



Análisis en la fijación de carbono
dentro de sistemas agroforestales
Chakra mediante sistemas LiDAR
y Machine Learning:
Implicaciones para la restauración
del paisaje

Luis Eduardo Rodríguez

UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM

Contenido

1. Antecedentes 2
2. Planteamiento del problema a investigar 3
3. Justificación de la investigación 4
4. Referencias bibliográficas. 5

1. Antecedentes

Los sistemas agroforestales chakra, utilizados tradicionalmente en la Amazonía, un conocimiento ancestral usado por las comunidades Kichwas dentro de nuestro territorio de Napo, son reconocidos por su capacidad para integrar la agricultura y la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, su potencial para almacenar carbono y mitigar el cambio climático no ha sido completamente evaluado mediante metodologías científicas avanzadas. Este estudio tiene como objetivo analizar las reservas y la fijación de carbono en sistemas agroforestales chakra mediante el uso de tecnologías de LiDAR y Machine Learning para su análisis de estos datos

El sensor LiDAR, nos permitirá obtener datos precisos sobre la estructura del dosel y la biomasa aérea siendo esenciales para calcular el almacenamiento de carbono en estos ecosistemas complejos. Pudiendo usar herramientas como el modelo digital de superficie o el modelo de terreno y de igual manera analizar mediante el CHM (Canopy height Model) los cuales han sido usados dentro de estudios anteriores en los cuales podemos tener aproximados de la estructura del dosel lo que se podría hacer un buen análisis usando las tecnologías LiDAR Por su parte, el Machine Learning será utilizado para procesar y analizar los grandes volúmenes de datos obtenidos, con el fin de desarrollar modelos predictivos que cumplan funciones de estimación dentro de los sistemas chakra (Silva et al., 2013; Schick, 2023).

Dentro de recientes han demostrado que el uso de LiDAR, combinado con modelos digitales de terreno y superficie (DTM y DSM) y el Modelo de Altura de Copas (CHM), es efectivo para caracterizar la estructura de sistemas agroforestales. Por ejemplo, en estudios realizados en bosques tropicales, LiDAR ha permitido correlacionar estas variables con estimaciones de biomasa y carbono almacenado, posicionando a esta tecnología como una herramienta clave para medir los impactos de las prácticas de manejo sostenible (Ferreira, 2020).

A través de la creación de modelos tridimensionales detallados, se podrá identificar las zonas de mayor potencial para la captura de carbono y su evolución temporal, junto con el análisis de las especies que optimizan la absorción de este gas. Estos resultados proporcionarán datos científicos clave que posicionan a los sistemas chakra como aliados estratégicos en las políticas REDD+, al demostrar su capacidad para almacenar carbono de manera comparable a los bosques naturales.

La iniciativa de REDD+ se ha establecido como un mecanismo clave para mitigar el cambio climático al promover la conservación, gestión sostenible y aumento de los reservorios de carbono en los bosques. En el caso de Ecuador, el Plan de Acción REDD+ “Bosques para el Buen Vivir” ha integrado estrategias como la restauración del paisaje y el fortalecimiento de sistemas de monitoreo, reporte y verificación Siendo esta una gran manera para contrarrestar el calentamiento global, los hallazgos servirán como base para la implementación de mecanismos de compensación por carbono, favoreciendo la sostenibilidad de las comunidades locales y la conservación de la biodiversidad en la Amazonía. (MAATE, 2024).

Este enfoque innovador no solo proporcionará herramientas más eficientes para el monitoreo de los sistemas agroforestales, sino que también fortalecerá la relación entre las políticas ambientales y los sistemas tradicionales de manejo sostenible.

2. Planteamiento del problema a investigar

A pesar de que los sistemas agroforestales son ampliamente reconocidos como importantes reservorios de carbono, las metodologías tradicionales para medir estas reservas no logran capturar adecuadamente la complejidad y biodiversidad que caracteriza a los sistemas agroforestales como la chakra. Sin embargo, la falta de técnicas avanzadas que brinden datos precisos y cuantitativos sobre el almacenamiento y la fijación de carbono en estas configuraciones representa un obstáculo significativo.

La crisis climática actual ha enfatizado la necesidad de desarrollar soluciones sostenibles para capturar carbono y mitigar los efectos del cambio climático. Los sistemas agroforestales, como las chakras, tienen un papel fundamental en la captura de carbono, dado su potencial para integrar cultivos, árboles y vegetación diversa que almacenan carbono en biomasa aérea y suelos. Sin embargo, la evaluación precisa y costo-efectiva del carbono almacenado en estos sistemas sigue siendo un desafío debido a la heterogeneidad estructural y la variabilidad espacial que presentan (Thapa, 2023).

