PROYECTO REDD+ COSTA RICA
Pagos Basados en Resultados

REDD+ Y SU IMPACTO EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LOS SUELOS FORESTALES DE COSTA RICA

REDD+ y su impacto en el almacenamiento de carbono en los suelos forestales de Costa Rica

Los suelos forestales son depósitos esenciales de carbono, compuestos principalmente por carbono orgánico e inorgánico. Estudios como el de Smith et al. (2021) han demostrado que dichos suelos almacenan grandes cantidades de carbono, lo cual los hace vitales para mitigar el cambio climático. El carbono orgánico se encuentra en la materia en descomposición, mientras que el inorgánico se halla en minerales y otros compuestos inorgánicos en el suelo.

El carbono en los suelos forestales de Costa Rica es invaluable para mitigar el cambio climático y mantener la biodiversidad. Pese a ello, estos suelos son amenazados por la deforestación, el cambio de uso del suelo y actividades agrícolas intensivas. Según Pérez y Araya (2023), tales actividades provocan la pérdida de carbono almacenado allí, afectando su capacidad para mitigar el cambio climático y mantener la salud del ecosistema.

Para preservar el carbono en los suelos forestales de Costa Rica, es esencial implementar estrategias de conservación y ejecutar acciones inmediatas y coordinadas. Reforestación, restauración de suelos y prácticas agrícolas sostenibles son algunas de las acciones claves, según afirma el estudio de Vargas et al. (2022). Estas estrategias deben ser respaldadas por políticas adecuadas y programas educativos, para concienciar sobre la importancia de los suelos forestales y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de estos ecosistemas cruciales. Las investigaciones continuas y la educación pública son claves para informar y movilizar a la sociedad hacia un manejo responsable de este recurso esencial.

La iniciativa de reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal, conocida como REDD+, es crucial para abordar la deforestación y su impacto en las emisiones de carbono. Es por ellos que este artículo revisa el papel de REDD+ en la conservación de los suelos forestales y el almacenamiento de carbono en el contexto de Costa Rica, destacando investigaciones actuales y su relevancia para la mitigación del cambio climático.

REDD+: un enfoque integral para la conservación de bosques y carbono

REDD+ es una estrategia global diseñada para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de la deforestación y de la degradación forestal. Además, busca fomentar la conservación y el manejo sostenible de los bosques, así como el aumento de las reservas de carbono. Como mencionan Smith y colaboradores (2022), este enfoque se basa en incentivos financieros y no financieros para estimular acciones que contribuyan a la conservación y restauración de los bosques.

La Estrategia Nacional REDD+ Costa Rica se construyó a partir de un largo proceso de consulta durante la preparación para REDD+, que se realizó desde 2011 y hasta 2015. La ambición de esta estrategia sobrepasa lo planteado por una posible venta de reducción de emisiones en marco del Fondo de Carbono, ya que aspira al cumplimiento de acciones y medidas planteadas para atacar los motores de la deforestación y la degradación. Por ello, Costa Rica es reconocida como un modelo de éxito en la implementación de REDD+. Según el informe de la Secretaría de Ambiente y Energía de Costa Rica (2023), el país ha logrado reducir significativamente la tasa de deforestación y ha implementado medidas efectivas para conservar sus bosques y almacenar carbono.

REDD+ influye en la conservación de carbono en los suelos forestales de varias formas. Primero, promueve la reducción de la deforestación, lo que implica que menos carbono sea liberado a la atmósfera. Además, incentivas prácticas de manejo sostenible como la reforestación y la restauración ecológica, que favorecen la acumulación de carbono en los suelos forestales.

En sus primeros años, la estrategia nacional y la tendencia mundial se enfocaron principalmente en la biomasa aérea de la cobertura forestal; el recurso suelo no se tomó en cuenta para la cuantificación de la reducción de emisiones.

Durante 2023, en Costa Rica se realizó el primer esfuerzo para cambiar esta orientación. El Proyecto REDD+ Pagos Basados en Resultados, implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en conjunto con la Secretaría REDD+ , conformada por el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) y el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) propone reportar un mayor aporte de carbono por unidad de área de superficie en las coberturas forestales del país y para ello se realizará un estudio que permita obtener los datos de cuantificación de los reservorios del carbono en el suelo. A partir de este reporte, se podrá actualizar el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) del país y, de esta forma, será posible visibilizar el papel de Costa Rica en la prestación de servicios ambientales ligados a la conservación del carbono orgánico de los suelos (COS) y abrir posibilidades para recibir más recursos del financiamiento climático.

