento económico de las comunidades locales (Vallejos-Torres et al., 2024).

Ante este escenario, los bonos de carbono emergen como un mecanismo de incentivo económico que permite fomentar la restauración ecológica sin menoscabar la producción cafetera. A través de los pagos por servicios ecosistémicos, se promueve la recuperación gradual de la cobertura vegetal, integrando prácticas sostenibles que pueden articularse con los intereses socioeconómicos de los agricultores (Ravikumar et al., 2022). Este enfoque busca equilibrar la conservación ambiental con el desarrollo rural, contribuyendo simultáneamente a la mitigación del cambio climático y al fortalecimiento de los medios de vida locales (News Center Microsoft Latinoamérica. (2023)).

En respuesta a esta problemática, han surgido iniciativas orientadas a la restauración ecológica que buscan recuperar funciones ecosistemas y mitigar el cambio climático mediante el secuestro de carbono (Di Sacco, et al 2021; Dooley, et al 2022). Una de las estrategias emergentes más relevantes en este contexto es la implementación de modelos financieros de captura de carbono, como los bonos de carbono, que ofrecen incentivos económicos a quienes se comprometan con procesos sostenibles de reforestación-restauración o conservación (Blanton et

al., 2024). A nivel global y entre los años 1960-2015, las emisiones totales de carbono por actividades humanas llegaron a 408 PgC y la destrucción de los bosques tropicales incluyendo la Amazonía contribuyó con el 8% aproximadamente (Mitchard, 2018). Se ha propuesto que la restauración, conservación y el mejoramiento de la gestión de los bosques tropicales podría aportar el 23% de las medidas de mitigación necesarias para limitar el cambio climático a 2 °C para el 2030 (Griscom et al., 2017).

En el año 2007 se dieron los primeros pasos para el reconocimiento global de la importancia de la restauración ecológica en los procesos de mitigación del cambio climático cuando fue incorporado el “incremento de las reservas de carbono” dentro del esquema REDD+ de las Naciones Unidas, que en conjunto conforman un “sistema de políticas e incentivos -desarrollados bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, para financiar la restauración y la conservación ecológica, mediante la asignación de un valor a la capacidad de los bosques para absorber el CO<sub>2</sub> atmosférico” y así mitigar el cambio climático global (United Nations, 2007). En el año 2011 fue lanzado el Mecanismo de Bonn para la restauración de los bosques para el 2030 en 350 millones de hectáreas degradadas a nivel global (Bonn, 2020); esta iniciativa propició la plantación de árboles a gran escala a nivel global. Algunos autores (Lewis et al, 2019) han argumentado que la restauración ecológica es la técnica de cambio de uso de la tierra más efectiva para mitigar el cambio climático (siendo 6 veces más efectiva en la captura o secuestro de carbono que la agroforestería y 40 veces más eficiente que las plantaciones de árboles convencionales (Culqui et al., 2024). No obstante, los anteriores autores también afirman que en el marco de la Convención de Bonn y de otras iniciativas particulares de algunos países, solo 1/3 de los bosques degradados será recuperado “bajo la sombra” de la restauración ecológica y que el resto se convertirá en plantaciones y agroforestería. Lo anterior constituye un preaviso de que se requieren mayores incentivos financieros para apoyar la restauración ecológica de los bosques naturales degradados.

El esquema REDD+ ha impulsado el desarrollo de diferentes mecanismos de financiación para el apoyo de los procesos de restauración ecológica a gran escala; entre estos se encuentran el Comercio de Créditos de Carbono, el Fondo Verde para el Clima y algunos otros más (Hamrick y Gallant, 2017). En el año 2016 el comercio de créditos de carbono, relacionado con la silvicultura y el uso del suelo, representó el 46% del total de transacciones en los mercados voluntarios de carbono (un aproximado de 67 millones de dólares) (Hamrick y Gallant, 2017). Los Sistemas de

Comercio de Emisiones -SCE constituyen el mecanismo de mercado que se utiliza para reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero mediante el sistema de “topes” y “comercio”; el término “tope” hace referencia al límite superior de las emisiones permitidas de gases de efecto de invernadero (World Bank, 2022). En el marco de los SCE, un crédito de carbono o unidad de derecho de emisión, otorga a su titular el derecho a emitir una tonelada de CO<sub>2</sub> (o su equivalente); esto es, un crédito de carbono es un activo que representa una reducción o eliminación de una tonelada métrica de CO<sub>2</sub> (estos créditos son generados por proyectos que reducen, evitan o remueven emisiones de gases GEI) (World Bank, 2022). Los créditos de carbono no utilizados pueden ser comercializados. El Sistema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea es el más grande a nivel mundial y representa más de  $\frac{3}{4}$  partes del comercio internacional de carbono (European Commission, 2020).

Kawasaki et al (2015) han establecido que el éxito de la estrategia REDD+ es dependiente del grado de cooperación entre entidades gubernamentales -nacionales y locales, de las comunidades locales y de las ONG's. Para calificar a una estrategia REDD+, la restauración debe cumplir con los criterios establecidos por la ONU, que incluyen “ la participación plena y efectiva de las comunidades locales y de los pueblos indígenas” (Kawasaki et al, 2015). Este criterio implica que los bosques que sean restaurados deben proporcionar todo el espectro de productos y servicios ambientales, tal como lo hizo el bosque natural original que fue destruido o degradado. En segunda instancia, las acciones de restauración deben ser “consistentes con la conservación de los bosques y sus servicios ecosistémicos y la biodiversidad e incentivar su protección así como la de otros servicios ambientales y sociales”. En consecuencia, las iniciativas REDD+ no deben vulnerar los derechos de las comunidades locales ni posibilitar el reemplazo o desplazamiento de los bosques que aún existen. Esto implica entonces, que tales condiciones no pueden ser alcanzadas mediante plantaciones comerciales convencionales en las que se utilicen especies de rápido crecimiento como los pinos y eucaliptos (Barlow et al, 2007; Lamb, 2014). La estrategia REDD+ debe entonces recrear en el mayor grado la apariencia y complejidad de los bosques primarios, con su máxima biomasa, complejidad estructural, biodiversidad y funcionalidad, dentro de los límites impuestos por restricciones climáticas, y edáficas particulares de cada uno de los sitios. Todo esto deja entrever entonces que la evaluación de la captura de carbono en sistemas multiespecíficos y de alta complejidad como los de la Amazonía y la valoración de los flujos de mercado de créditos

de carbono y los beneficios ambientales son mucho más complejos que los de sistemas más simplificados como lo son las plantaciones forestales.

A pesar entonces de su creciente uso, estos mecanismos financieros presentan grandes retos relacionados con su viabilidad económica, su accesibilidad para pequeños productores y su impacto socioambiental a largo plazo. En el marco de un intercambio académico realizado en el primer semestre de 2024 entre la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás (USTA) y la Universidad Católica Sede Sapiente del Perú, se visitaron chacras amazónicas de la selva central del Perú consistentes en pequeños predios manejados por familias rurales bajo un esquema REDD+ dirigido por la Universidad Católica Sedes Sapientiae del Perú, con el objetivo de comprender sus dinámicas ecológicas y productivas asociadas a procesos de restauración y conservación ecológica. Estas chacras combinan cultivos tradicionales como el café con relictos de bosque, zonas de regeneración natural y áreas agroforestales, lo cual le convierte en escenarios clave para la implementación de estrategias de restauración ecológica vinculadas a mecanismos de mercado como los bonos de carbono, como lo son los proyectos REDD+.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el estado del arte sobre la relación entre los procesos de restauración ecológica y los modelos financieros de captura de carbono en la Amazonía Peruana, específicamente en la selva central. Se busca examinar cómo estas estrategias, cuando se articulan con la participación comunitaria y el uso de especies nativas, pueden contribuir al desarrollo rural sostenible (Hill et al., 2025). Así mismo, se identifican las principales tendencias investigativas, vacíos de conocimiento y limitaciones operativas que enfrenta esta sinergia entre restauración y mecanismos financieros en contextos rurales amazónicos.