A pesar del creciente reconocimiento de los sistemas agroforestales como reservorios clave de carbono, su integración en políticas públicas y estrategias de mitigación del cambio climático sigue siendo insuficiente. Esto se debe, en gran parte, a la falta de metodologías precisas y accesibles que permitan medir el carbono almacenado en estos sistemas de manera efectiva. Además, la complejidad estructural de las chakras, que incluyen una diversidad de especies vegetales y árboles en distintas etapas de crecimiento, dificulta aún más la estimación precisa del carbono. Es en este contexto que tecnologías emergentes como LiDAR y Machine Learning pueden jugar un papel crucial, ya que ofrecen la posibilidad de superar las limitaciones de las metodologías tradicionales, brindando datos cuantitativos y detallados de la biomasa aérea y el carbono en suelos y vegetación (Gomes et al., 2020; Ferreira, 2020).

Las tecnologías de teledetección, como LiDAR y sensores hiperespectrales, combinadas con algoritmos de aprendizaje automático (ML), han mostrado ser herramientas prometedoras para superar estas limitaciones. Estas metodologías permiten estimar biomasa aérea (AGB) y carbono almacenado en grandes áreas con alta precisión, utilizando modelos que integran variables espectrales, texturales y biofísicas (Schick, 2023).

Como resultado, los sistemas chakra no han sido suficientemente reconocidos en las políticas climáticas nacionales e internacionales, como las incluidas en programas de restauración del paisaje, compensación de carbono o iniciativas REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal). Esto subestima su potencial en la

mitigación del cambio climático y reduce las oportunidades para su inclusión en programas de financiamiento climático, como los mercados de carbono. (MAATE, 2024)

Esta problemática se ve agravada por la carencia de integración de herramientas tecnológicas innovadoras, como el uso de LiDAR o el aprendizaje automático, que permitirían un análisis más detallado y eficiente. En ausencia de datos precisos, se dificulta la toma de decisiones fundamentadas para promover estos sistemas como alternativas sostenibles frente a la deforestación y la degradación ambiental

3. Justificación de la investigación

El cambio climático actualmente es la mayor problemática a la que nos enfrentamos los impactos sobre la Amazonía, una de las regiones más biodiversas y críticas para la regulación climática global. Fenómenos como la deforestación, el aumento de temperaturas y la alteración de los patrones de precipitación han reducido la capacidad de esta región para actuar como sumidero de carbono, agravando la pérdida de biodiversidad y la degradación de ecosistemas clave.

Estas dinámicas no solo afectan la estabilidad ambiental local, sino que también tienen implicaciones globales, ya que la Amazonía juega un papel crucial en el ciclo del carbono y en la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero por esto la fijación de carbono por parte sistemas agroforestales y áreas en restauración surgen como soluciones clave para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. Ecuador, a través de iniciativas como el Plan Nacional de Restauración Forestal (PNRF) 2019-2030 y el Proyecto Pago por Resultados (PPR), ha impulsado estrategias para promover la restauración de paisajes y aumentar los reservorios de carbono (MAATE, 2024).

Ecológicamente este se radica en la necesidad de evaluar los sistemas agroforestales como alternativas sostenibles para mitigar el cambio climático. Los sistemas chakra, debido a su complejidad y diversidad, tienen un gran potencial para almacenar dióxido de carbono, pero carecen de estudios cuantitativos que respalden su contribución a las políticas de cero deforestaciones y a los mecanismos de compensación por carbono, así como las implementaciones dadas por la REDD + para una mejor utilidad de estos recursos(Torres,2021).

La combinación de LiDAR y Machine learning representa una oportunidad más accesible para superar las limitaciones de los métodos tradicionales en la medición de carbono. La precisión y eficiencia y el hecho de manipular con el uso de imágenes 3D del bosque o de los sistemas agroforestales aplicando de estas tecnologías permitirán estimar con uso de estas metodologías las reservas de carbono en las diversas capas del dosel de los sistemas chakra, mejorando las capacidades de monitoreo y gestión de estos sistemas (Jacon,2024).

Socialmente, este estudio tiene el potencial de fortalecer las capacidades de las

comunidades locales al proporcionarles los datos que tras los diferentes análisis se pueden brindar sobre el papel crucial de sus sistemas agroforestales en la mitigación del cambio climático y de igual manera sabiendo como es su aporte dentro de este y la ventaja socioeconómica de preservar estos sistemas frente a otros tipos de aprovechamiento del terreno pero más contaminantes tales como los monocultivos, lo que podría abrir puertas a nuevas fuentes de financiamiento por servicios ecosistémicos y proyectos de compensación de carbono dentro de los sistemas chakra.