El citado estudio permitirá estimar el cambio en el COS para diferentes tipos de transiciones de cambio del uso del suelo, mediante la comparación del COS en parejas de parcelas de bosque – no bosque y estimar la tasa media anual de cambio de COS, considerando el tiempo transcurrido de deforestación, mediante entrevistas y el análisis de series temporales de sensores remotos.

¿Cómo se cuantificará el carbono orgánico en los suelos forestales?

La cuantificación precisa del carbono orgánico en los suelos forestales es esencial para evaluar su papel en la mitigación del cambio climático y para diseñar estrategias efectivas de conservación. Los siguiente son los pasos a seguir dentro del estudio que se propone realizar en Costa Rica con el apoyo del Proyecto REDD+ Pagos Basados en Resultados.

1. **Inventario de proyectos e iniciativas relacionadas con carbono orgánico del suelo.** Este primer paso consiste en inventariar los proyectos y estudios del país donde se determinan o han determinado puntos de muestreo con muestras de suelo para obtener COS y otras variables, destacando similitudes y diferencias del proceso de muestreo con respecto a lo que cada proyecto evalúa. Este inventario permitirá obtener información sobre puntos de muestreo utilizados.
2. **Selección de los estratos a muestrear.** En este paso se seleccionan sitios que cumplan con las mismas categorías de uso de la tierra utilizadas en el nivel de referencia forestal (NRF) de la biomasa aérea y que cuente con una permanencia del estrato en su condición actual de mínimo 20 años. Esta tarea se realiza por medio un proceso de revisión de imágenes satelitales 20 años atrás.
3. **Selección de las parcelas.** Para esta actividad, se utilizará una metodología de muestreo pareado, es decir, una comparación de sitios que se clasifiquen como “bosque” y otro que cuente con un uso diferente al bosque, considerado como “no bosque”. Dentro de esta clasificación se puede contar con usos del suelo como cultivos anuales, cultivos permanentes y pasturas.
   A partir de la serie histórica de la estrategia REDD+, desde 1996 se cuenta con información en donde el 70% de los datos de deforestación en Costa Rica se alojan en las principales transiciones cambios de uso del suelo:

Cuadro 1. Principales transiciones según serie histórica de CR de REDD+

Uso inicial	Uso final	Hectáreas
Bosque secundario	Pastura con MSS	43.254
Bosque secundario	Pastura sin MSS	
Bosque secundario	Cultivos anuales	30.167
Bosque primario	Pastura con MSS	22.744
Bosque primario	Pastura sin MSS	
Bosque secundario	Cultivo permanentes con MSS	15.987
Bosque secundario	Cultivo permanentes sin MSS	
Bosque primario	Cultivos anuales	4.875
Bosque primario	Cultivo permanentes con MSS	4.008
Bosque primario	Cultivo permanentes sin MSS	
Total		**121.035**

Fuente: Estrategia REDD+, 2023. *MSS: Prácticas de manejo sostenible del suelo.

Para este estudio se seleccionarán 130 parcelas pareadas (bosque-no bosque), las cuales serán distribuidas en cada una de las transiciones de cambio de uso que se muestran en el cuadro 1. Para determinar la ubicación de las parejas de parcelas, se deben preparar grupos con menos de 10 km de distancia entre sí.