## Marco Conceptual

La restauración ecológica se define como el proceso de asistir en la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido, con el propósito de retomar su trayectoria ecológica, mantener la resiliencia, conservar la diversidad biológica y restablecer la funcionalidad de los ecosistemas y paisajes (SER, 2004). La meta de la restauración es la de iniciar o acelerar la recuperación de un ecosistema con respecto a sus atributos de “integridad ecológica”, promoviendo al mismo tiempo la resiliencia del ecosistema, y partiendo de la toma como referente de un ecosistema predisturbio (SER 2004). Esto es, la restauración toma la “**aproximación ecosistémica del manejo**” que puede tener múltiples objetivos que incluyen la recuperación simultánea de valores ecológicos, culturales y socioeconómicos de los ecosistemas.

El Servicio Forestal y de Fauna Silvestre del Perú (SERFOR, 2018) ha definido los siguientes lineamientos para la restauración de ecosistemas forestales y de otros ecosistemas con vegetación silvestre:

1. La restauración aumenta la integridad biótica en los ecosistemas y paisajes.
2. La restauración es sostenible a largo plazo. La restauración tiene como objetivo establecer sistemas que son autosostenibles y resilientes, minimizando la intervención humana en el largo plazo.
3. La restauración se basa en conocimiento
4. La restauración beneficia y compromete a la sociedad
5. La restauración interactúa con el paisaje circundante. La restauración está orientada a fortalecer la resiliencia del paisaje y, de ese modo, mantener abiertas las opciones de manejo para el futuro.
6. La restauración contribuye a mitigar los efectos y reducir la vulnerabilidad del cambio climático.

De otra parte, la restauración ecológica tiene los siguientes enfoques:

1. **Recuperación ecológica:** la recuperación involucra dejar trabajar al sistema por sí mismo, generalmente con la expectativa de que recuperará atributos deseables a través de la sucesión natural. Este enfoque de cero intervenciones para la restauración puede o no funcionar. Según SER (2004) la recuperación es cuando el ecosistema contiene suficientes recursos bióticos y abióticos como para continuar su desarrollo sin ayuda o subsidio adicional. Los procesos de

restauración ecológica desde el enfoque de la recuperación se alcanzan en áreas pequeñas, proveedoras de servicios esenciales y por decisión concertada por los pobladores.

**2. Rehabilitación:** Término amplio que puede ser usado para referirse a cualquier intento para restablecer elementos de estructura o función de un sistema ecológico, sin intentar necesariamente la restauración completa a una condición específica anterior, por ejemplo, reforestación de sitios para prevenir erosión. Según SER (2004), es cuando se enfatiza la reparación de los procesos, la productividad y los servicios de un ecosistema.

La restauración ecológica como proceso se puede dar a **escala local de un ecosistema o a escala de paisaje**. A escala local de un ecosistema cumple con los siguientes criterios:

- Se realiza en áreas relativamente pequeñas y parte de un proceso previo de identificación del ecosistema de referencia.
- Proceso social previamente concertado, con empoderamiento de la población local y a través de diferentes diseños y métodos de restauración activa o pasiva.
- Se da con dos enfoques: la rehabilitación y la recuperación.

A escala de paisaje debe cumplir con los siguientes criterios:

- Se constituye en parte de la gestión y ordenamiento ambiental del territorio,
- Busca alternativas para optimizar el uso del suelo
- La rehabilitación es el enfoque más utilizado en función de los servicios ecosistémicos que han sido degradados y asistir el proceso de cambio hacia a un nivel aceptable de funcionamiento, es decir donde se provean los servicios ecosistémicos.

En este enfoque, el paisaje no necesariamente tiene que alcanzar un cambio en retorno a su estado original. En las chacras de la Amazonía peruana se encuentran áreas de bosques, zonas agroforestales principalmente de café y cacao, áreas de purma que son cultivos abandonados en regeneración natural, áreas de cultivos transitorios para autoconsumo o comercialización local, áreas con cuerpos de agua y zonas construidas con viviendas o almacenes. Los pequeños bosques en las chacras, relictos de los bosques nativos fragmentados por la ocupación y actividades agrícolas, son en sí mismos sitios con alta biodiversidad, manteniendo el hábitat de muchas especies al borde de la extinción y actuando como fuentes genéticas que evitan la endogamia si están conectados (Finalyson, 2018).

Estos pequeños bosques, caracterizados por su humedad y pendientes, también son áreas de anidamiento, alimentación, producción de frutas y semillas de especies de fauna y flora. El

mantenimiento de estos relictos de bosque asegura su hábitat, aunque esté fragmentado. Dentro de las mismas chacras y colindando con estos bosques, están las áreas de producción. En zonas de selva alta y ceja de selva de la Amazonía peruana se encuentra producción especialmente de café con o sin sistemas agroforestales. La llegada del café a Perú se dio hace más de 250 años, por lo que este cultivo ha modelado el paisaje (Miller, 2024). También se encuentran otros cultivos y, en ceja de selva, especialmente arroz, cítricos y otros frutales. Es común encontrar ganadería bovina; sin embargo, para el programa de carbono, la ganadería no está incluida.

### **Metodologías de la restauración ecológica**

Las metodologías de restauración ecológica basadas en bonos de carbono integran beneficios ambientales y socioeconómicos de manera articulada. Desde la dimensión ecológica, favorecen la captura de carbono atmosférico, la regeneración de la cobertura vegetal y la restauración de funciones ecosistémicas esenciales. Desde la dimensión social, ofrecen oportunidades de desarrollo económico para comunidades rurales a través de esquemas de pago por servicios ambientales (PSA), bonos de carbono etc, que remuneran su participación activa en procesos de restauración (Pagiola et al., 2012)

Modelos como los implementados por Reforesta Perú, Arbio Perú y la iniciativa colombiana Saving the Amazon, han demostrado que es posible conectar la conservación con incentivos económicos mediante mecanismos innovadores. En estos proyectos, cada árbol plantado es georreferenciado, fotografiado y nombrado por el donante o inversionista, lo que permite un seguimiento transparente y personalizado del proceso de restauración. Esta estrategia ha resultado efectiva no solo para generar créditos de carbono con estándares internacionales como VCS o Gold Standard, sino también para fortalecer el vínculo simbólico y emocional entre los participantes y los ecosistemas intervenidos.

Comparando diferentes enfoques en América Latina, se observa que países como Costa Rica han optado por un modelo estatal robusto con regulación directa del PSA, mientras que en Perú y Colombia, predominan modelos más descentralizados, con liderazgo de ONGs, alianzas público-privadas y protagonismo comunitario. Esta diversidad metodológica evidencia la necesidad de contextualizar las estrategias de restauración, adaptándolas a las capacidades institucionales, las condiciones ecológicas y la estructura social de cada territorio.

A nivel técnico, estas metodologías pueden incluir la reforestación con especies nativas, la regeneración natural asistida (RNA), prácticas agroforestales y rehabilitación de suelos degradados. La selección de técnicas depende del nivel de degradación del sitio, los objetivos ecológicos y la viabilidad económica de la intervención (Chazdon et al., 2015). Además, el carbono capturado se cuantifica mediante protocolos de medición, monitoreo y verificación (MRV), que permiten certificar los resultados y comercializar los créditos en mercados voluntarios.

Los beneficios ambientales son múltiples y han sido ampliamente documentados: reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, aumento de la biodiversidad, regulación del ciclo hídrico, mejora en la fertilidad del suelo y control de la erosión. Estas mejoras no solo restauran el equilibrio ecológico, sino que también fortalecen la resiliencia de los sistemas agroproductivos frente al cambio climático. No obstante, autores como Gupta (2014), Pascual et al. (2014) advierten que la efectividad de estos modelos depende de factores estructurales como el acceso a la tierra, la equidad en la distribución de beneficios y la participación efectiva de las comunidades locales.

En conclusión, la restauración ecológica basada en bonos de carbono constituye una alternativa viable y de creciente implementación. Sin embargo, su sostenibilidad en el tiempo exige un enfoque integral que combine el rigor técnico con una visión social participativa, adaptada al contexto local y respaldada por marcos normativos sólidos.