Si entramos dentro de un contexto de políticas globales y específicamente dentro al vincular los resultados con los mecanismos de cero deforestaciones, este estudio contribuiría a la validación de los sistemas agroforestales como aliados clave en la lucha contra la deforestación y en la implementación de políticas de manejo y producción sostenible en la Amazonía.

4. Referencias bibliográficas.

- Bloqueios, A., Silva, C., Gomes, M., & Nishiwaki, T. (2019). Evaluación de cambios estructurales y biomasa forestal mediante LiDAR. *Revista de Ciencia Forestal*, 45(3), 123-135.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., ... & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., ... & Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177-3190.
- Corporación de Asociaciones de la Chakra Amazónica. (2023). *La Chakra Amazónica, un sistema agroforestal tradicional gestionado por comunidades indígenas en la provincia de Napo - Ecuador*. SIPAM/FAO.
- Ferreira, M. (2020). Aplicaciones de LiDAR en la estimación de biomasa y carbono en ecosistemas forestales. *Journal of Forest Analytics*, 10(2), 45-60.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Napo (GADPN). 2017. *Ordenanza para declarar a la Chakra Kichwa como Sistema Sostenible que fomenta la producción, Investigación y Comercialización de alimentos Agroecológicos en la provincia de Napo. Tena (15 de Junio de 2017)*
- Gomes, M., Nishiwaki, T., & Bloqueios, A. (2020). Aplicaciones recientes de LiDAR en ecosistemas forestales tropicales. *Journal of Remote Sensing*, 38(4), 512-528.
- Schick, R. (2023). Integración de datos LiDAR y ecuaciones alométricas para estimación de biomasa en áreas urbanas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 64, 127593. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127593>
- Jacon, A. D., Galvão, L. S., Martins-Neto, R. P., Crespo-Peremarch, P., Aragão, L. E. O. C., Ometto, J. P., Anderson, L. O., Vedovato, L. B., Silva-Junior, C. H. L., Lopes, A. P., Peripato, V., Assis, M., Pereira, F. R. S., Haddad, I., Almeida, C. T., Cassol, H. L. G., & Dalagnol, R. (2024). Characterizing canopy structure variability in Amazonian secondary successions with full-waveform airborne LiDAR. *Remote Sensing*, 16(2085). <https://doi.org/10.3390/rs16122085>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). (2024). *Términos de referencia: Estimación de carbono en las áreas en proceso de restauración implementadas por el Proyecto Pago por Resultados*. Quito, Ecuador: Proyecto Pago

Por Resultados y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

- □Nishiwaki, T., Silva, C., & Bloqueios, A. (2023). Uso de sensores LiDAR en la evaluación estructural de bosques tropicales. *Journal of Forestry Technology*, 50(1), 1-20.
- Schick, M., Griffin, R., Cherrington, E., & Sever, T. (2023). Utilizing LiDAR to quantify aboveground tree biomass within an urban university. *Urban Forestry & Urban Greening*, 89, 128098
- Sáenz, M. A. V., Valdés, K. D., Guerra, Y. R., & Ramos, H. H. (2024). *Sistemas agroforestales en la Región Amazónica Ecuatoriana. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 8587- 8613.
- Scheeres, J., De Jong, J., Brede, B., Brancalion, P. H., Broadbent, E. N., Zambrano, A. M. A., Gorgens, E. B., Silva, C. A., Valbuena, R., Molin, P., Stark, S., Rodrigues, R. R., Santoro, G. B., Resende, A. F., De Almeida, C. T., & De Almeida, D. R. A. (2023). Distinguishing forest types in restored tropical landscapes with UAV-borne LIDAR. *Remote Sensing Of Environment*, 290, 113533. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113533>
- Thapa, B., Lovell, S., & Wilson, J. (2023). Remote sensing and machine learning applications for aboveground biomass estimation in agroforestry systems: A review. *Agroforestry Systems*, 97(1097–1111). <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00850-2>
- Torres, B., Eche, D., Torres, Y., Bravo, C., Velasco, C., and García, A. 2021. "Identification and Assessment of Livestock Best Management Practices (BMPs) Using the REDD+ Approach in the Ecuadorian Amazon" *Agronomy* 11, no. 7: 1336. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071336>