4. **Medición de parcelas.** El siguiente paso es recopilar la siguiente información para cada unidad de terreno de muestreo:
   - **Localización:** se utiliza una unidad de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) para determinar la ubicación de la parcela de muestreo y se admite un error de menos de 10 m.
   - **Unidad de paisaje:** deben registrarse el orden de suelo y las categorías de uso de la tierra.
   - **Fecha del cambio de uso del suelo:** se registra una fecha aproximada de cambio en el uso de la tierra, mediante entrevistas de campo y análisis de series temporales de imágenes satelitales.
   - **Aspecto:** es la orientación cardinal de la pendiente a la que se orienta una pendiente.
   - **Posición de la catena:** tierras altas, márgenes, pendiente media, pendiente baja y arroyo de fondo.
   - **Pendiente:** medida como porcentaje.
   - **Altura:** es la altura sobre el nivel del mar y se mide en msnm.
   - **Densidad aparente:** medido en gramos por centímetro cúbico, obtenido mediante el método del cilindro de un volumen conocido de 15 cm de alto y 10 cm de diámetro, que permitirá obtener una muestra con aproximadamente 1.178 cc. Este tamaño de cilindro permite estimar la densidad aparente y la fracción volumétrica de fragmentos gruesos. Se debe tomar una muestra en cada profundidad (de 0-15 cm y de 15-30 cm). Cada una de las muestras se debe colocar en una bolsa plástica separada que permita su transporte al laboratorio evitando la pérdida de humedad. Las muestras deben etiquetarse para su identificación.
   - **Fracción volumétrica de pedregosidad de la muestra de densidad aparente:** además de la medición de la densidad aparente, debe determinarse la proporción de fracción volumétrica de fragmentos pedregosos mayores a 2 mm en peso seco (g g-1). Se subsanará la eventual incapacidad de los laboratorios nacionales de separar la pedregosidad de las muestras de densidad aparente.
   - **Contenido de carbono:** para determinar el contenido de carbono, se debe tomar una muestra de aproximadamente 300 g en cada profundidad (de 0-15 cm y de 15-30 cm). Cada muestra se debe colocar en una bolsa de tela separada que permita su transporte adecuado al laboratorio. Las muestras deben etiquetarse cuidadosamente para su identificación.

5. **Determinación del contenido de carbono orgánico (COS).** Una forma común de cuantificar el COS es medir la materia orgánica presente en el suelo. Este análisis se lleva a cabo a través de técnicas gravimétricas, donde se estima la cantidad de COS a partir de la pérdida de masa durante la combustión de la muestra a altas temperaturas. Este proceso convierte la materia orgánica en dióxido de carbono (CO2), permitiendo calcular la cantidad de carbono presente en la muestra original. Existen diferentes métodos para determinar el COS, como por ejemplo i. Combustión en seco, ii. Oxidación del carbono con ácido o iii. Materia orgánica por el método de Walkley-Black. El método escogido dependerá del laboratorio.

Una vez finalizada esta etapa de cuantificación, se abre paso al manejo de los datos, con lo cual se puede hacer la evaluación de las reservas de carbono orgánico y estimación de tasa de cambio.

6. **La evaluación de las reservas de COS forestales.** Implica determinar la cantidad total de carbono almacenada en un suelo en un momento dado. Se realizan mediciones en diferentes puntos y profundidades del suelo para obtener una representación precisa. Para efectos de este estudio se utilizará la siguiente fórmula:

$$SOCS_{ijk} = SOC_{ijk} X\ BD_{ijk} X\ D\ (1\text{-}S_{ijk})$$

Donde,

- $SOCS_{ijk}$ es la reserva de COS para cada estrato "i" y profundidad de suelo "j", y la observación o muestra pareada "k".
- SOC_{ij} es el porcentaje de concentración de carbono orgánico en el suelo (g $100g^{-1}$) para cada estrato "i" y profundidad de suelo "j", y la observación o muestra pareada "k".
- BD es la densidad aparente (g cm^{-3}) para cada estrato "i" y profundidad de suelo "j", y la observación o muestra pareada "k".
- D es el espesor de la capa (15 cm) y S es la proporción de la fracción volumétrica de pedregosidad (g g^{-1}) para cada estrato "i" y profundidad de suelo "j", y la observación o muestra pareada "k".

Cuando ya se tengan los datos de COS se podrá estimar la tasa de cambio del carbono orgánico. Este estudio utiliza modelos matemáticos y computacionales para predecir la tasa de cambio del COS en función de varios factores, como el uso del suelo, las condiciones climáticas y las prácticas de manejo.

Esta representa la variación en la cantidad de carbono almacenada en un período de tiempo específico del suelo la cual se calcula de la siguiente manera:

$$TCSOC_{ijk} = \Sigma_{k=1} [(CS_{0ijk} - CS_{Dijk})/T_{kijk}]/k,\ STD$$

Donde,

- $TCSOC_{ijk}$ es la tasa de cambio de COS (tCO2) ha^{-1} $año^{-1}$) para el estrato "i", la profundidad "j" y la muestra pareada "k".
- CS_{0ijk} es la reserva inicial o de referencia de carbono orgánico del suelo para el uso original de la tierra, para el estrato "i", la profundidad "j" y la muestra pareada "k".
- CS_{Dijk} la reserva de COS del uso final de la tierra, (t C ha^{-1}), para el estrato "i", la profundidad "j" y la muestra pareada "k".
- T: es el período de tiempo transcurrido entre CS_0 y CS_D (el periodo de deforestación).
- K: Total de parcelas pareadas en el estrato "i", K entre 0-130].
- STD: Desviación estándar.