## **Metodología del Estado del Arte**

Este documento analiza la producción científica en bosques naturales relacionados con el tema de mecanismos financieros, cambio climático, captura de carbono y restauración ecológica. A partir de un análisis bibliométrico y la información de investigadores en la temática en el Perú relacionados con el proyecto de investigación “Compensación Digital de la Conservación -CDC de la Universidad Católica Sedes Sapientiae”, se establece el estado situacional de la investigación en el tema, centralizado en la región Amazónica.

### **Análisis Bibliométrico**

La bibliometría es una disciplina que analiza las bases de datos que incluyen información diversa sobre la naturaleza de las publicaciones incluyendo: año de publicación, país, afiliación institucional de los autores, ámbitos científicos a los que pertenecen las publicaciones, y palabras clave que caracterizan los contenidos entre otros (Rodriguez et al, 2015).

### **Construcción de base de datos**

Se construyó una base de datos en Microsoft Excel a partir de las estadísticas de búsqueda del periodo 2000 – 2024 con la base datos Scopus de Elsevier Science disponible en el CRAI de la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio. Debido a que las publicaciones de la base de datos de Scopus presentaron en su mayoría el resumen del artículo y no su versión en extenso, se realizó una búsqueda de los artículos en las bases de datos Science Direct y en el buscador Google Académico.

### **Selección de artículos**

Para la selección de los artículos se empleó la siguiente ecuación de búsqueda:

"carbon capture" AND "ecological restoration". A partir de la búsqueda se obtuvieron 59 artículos científicos, los cuales fueron ordenados de acuerdo al número de citas – de mayor a menor; los restantes artículos fueron tomados de las bases de datos Science Direct y Google

Scholar; del anterior pull de artículos fueron seleccionados preferentemente aquellos desarrollados en bosques tropicales.

### **Temas de validación tratados con restauradores de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, Perú**

En el desarrollo del estado del arte sobre la experiencia académica en la selva central del Perú, el enfoque principal se centró en analizar las dinámicas que vinculan los procesos de conservación y restauración ecológica con los incentivos económicos, particularmente mediante la implementación de bonos de carbono. Este intercambio académico resultó fundamental para comprender cómo la restauración ecológica no solo representa una estrategia eficaz para mitigar la degradación ambiental, sino también una alternativa viable para generar ingresos sostenibles a favor de los agricultores locales, quienes enfrentan una constante presión por mantener sus medios de subsistencia y asegurar el bienestar de sus familias (World Agroforestry, 2020; Norandino, 2024).

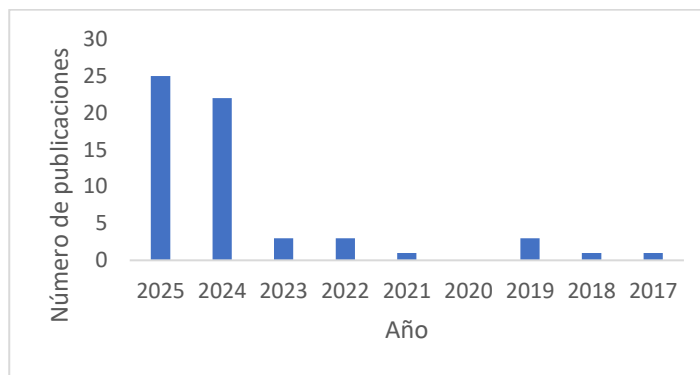
El enfoque epistemológico de la investigación sobre la restauración ecológica a partir de bonos de carbono en Perú se basa en la interacción entre conocimiento teórico y experiencia práctica, integrando diversas disciplinas para abordar la complejidad de la degradación ambiental. Este enfoque interdisciplinario permite comprender los múltiples factores que afectan tanto la degradación ambiental como la efectividad de las iniciativas de restauración, facilitando así el desarrollo de soluciones completas y adaptadas a realidades locales (Terán-Cano et al., 2023). Desde una perspectiva constructivista, se reconoce que el conocimiento es construido socialmente, influenciado por las experiencias y valores de las comunidades. Involucrar a las comunidades locales en la restauración no solo es vital para el éxito de los proyectos, sino que también enriquece el conocimiento sobre los ecosistemas y sus dinámicas. La investigación debe apoyarse en evidencia empírica, obtenida a través de estudios de caso y metodologías participativas, lo que permite identificar mejores prácticas en restauración ecológica y evaluar el impacto de los bonos de carbono en comunidades y ecosistemas, informado así políticas y decisiones. Además, la epistemología crítica, cuestiona las estructuras de poder que influyen en la gestión de los recursos naturales, promoviendo un enfoque equitativo y participativo en la toma de decisiones (Orozco, 2023). Esto busca garantizar que las voces de las comunidades locales sean escuchadas, fomentando la justicia social y ambiental. El enfoque también implica una reflexión constante

sobre la práctica, evaluado procesos y resultados para aprender de errores y éxitos, lo que permite ajustar estrategias y mejorar la efectividad de las iniciativas en tiempo real.

### Panorama General de la Producción Científica

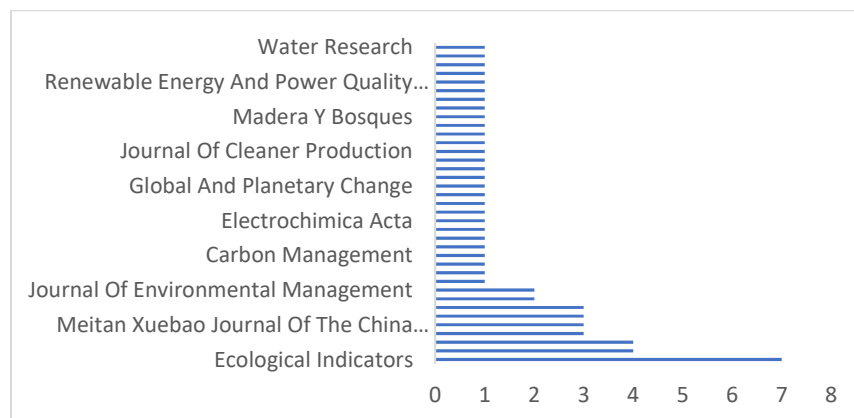
El número total de publicaciones científicas reportadas para el periodo 2017 – 2025 fue de 59 artículos (Figura 1).

**Figura 1.** *Número de publicaciones generadas sobre los temas de búsqueda en captura de carbono y restauración ecológica publicados entre 2017 - 2025*



En este rango se destaca un pico reciente de publicaciones en los años 2024-2025 cuyos artículos provienen principalmente de las revistas *Ecological Indicators*, *Forests* y *Science of the Total Environment* (Figura 2).

**Figura 2.** *Número de publicaciones por año discriminadas por fuente de filiación.*



De acuerdo a las publicaciones revisadas para el tema de captura de carbono y restauración ecológica en el Perú, pueden extraerse las siguientes generalizaciones (World Agroforestry, 2020) : La deforestación y la degradación del suelo en la Amazonía Central del Perú obedecen principalmente al uso intensivo de la tierra para actividades agrícolas (Minam, 2017). Estas prácticas, aunque esenciales para la subsistencia de muchas familias rurales, han comprometido de forma significativa los ecosistemas locales. El agotamiento de la fertilidad del suelo, la pérdida de cobertura vegetal y la fragmentación del hábitat natural han reducido la capacidad de resiliencia del entorno, lo cual ha puesto en riesgo la sostenibilidad a largo plazo de los medios de vida agrícolas. En este contexto, se hace imperativa la implementación de estrategias integradas que combinen la restauración ecológica con incentivos económicos, permitiendo así una transición hacia sistemas productivos más sostenibles y equitativos.

### **El Programa de Compensación Digital de la Conservación en el Perú -CDC.**

La plataforma Compensación Digital de la Conservación en el Perú constituye una iniciativa de 5 años atrás ejecutada por la Universidad Católica Sedes Sapientiae en alianza con la Corporación Masbosques y con el financiamiento del BIDLAB (World Agroforestry 2020). Su propósito es generar recursos financieros provenientes de la venta de créditos de carbono con la reducción/eliminación de Gases de Efecto de Invernadero GEI en predios (chacras) de familias de pequeños productores de la Amazonía Peruana. En Perú se han diseñado diferentes alternativas para luchar contra la deforestación de la región amazónica: proyectos de reforestación, plantaciones con fines comerciales, proyectos de mejora productiva, proyectos de emprendimiento entre otros, que operan a escalas muy grandes dificultando su apropiación, escalamiento y posterior financiamiento (World Agroforestry, 2020). Sin embargo, los niveles de deforestación siguen en aumento y también la pobreza multidimensional.

Con el propósito de convertir a la conservación y restauración en un proceso que contribuya al mejoramiento de las condiciones de vida de la gente a través de la generación de ingresos, la Universidad Católica dio origen a esta iniciativa que vincula a las familias productoras de la amazonía al mercado voluntario de carbono, donde las retribuciones son administradas por las propias familias y se destinan al cumplimiento de un plan de inversión familiar. Aún cuando las retribuciones por carbono generan ingresos adicionales a las actividades productivas de los productores agropecuarios, estos no son suficientes para suplir el déficit financiero de las familias (Fronde, 2004), por lo que los restauradores del equipo CDC advierten sobre la necesidad de generar mecanismos adicionales financieros que provengan de otros servicios ecosistémicos, adicionales al carbono, y que les permitan a los productores salir de la pobreza extrema. Según los restauradores, el establecimiento de estos mecanismos financieros adicionales requiere la consideración de elementos clave tales como el aseguramiento de fuentes de agua para consumo y riego, diversidad de productos de agrobiodiversidad para mejorar hábitos de alimentación y salud, entornos ambientalmente saludables en las chacras libres de contaminación por residuos sólidos y agroquímicos, oportunidades financieras para hombres y mujeres a partir de otros servicios ecosistémicos, y fortalecimiento de capacidades y competencias de las familias, así como de las relaciones con otras personas e instituciones. También los restauradores resaltan la importancia de

calcular con precisión el valor de los ecosistemas que se restauran, así como el impacto económico que los bonos de carbono pueden tener en las economías locales. El análisis de los costos y beneficios asociados a la restauración de tierras degradadas proporciona una visión clara de cómo la forestación puede ser una vía viable para mejorar la calidad de vida de los agricultores, al tiempo que se contribuye a la mitigación del cambio climático.

El Programa de Carbono que se desarrolla en la Amazonía Central del Perú tiene dos componentes (Peña, 2022):

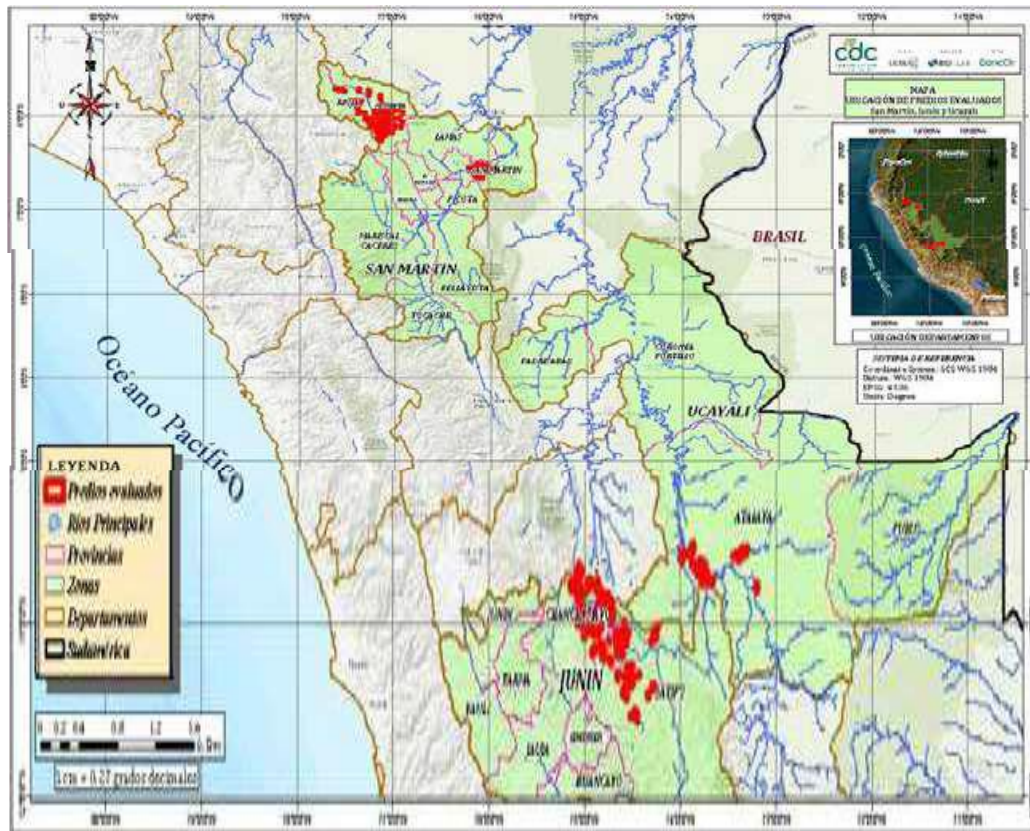
- Generación de relictos de bosque (programa REDD+).
- Restauración ecológica, reforestación y forestación (programa ARR).

Aún cuando se registran avances en este proceso hasta la fecha, subsisten dificultades para su sostenibilidad en el tiempo. De acuerdo a los restauradores, Perú debe avanzar “recuperando su capital natural y no dejando a nadie atrás”.

### Ambito de Intervención del proyecto CDC

La iniciativa de Compensación Digital de la Conservación en el Perú se está desarrollando en los departamentos de San Martín, Junín y Ucayali con 921 predios incluidos y una concesión de conservación en un área total de 17.613 ha (Figura 3).

**Figura 3.** *Ámbito de intervención del Proyecto Compensación Digital de la Conservación, Perú (Tomado de CDC (2022)).*



El distrito de Atalaya, ubicado en la región Ucayali (sitio de visita durante el intercambio académico entre la USTA y la Universidad Católica), es una de las zonas más representativas de la Selva Central del Perú. Se sitúa en la confluencia de los ríos Tambo y Urubamba, que al unirse forman el río Ucayali, uno de los principales afluentes del Amazonas. Este territorio forma parte de la provincia de Atalaya, que limita con los departamentos de Pasco, Junín, Cusco y Madre de Dios, y se caracteriza por su vasta cobertura boscosa, alta pluviosidad y biodiversidad excepcional.

La provincia abarca diversos tipos de ecosistemas, desde bosques primarios poco intervenidos, hasta bosques secundarios en proceso de recuperación tras la actividad agrícola o forestal. Estos ecosistemas son esenciales no solo para la captura de carbono y la regulación hídrica, sino también para la subsistencia de las comunidades indígenas y campesinas que habitan la zona. En términos ecológicos, Atalaya cuenta con una enorme variedad de microhábitats generados por su compleja red hidrográfica de ríos, quebradas y cochas (lagunas temporales). Esta variedad paisajística permite la existencia de especies endémicas y es fundamental para procesos de restauración ecológica, especialmente cuando se utilizan especies nativas.