Importancia de la cuantificación de los reservorios del carbono orgánico en los suelos forestales en función de la acción climática

La cuantificación precisa del carbono orgánico en los suelos forestales es de suma importancia por varias razones relacionadas con la mitigación del cambio climático, la sostenibilidad ambiental y la gestión adecuada de los ecosistemas forestales. Las razones clave incluyen:

- **Mitigación del cambio climático**
  El carbono orgánico en los suelos forestales representa una cantidad significativa de carbono almacenado en forma de materia orgánica en descomposición y microorganismos. La cuantificación precisa de esta reserva es crucial para calcular su contribución a la mitigación del cambio climático. Los suelos forestales actúan como sumideros de carbono, capturando CO_2 de la atmósfera y ayudando a reducir su concentración, un factor clave en la mitigación del cambio climático y la estabilización del clima global.

- **Monitoreo de la salud del ecosistema**
  La cantidad y distribución del carbono orgánico en los suelos forestales es un indicador importante de la salud y la vitalidad del ecosistema forestal. Está directamente relacionada con la productividad del suelo, la capacidad de retención de agua, la fertilidad del suelo y la biodiversidad. Monitorear estos niveles es esencial para comprender cómo los cambios en las prácticas de manejo, la deforestación o la degradación pueden afectar la salud a largo plazo de los bosques y los ecosistemas asociados.

- **Diseño de estrategias de manejo sostenible**
  La cuantificación precisa del COS proporciona información crucial para diseñar estrategias de manejo sostenible de los bosques. También ayuda a determinar las prácticas de manejo que puedan mejorar la capacidad de los suelos forestales para almacenar carbono y, por ende, contribuir a la mitigación del cambio climático. Esto puede incluir prácticas como la reforestación, la agroforestería y la restauración ecológica (Vargas, 2022).

- **Evaluación de proyectos de conservación y restauración**
  Al cuantificar el carbono orgánico en los suelos forestales, se pueden evaluar de manera precisa los proyectos de conservación y restauración. Esto permite calcular el impacto real de estas iniciativas en la captura y almacenamiento de carbono, validando su eficacia y contribución a los objetivos de mitigación del cambio climático.

- **Políticas de carbono y compensaciones**
  En un contexto más amplio, la cuantificación del carbono orgánico en los suelos forestales es crucial para la formulación de políticas de carbono y programas de compensación. Esto puede incluir la asignación de créditos de carbono, el desarrollo de incentivos económicos para la conservación y restauración de bosques y la participación en programas internacionales como REDD+.

Referencias:

Estrategia Nacional REDD+ Costa Rica - REDD+ Costa Rica. (2022, May 16). REDD+ Costa Rica. https://reddcostarica.net/publicacion/estrategia-nacional-redd-costa-rica/ Estrategia Nacional REDD+: Una serie de políticas ambientales con intervenciones inclusivas que pro-mueven soluciones basadas en la naturaleza en el corto y mediano plazo en Costa Rica

González, A. B., & Sánchez, D. (2022). Carbon dynamics in forest soils: An analysis in the context of Costa Rica. Revista de Ecología y Medio Ambiente, 15(3), 87-102. https://www.researchgate.net/publication/248428266_Soil_carbon_dynamics_in_a_chronosequence_of_secondary_forests_in_northeastern_Costa_Rica

Ibrahim, M. A., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., ... & Rojas, J. (2013). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. Agroforestería en las Américas, número 45 (2007). https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7934

Nivel de referencia de emisiones y absorciones forestales de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF metodología y resultados 2015 - REDD+ Costa Rica. (2022, May 17). REDD+ Costa Rica. https://reddcostarica.net/publicacion/nivel-de-referencia-de-emisiones-y-absorciones-forestales-de-costa-rica-ante-el-fondo-de-carbono-de-fcpf-metodologia-y-resultados-2015/