## Resultados e Impactos

En el análisis integral de proyectos de restauración ecológica asociados a bonos de carbono, se identifican múltiples parámetros de interés agrupados en dimensiones ambientales, socioeconómicas, culturales y técnicas. Estos permiten evaluar tanto la efectividad ecológica como

Desde el enfoque ambiental, destacan variables como la captura de carbono (medida en tCO<sub>2</sub>), el incremento de la cobertura vegetal, la recuperación de biodiversidad, la mejora de la calidad del suelo y la regulación hídrica. Según diferentes autores las soluciones basadas en la naturaleza, incluyendo la restauración forestal, podrían contribuir hasta con el 30% de la mitigación necesaria para alcanzar las metas del Acuerdo de París (Sandom et al., 2020). En el caso del proyecto REDD+ en la región de Ucayali (Perú), se evidenció un aumento de biomasa aérea y subterránea de hasta un 35% en cinco años, con impactos positivos en la fauna y la calidad del agua. Otro estudio realizado en la región de San Martín, Perú, evaluó las reservas de carbono en sistemas agroforestales de café bajo diferentes manejos (Vallejo et al, 2024). Los resultados indicaron que las plantaciones de café con árboles de sombra del género *Inga* almacenaban 118.2 toneladas de carbono por hectárea, mientras que aquellas sin sombra almacenaban solo 31.1 toneladas por hectárea (Vallejo et al, 2024). Adicionalmente, un análisis del ciclo de vida del café orgánico producido por pequeños agricultores en el norte del Perú estimó que la huella de carbono de 1 kg de café verde es de aproximadamente 0.90 kg CO<sub>2</sub>e (Torres et al, 2024). Este estudio resalta la importancia de adoptar prácticas agrícolas sostenibles para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la cadena productiva (Kekes et al, 2024). Esto es, es destacable la importancia de integrar árboles de sombra en las plantaciones de café para aumentar la capacidad de secuestro de carbono y mejorar la sostenibilidad del sistema productivo. Algunos otros estudios en Perú han reportado lo siguiente:

- Un secuestro promedio de 34.4 Mg C/Ha en sistemas silvopastoriles en San Martín (Salazar et al., 2024).
- Mejoras en la salud del suelo con incremento de hasta un 25% en materia orgánica y retención hídrica (Vallejo et al., 2023)

Todos estos indicadores son esenciales para la emisión de créditos de carbono certificados.

En la dimensión socioeconómica, los parámetros clave incluyen los ingresos percibidos por las familias campesinas, la participación comunitaria en las decisiones del proyecto, la satisfacción de los beneficiarios y la sostenibilidad financiera. En Colombia, un proyecto de restauración liderado por la Fundación Natura y financiado por el Banco Mundial (World Bank, 2022), reporta que el 70% de los hogares participantes aumentarían sus ingresos gracias a actividades agroforestales vinculadas al programa de carbono, mejorando también la cohesión social y el sentido de apropiación del territorio (Fundación Natura, 2023). Estudios como los de “Lopez (2024)” argumentan que los conocimientos ecológicos tradicionales permiten una restauración más coherente con la identidad cultural local, fomentando tanto la conectividad ecológica como social. En la selva central del Perú, las comunidades Yánasha han integrado rituales tradicionales con procesos de reforestación, fortaleciendo su vínculo espiritual con el bosque (Lopez, 2024). Algunos otros estudios de dimensión socioeconómica asociada a bonos de carbono han revelado que:

- Ingreso por bonos de carbono: “productores cafetaleros de San Martín recibieron hasta USD 2,470 (\$/9,000) por venta de bonos de carbono” (Mora, 2023).
- Participación comunitaria: se mide por la inclusión comunitaria en la toma de decisiones, monitoreo y actividades de restauración (Solis et al., 2020).
- Diversificación de ingresos: Implica la integración con cultivos de café, cacao y frutales. Algunos estudios reportan incrementos del 18% en la productividad cafetera bajo sistemas agroforestales bien diseñados (Solis et al., 2020).

Percepción de beneficios: Las encuestas revelan un 85% de satisfacción en productores vinculados a estos esquemas, destacando mejoras en la seguridad alimentaria y calidad del suelo.

Por último, en el plano técnico, se consideran parámetros como la tasa de supervivencia de los árboles (indicador de éxito silvícola), el uso de tecnologías GPS, monitoreo fotográfico georreferenciado y los costos operativos del proyecto. El uso de herramientas digitales ha permitido mejorar la trazabilidad de las plantaciones, como se observa en la plataforma Treevia en Brasil, que monitorea remotamente la captura de carbono y el crecimiento de especies nativas en tiempo real (Treevia, 2023).

En conjunto, estos parámetros no solo permiten evaluar el cumplimiento de metas de captura de carbono, sino que aseguran la integridad ecológica, la viabilidad económica y el respeto

por las tradiciones locales, haciendo que los proyectos de restauración sean sostenibles y culturalmente pertinentes.

### **Pasos en la Plataforma CDC**

De acuerdo con los restauradores del proyecto Compensación Digital de la Conservación CDC la sostenibilidad de un proyecto de carbono requiere que la conservación y la restauración sean dimensionadas como el producto de un manejo efectivo del territorio (Peña, 2022). La iniciativa de carbono asociada a este proyecto se sustenta estratégicamente en la capacidad de gestión de los recursos naturales a escala de predio o chacra, de tal manera que se incrementen las áreas conservadas y restauradas, y se logre la vinculación intersectorial bajo un modelo de gobernanza multiactor (Peña, 2022). Este proceso debe estar asociado a un proceso de ordenamiento del territorio que integre e impacte la escala local de chacra y la escala regional de paisaje.

Aunque la vinculación de pequeñas familias a un mercado voluntario de carbono puede representar un gran logro en términos de los ingresos que reciben las familias, quizás el mayor logro es el haber alcanzado un ordenamiento de la información catastral, cartográfica de línea base y de concertación de acciones a largo plazo (Peña, 2022). Esto es, el mercado de carbono puede ser transformado en una excelente estrategia de ordenamiento territorial y predial.

Las etapas y pasos llevadas a cabo en la aplicación del esquema CDC a escala predio o chacra son las siguientes (Peña, 2022).

#### ***Etapas y pasos llevadas a cabo en la aplicación del esquema CDC a escala predio o chacra son las siguientes (Peña, 2022).***

- Paso 0: Reconocimiento de las prioridades ambientales. Se realizó teniendo en cuenta las prioridades nacionales de lucha contra la deforestación, emisiones de gases GEI y las prioridades de las familias en términos de un mejor manejo de las chacras, mejores ingresos y entornos saludables.
- Paso 1: Análisis de contexto. Se realizó a partir de la información de cada familia, la cartografía del predio y el plan de inversión familiar.
- Paso 2: Análisis multiactor. Proceso difícil de generación de gobernanza local conducente a la generación de múltiples alianzas con los diferentes actores del territorio.

### ***Etapa 2. Diseño del modelo de gestión de recursos naturales***

- Paso 3. Visión común /Cambio deseado. Conciliación de lo establecido en el estándar de carbono con lo establecido en el plan de inversión familiar.
- Paso 4: Cadena de resultados. De acuerdo a lo establecido en los estándares de certificación de carbono.
- Paso 5: Definición de acuerdos. Acuerdos de cada familia con la universidad para el desarrollo de la iniciativa.

### ***Etapa 3. Implementación del modelo de gestión de recursos naturales***

- Paso 6: Implementación del modelo. Establecimiento de promotores locales para la coordinación con las familias, que son consideradas como socias del proyecto.

### ***Etapa 4. Monitoreo y evaluación del modelo de gestión de recursos naturales.***

- Paso 7: Monitoreo y evaluación de cambios. Monitoreo a los acuerdos sobre conservación, restauración, reforestación, agroforestales y seguimiento a los planes de inversión familiar.
- Paso 8: Aprendizajes para el cambio. Sistematización de experiencias y aprendizajes en torno al mercado de carbono e identificación de oportunidades de mejora de la retribución económica a familias a partir de servicios ecosistémicos.

La restauración ecológica en la selva central del Perú, vinculada a mecanismos financieros como los bonos de carbono, ha mostrado resultados importantes tanto en la captura de carbono como en beneficios socioeconómicos para las comunidades locales.

A continuación, se detallan los principales logros en la consolidación del mercado de carbono con las familias socias del proyecto CDC en la Amazonía Peruana:

#### ***1. Zonificación y características del predio***

La identificación de áreas degradadas y su potencial para la restauración es esencial. Estudios recientes indican que los sistemas agroforestales de café en la Amazonía peruana pueden almacenar hasta 118.2 toneladas de carbono por hectárea, en comparación con las 132.2 toneladas en bosques secundarios, lo que subraya el potencial de estas prácticas para la captura de carbono (Solis et al., 2020).

## 2. *Selección de áreas prioritarias para restauración*

La priorización de zonas cercanas a fuentes hídricas y áreas con alta erosión ha sido efectiva. Investigaciones en la región han demostrado que la implementación de sistemas agroforestales con especies nativas no solo mejora la captura de carbono, sino que también contribuye a la conservación de la biodiversidad y la protección de suelos (Porro et al., 2012).

## 3. *Caracterización ecológica rápida*

La evaluación del estado de degradación y el potencial de regeneración natural ha permitido seleccionar especies nativas adecuadas para la restauración. Se ha observado que la presencia de proteínas del suelo relacionadas con la glomalina es mayor en sistemas de café sin sombra, alcanzando 18.5 mg/g lo que sugiere una actividad significativa de hongos micorrízicos arbusculares en estos sistemas (Solis et al., 2020).

## 4. *Implementación de acciones de rehabilitación y restauración*

La integración de especies como *Inga sp.* -Guamo, en sistemas agroforestales de café ha resultado en un aumento notable de las reservas de carbono. Estudios recientes reportan que estos sistemas pueden alcanzar reservas de carbono de hasta 118.2 t/Ha acercándose a los valores encontrados en bosques secundarios (Solis et al., 2020).

## 5. *Monitoreo participativo*

La implementación de sistemas de monitoreo con la participación de las comunidades locales ha fortalecido el empoderamiento y la apropiación de los proyectos de restauración. Además, ha facilitado la recolección de datos precisos sobre el crecimiento de las especies plantadas y la captura de carbono, esenciales para la verificación de los bonos de carbono (Porro et al., 2012).

## 6. *Impacto en la captura de carbono*

Las iniciativas de restauración ecológica en la selva central del Perú han demostrado ser efectivas en la captura de carbono, contribuyendo significativamente a la mitigación del cambio climático. Estudios recientes indican que las áreas protegidas y los territorios indígenas en la Amazonía peruana almacenan aproximadamente 1.400 millones de toneladas métricas de carbono sobre el suelo, resaltando la importancia de estas zonas en la conservación del carbono forestal (MAAP, 2024).

Además, un análisis de datos satelitales ha identificado que las regiones con mayor densidad de carbono se encuentran en el suroeste de la Amazonía, específicamente en el sur de

Perú y el oeste de Brasil. Estas áreas, que contienen los árboles más grandes y densos, son fundamentales para la absorción de gases de efecto invernadero y, por lo tanto, son prioritarias para estrategias de conservación (Radwin, 2024).

Sin embargo, es preocupante que cerca del 40% de estas áreas críticas para restauración no cuentan con protección oficial, lo que las hace vulnerables a actividades como la deforestación y la explotación agrícola. La falta de designaciones formales de conservación en estas regiones podría comprometer la capacidad de la Amazonía para actuar como sumidero de carbono en el futuro (Spring, 2024).

#### 7. *Resultados socioeconómicos adicionales*

La implementación de proyectos de restauración ecológica, respaldados por mercados de carbono, ha generado beneficios económicos y sociales para las comunidades locales en la Amazonía peruana. Un análisis de iniciativas en América Latina destaca que la región está bien posicionada para contribuir significativamente a proyectos de compensación de carbono forestal de alta calidad, diseñados para reducir las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación forestal (Blanton et al., 2024).

Estos proyectos no solo proporcionan ingresos adicionales a las comunidades a través de la venta de créditos de carbono, sino que también promueven la conservación de los bosques y la biodiversidad. Sin embargo, es esencial garantizar que los beneficios económicos se distribuyan equitativamente y que las comunidades locales participen activamente en la toma de decisiones para asegurar la sostenibilidad y el éxito a largo plazo de estas iniciativas.

## Discusión

Los resultados evidenciados en el marco de la restauración ecológica en la selva central del Perú y la implementación de mecanismos financieros, como los bonos de carbono, muestran un potencial para contribuir a la mitigación del cambio climático y para generar beneficios socioeconómicos en comunidades locales. La integración de sistemas agroforestales en zonas cafetaleras, según “Solis et al. (2020)”, revela que la introducción de especies nativas en combinación con cultivos comerciales puede lograr reservas de carbono que se aproximan a las de bosques secundarios (Solis et al., 2020). Estos hallazgos son consistentes con la necesidad de aprovechar el potencial de los ecosistemas tropicales para la captura de carbono, como parte de estrategias globales para reducir la emisión de gases de efecto invernadero (Porro et al., 2012).

La zonificación y caracterización de predios mediante métodos participativos ha evidenciado que aproximadamente el 35% de las áreas degradadas pueden ser destinadas a la restauración sin afectar la seguridad alimentaria, lo cual es un aspecto crucial para la aceptación de estas iniciativas por parte de las comunidades (Solis et al., 2020).. Este enfoque participativo no solo facilita la identificación de zonas prioritarias, sino que también fortalece el empoderamiento local, al involucrar a los agricultores en el monitoreo y evaluación de los proyectos.

En cuanto a la captura de carbono, la literatura reciente respalda que los sistemas agroforestales establecidos en estas regiones pueden capturar entre 80 y 120 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por hectárea durante las primeras dos décadas (Souza et al., 2021). Estas cifras, junto con los datos satelitales que indican la existencia de áreas con alta densidad de carbono (MAAP, 2024), subrayan la importancia de proteger y restaurar las regiones críticas de la Amazonía, sobre todo en un escenario donde casi el 40% de estas zonas aún carecen de protección oficial (Spring, 2024).

Desde la perspectiva socioeconómica, los resultados demuestran que los ingresos derivados de la venta de bonos de carbono pueden representar un complemento valioso a las actividades productivas tradicionales. La experiencia de proyectos liderados por organizaciones como “The Nature Conservancy” ha evidenciado que estos esquemas pueden generar ingresos adicionales de hasta USD 150–300 por hectárea anual, facilitando la diversificación de las fuentes de ingreso y mejorando la calidad de vida de los agricultores (Batini et al., 2021). Sin embargo, es importante

resaltar que la distribución equitativa de estos beneficios y la sostenibilidad a largo plazo dependen de una implementación rigurosa y del fortalecimiento de capacidades técnicas en las comunidades.

Si bien los resultados son alentadores, la discusión revela ciertos vacíos en la literatura actual. A pesar de que se han publicado datos cuantificables sobre la captura de carbono en sistemas agroforestales, la evaluación integral del impacto socioeconómico sigue siendo limitada en contextos específicos como la selva central o las zonas cafetaleras del Perú. La mayoría de los estudios consultados se centran en análisis comparativos con regiones vecinas, por lo que se requiere investigación adicional que profundice en la dinámica local, las barreras de implementación y los mecanismos de gobernanza que aseguren la continuidad y escalabilidad de estos proyectos.

En conclusión, la evidencia sugiere que la restauración ecológica apoyada en bonos de carbono puede ofrecer una solución dual: contribuir significativamente a la mitigación del cambio climático y mejorar las condiciones de vida de las comunidades rurales. No obstante, para consolidar esta estrategia como una herramienta de desarrollo sostenible, es necesario continuar con estudios de largo plazo y evaluaciones integradas que permitan optimizar los modelos existentes y adaptar las intervenciones a la realidad socioambiental de cada territorio.

Este estado del arte muestra que la restauración ecológica en el contexto de mercados de carbono es mucho más compleja de lo que se podría pensar. No existe una solución fácil o universal a iniciativas exitosas dada la gran diversidad de especies, de tipos de ecosistema y de ambientes sociales y culturales. En casos donde las comunidades locales dependen para su supervivencia de paisajes alterados, los objetivos de restauración pueden ser alcanzados solo mediante la generación de un mosaico de usos del suelo a escala de paisaje y con el compromiso de la sociedad en el largo plazo. A pesar de las complejidades inherentes asociadas a la implementación de iniciativas como el proyecto CDC, hay proyectos exitosos en marcha y otros por construir. En los últimos 30-50 años el concepto de restauración ecológica se ha transformado en un objetivo de sostenibilidad y se han desarrollado instrumentos técnicos y metodológicos para superar las barreras impuestas por las condiciones socioambientales a los procesos de restauración y captura de carbono. Esto implica que de alguna manera hoy se considera factible la recuperación de cientos de hectáreas degradadas que en regiones como la Amazonía son una prioridad. Sin embargo, el alcance de estos objetivos ambiciosos solo podría ser posible si se involucra a las comunidades locales, a las entidades públicas encargadas, a las ONGs, a los restauradores e investigadores y a los propietarios de

predios. La superación de esas barreras socioeconómicas y políticas requiere de una buena gobernanza local, de mecanismos de financiación a largo plazo de proyectos de captura de carbono, de medidas de protección y conservación de los sitios restaurados y de una efectiva comunicación entre restauradores y propietarios de predios principalmente de pequeña extensión, Solo así serán exitosos los mecanismos financieros de captura de carbono y la restauración ecológica.

## Referencias

- Barlow, J., Gardner, T. A., & Costa, J. (2007). Quantifying the biodiversity value of tropical primary, secondary, and plantation forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104(47). 18555-18560. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703333104>
- Batini, N., Di Serio, M., Fragetta, M., Melina, G y Waldron, A. (2022). Building back better: How big are green spending multipliers? En *Ecological Economics* 193. 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107305>
- Blanton, A., Mohan, M., Galgamuwa, GAP, Watt, MS, Montenegro, JF, Mills, F., Carlsen, SCH, Valasquez-Camacho, L., Bomfim, B., Pons, J., Broadbent, EN, Kaur, A., Direk, S., de-Miguel, S., Ortega, M., Abdullah, M., Rondon, M., Wan Mohd Jaafar, WS, Silva, CA, ... Ewane, EB (. (2024). The status of forest carbon markets in Latin America. *Journal of Environmental Management*. 352. 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119921>
- Cámara Peruana del Café y Cacao (Camcafe). (19, octubre de 2021). *Café libre de deforestación: cómo puede contribuir a la sostenibilidad*. <https://camcafeperu.com.pe/ES/articulo.php?id=>
- Chazdon, R., Brancalion, P., Lamb, D y Laestadius, L. (2015). *A Policy-Driven Knowledge Agenda for Global Forest and Landscape Restoration*. *Conservation Letters*. 10(1). 1-8. <http://dx.doi.org/10.1111/conl.12220>
- Compensación Digital de la Conservación (CDC). (2022). *Información general de CDC*. <https://conservacioncdc.pe/>
- Culqui, L., Huaman, A., Pariente, E., Quilcate Pérez, P., Leiva Tafur, D., Juárez. Contreras, L., Haro, N y Cruz, M. (2025). Influence of the tree species on soil parameters and carbon sequestration in silvopastoral systems, Molinopampa district, Amazonas region, Peru. *Trees, Forests and People*. 19. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100748>
- Di Sacco, A., Hardwick, K., Blakesley, D y Brancalion, P. (2021). Ten guidelines for tree planting initiatives to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits. *Glob chang*. 27(7). 1328-1348. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.15498>
- Dooley, K. , Nicholls, Z. , y Meinshausen, M. (2022). La eliminación de carbono mediante la restauración de la naturaleza no sustituye a una reducción drástica de las emisiones. *One Earth* 5 (7) 812-824. [10.1016/j.oneear.2022.06.002](https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.06.002) .
- European Commission. (2022). *Climate action*. [https://climate.ec.europa.eu/index\\_en](https://climate.ec.europa.eu/index_en)

- Finalyson, R. (2018). *El bosque es un aliado, no un enemigo: ¿pueden las chacras peruanas apoyar la biodiversidad?* World Agroforestry. <https://worldagroforestry.org/blog/2018/09/09/el-bosque-es-un-aliado-no-un-enemigo-pueden-las-chacras-peruanas-apoyar-la-biodiversidad>
- Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (Fonafifo). (2021). *Información generañ de Fonafifo*. <https://www.fonafifo.go.cr/es/>
- Fronde, M., & Schmidt. (2004). Facing the truth about separability: nothing works without energy. *Ecological Economics* 51(3 y 4). 217-223). <https://www-sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0921800904002629>
- Fundación Natura, Colombia. (2023). *Informes de gestión 2023*. <https://natura.org.co/wp-content/uploads/2024/12/Informe-de-gestion-2023-Colombia-biocultural-la-gestion-de-Fundacion-Natura-en-los-territorios.pdf>
- Griscom, B., Adams, J., Ellis, P y Houghton, R.. (2017). Proceedings of the National Academy of Sciences. *Natural climate solutions*, 144(44), 11645-11650. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1710465114>
- Grupta, J. (2014). *A Normative Issues in Global Environmental Governance: Connecting Climate Change, Water and Forests*. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. 28(3). 1-21. <http://dx.doi.org/10.1007/s10806-014-9509-8>
- Gusukama, M., Cornejo, C., Dueñas, A., Muñoz, S y Quispe, I.. (2024). Carbon footprint of organic coffee: Peruvian case study. *Cleaner and Circular Bioeconomy* 9. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2024.100110>
- Hamrick, K y Gallant, M. (2017). *State of the Voluntary Carbon Markets 2017*. Ecosystems Marketplace. <https://www.forest-trends.org/publications/unlocking-potential/>
- Hill, R., Jarvis, D., Maclean, K., Melgar, D. O., Woodward, E., Carter, R., Ewamian Limited, Rassip, W., Rist, P. y Claro, E.. (2025). Community-based approaches to biodiversity finance. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 73. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2025.101521>
- Kawasaki, J., Padgee, A., Silalertruksa, T., Waijaroen, D y Lamittipon, S y Phumee, P. (2015). Developing REDD+ Strategies in Thailand: A Case Study of Drivers of Deforestation, Forest Degradation and Possible Countermeasures in the Phu Wiang National Park (PWNP) Area, Khon Kaen Province; Commissioned Report. En *Institute for Global Environmental Strategies*. <https://www.iges.or.jp/en/pub/developing-redd-strategies-thailand-case-study/en>

- Kekes, T., Koskinakis, S., Boukouvalas, C y Krokida, M. (2025). *Enhancing Environmental Sustainability in the Coffee Processing Industry via Energy Recovery and Optimization: A Life Cycle Assessment Case Study*. Sustainability. 17(3). 1-21. <https://doi.org/10.3390/su17031334>
- Lamb, D. (2014). *Large-Scale Forest Restoration*. London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203071649>
- Lewis, S., Wheeler, C., Mitchard, E., & Koch, A. (2019). Regenerate natural forests to store carbon. *Nature*, 568(25.28). 1-21. <https://media.nature.com/original/magazine-assets/d41586-019-01026-8/16588506>
- López Vargas, L. E., & Macías Pinto, D. J. (2025). La restauración ecológica biocultural: proceso consuetudinario de las comunidades afrocaucanas. *Revista Interamericana De Investigación Educación Y Pedagogía RIIEP*, 18(1), 247-266. <https://doi.org/10.15332/25005421.9855>
- Miller, M. (18, julio de 2024). *Agroforestry In Peru And Its Potential For Ecosystem Restoration*. Obtenido de Green Marked: <https://greenmarked.it/agroforestry-in-peru-and-its-potential-for-ecosystem-restoration/>
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2017). *El 91% de la deforestación de los bosques de la Amazonía se da por la agricultura informal (La República – 17/08/2017)*. Obtenido de Minam: <https://www.minam.gob.pe/medios/prensa-escrita/el-91-de-la-deforestacion-de-los-bosques-de-la-amazonia-se-da-por-la-agricultura-informal-la-republica-17082017/>
- Mitchard, E. T. (2018). The tropical forest carbon cycle and climate change. *Nature*, 559(7715), 527-538. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0300-2>
- Monitoring of the Andes Amazon Program (MAAP). (25, Junio de 2024). *MAAP #213: Estimating Carbon in Amazon Protected Areas & Indigenous Territories*. <https://www.maaprogram.org/maap-213-estimating-carbon-in-amazon-protected-areas-indigenous-territories/>
- Mora, J. (5 de Diciembre de 2023). *Asómbtrate Perú: Productores cafetaleros de san martin recibieron hasta usd 2470 (s/9,000) por venta de bonos de carbono*. Asombrate: <https://asombrate.org/asombrate-peru-productores-cafetaleros-de-san-martin-recibieron-hasta-usd-2470-s-9000-por-venta-de-bonos-de-carbono/>
- Navarrete, C., Juarez, H., Hualla, V., Gutiérrez, D., Sylvester, J., Vanegas, M., Pradel, W., Castro, A. 2023. Deforestación en la Amazonia Peruana: Modelamiento de Promotores. Centro Internacional de la Papa. 39 p. <https://doi.org/10.4160/cip.2023.12.022>

- News Center Microsoft Latinoamérica. (2023). *Iniciativa de incorporación de productores cafetaleros peruanos en el mercado de bonos de carbono es reconocida en los Premios Bóscares*. <https://news.microsoft.com/es-xl/iniciativa-de-incorporacion-de-productores-cafetaleros-peruanos-en-el-mercado-de-bonos-de-carbono-es-reconocida-en-los-premios-boscars/>
- Norandino. (10, septiembre de 2024). *Reforestación y Bonos de Carbono*. <https://coopnorandino.com.pe/reforestacion-y-bonos-de-carbono/>
- Organizaciones de las Naciones Unidas (ONU). (14, marzo de 2008). Framework Convention on Climate Change (Reducing emissions from deforestation in developing countries: Approaches to stimulate action. En *Report of the Conference of the Parties on its thirteenth session, held in Bali from 3 to 15 December 20* (págs. 8-11). <https://unfccc.int/documents/5079>
- Orozco Amaris, J. (2023). *Pensamiento crítico latinoamericano*. [Artículo académico]. Institución universitaria Iberoamericana. [https://www.researchgate.net/publication/376046598\\_Pensamiento\\_critico\\_latinoamericano](https://www.researchgate.net/publication/376046598_Pensamiento_critico_latinoamericano)
- Pagiola, S., Arcenas, A y Platais, G. (2005). Can Payments for Environmental Services Help Reduce Poverty? An Exploration of the Issues and the Evidence to Date from Latin America. *World Development*. 33(2). 237-253. <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.07.011>
- Pascual, U., Phelps, J., Garmendia, E., y Brown, K. (2014). Social Equity Matters in Payments for Ecosystem Services. *BioScience*. 20(10). 1-10. <http://dx.doi.org/10.1093/biosci/biu146>
- Peña, P. (2, julio de 2022). *Policies and Regulations for REDD+ Carbon Markets in Peru (June 2022)*. LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/policies-regulations-redd-carbon-markets-peru-june-2022-pablo-pe%C3%B1a/>
- Porro, R., Miller, R., Tito, M., y Donovan, J. V. (2012). Agroforestry in the Amazon region: A pathway for balancing conservation and development. En *P. K. R. Nair & D. Garrity (Eds.). Agroforestry - The future of global land use* (págs. 391-428). Springer. [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-4676-3\\_20](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-4676-3_20)
- Radwin, M. (12, septiembre de 2024). *Clearest picture yet of Amazon carbon density could help guide conservation*. Mongabay. <https://news.mongabay.com/2024/09/clearest-picture-yet-of-amazon-carbon-density-could-help-guide-conservation/>

- Ravikumar, A., Chairez Uriarte, E., Lizano, D., Muñoz Ledo Farré, A., y Montero, M. (2023). How payments for ecosystem services can undermine Indigenous institutions: The case of Peru's Ampiyacu-Apayacu watershed. *Ecological Economics* 205. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107723>.
- Restore Our Future Bonn Challenge. (2020). The Bonn Challenge: <https://www.bonnchallenge.org/>
- Rodríguez, D y y del Águila, P. (2014). *Valuation of Environmental Services in the Managed Forests of Seven Indigenous Communities in Ucayali, Peru. REDD+ on the ground*. CIFOR. <https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/5269/>
- Salazar, R., Alegre, J., Pizarro, D., y Duff, A. (2024). Soil carbon stock potential in pastoral and silvopastoral systems in the Peruvian Amazon. En *Agroforestry Systems* 98(7). 2157-2167. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-024-00969-w>
- Sandom, C. J., Middleton, O., Lundgren, E., Rowan, J., Schowanek, S. D., Svenning, J.-C., & Faurby, S. (2020). Trophic rewilding presents regionally specific opportunities for mitigating climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 375(1794). <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0125>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). (2018). *Lineamientos para la restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre del Perú*. <https://www.gob.pe/institucion/serfor/informes-publicaciones/1124184-lineamientos-para-la-restauracion-de-ecosistemas-forestales-y-otros-ecosistemas-de-vegetacion-silvestre>
- Seydewitz, T., Pradhan, P., Landholm, D., y Kropp, J. (2023). Deforestation Drivers Across the Tropics and Their Impacts on Carbon Stocks and Ecosystem Services. *Anthropocene Science* 2(8). 81-92). <http://dx.doi.org/10.1007/s44177-023-00051-7>
- Society for Ecological Restoration (SER) (2004). *Principios de SER International sobre la Restauración Ecológica*. International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. [https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER\\_Primer/ser-primer-spanish.pdf](https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-spanish.pdf)
- Solis, R., Vallejos-Torres, G., Arévalo, L., Marín-Díaz, J., Ñique-Alvarez, M., Engedal, T., & Bruun, T. B. (2020). Carbon stocks and the use of shade trees in different coffee growing systems in the Peruvian Amazon. *The Journal of Agricultural Science*, 158(6), 450–460. doi:10.1017/S002185962000074X

- Spring, J. (11, septiembre de 2024). *Nearly 40% of Amazon rainforest most vital to climate left unprotected, data show*. Reuters: <https://www.reuters.com/world/americas/nearly-40-amazon-rainforest-most-vital-climate-left-unprotected-data-show-2024-09-11/>
- Terán-Cano, F., Nivelá-Cornejo, M. A., & Muñoz-Feraud, I. L. (2023). El enfoque epistemológico racionalista en los procesos de investigación. *Revista Científica Arbitrada De Investigación En Comunicación, Marketing Y Empresa REICOMUNICAR*. ISSN 2737-6354., 6(12), 44-60. <https://reicomunicar.org/index.php/reicomunicar/article/view/165>
- Treivia. (2023). Monitoramento online e Gestão de ativos em um só lugar: <https://treevia.com.br/>
- Vallejos-Torres, G., Gaona-Jimenez, N., Lozano, A., Paredes, C. I., Lozano, C. M., Alva-Arévalo, A., Saavedra-Ramírez, J., Arévalo, L. A., Reategui, K., Mendoza, W., Baselly-Villanueva, J. R., & Marín, C. (2023). Soil organic carbon balance across contrasting plant cover ecosystems in the Peruvian Amazon. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 83(5), 553–564. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392023000500553>
- Vallejos-Torres, G., Gaona-Jimenez, N., Pichis-García, R., Ordoñez, L., García-Gonzales, P., Quinteros, A., Lozano, A., Saavedra-Ramírez, J., Tuesta-Hidalgo, J. C., Reategui, K., Macedo-Córdova, W., Baselly-Villanueva, J. R., & Marín, C. (2024). Carbon reserves in coffee agroforestry in the Peruvian Amazon. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1410418>
- World Agroforestry. (2020). *Evaluación de impactos del proyecto REDD+ en concesiones castañeras de Madre de Dios*. Cifor: <https://www.cifor-icraf.org/es/conocimiento/presentacion/17059/>
- World Bank Group. (2022). *How Jobs Can Help Fight Poverty and Unlock Prosperity Find out why we're ramping up efforts and taking a three-pillar approach to boost jobs*: <https://www.worldbank.org/ext/en/home>