



Artículo Original

Análisis del cambio en la cobertura boscosa enfocado en la descarbonización como propuesta de reforestación en Atlántida, Honduras

Analysis of forest cover change focused on decarbonization as a reforestation proposal in Atlántida, Honduras

Luis Dáleth Calderón Enamorado^{a,b,1}

^aEstrategia Nacional de Decarbonización y Resiliencia Climática de Honduras 2020-2050, Jóvenes Investigadores, La Ceiba, Honduras

^bUniversidad Nacional Autónoma de Honduras, UNAH, La Ceiba, Honduras

Historia del artículo:

Recibido: 20 marzo 2023

Revisado: 22 marzo 2023

Aceptado: 12 abril 2023

Publicado: 21 abril 2023

Palabras clave

Cambio climático

Deforestación

Dióxido de carbono

Keywords

Carbon dioxide

Climate change

Deforestation

RESUMEN. Introducción. En la actualidad, la huella de carbono es un tema importante en el ámbito forestal. Para abordar este problema, se llevó a cabo un estudio en el Departamento de Atlántida, Honduras, con el objetivo de analizar y proyectar la dinámica de cambio en la cobertura boscosa. Los hallazgos de este estudio ayudarán a proponer un plan de reforestación para promover el servicio de descarbonización en una zona de incidencia forestal. **Métodos.** El estudio se centró en la capacidad de los árboles para capturar el carbono. Se utilizaron parámetros como la altura promedio total y el diámetro a la altura del pecho (DAP) para estimar la cantidad de toneladas de carbono por hectárea (tCO_2/ha) en un área base establecida y la pérdida de bosque en el Departamento de Atlántida. Se utilizó información fotosensible y mapeo a través de Google Earth Engine (GEE). **Resultados.** Los árboles con mayor área basal capturaron más carbono y los mapas generados permitieron determinar las condiciones de captación de carbono y pérdida de bosque en proyección del área boscosa de Atlántida, basado en temporalidades establecidas. **Conclusión.** El alto índice de deforestación observado en Atlántida, conlleva a problemas serios, como la pérdida de áreas forestales y hábitats naturales. Por lo tanto, es relevante planificar programas de reforestación en zonas con déficit arbóreo o poca regeneración natural.

ABSTRACT. Introduction. Currently, the carbon footprint is an important topic in the forestry field. To address this issue, a study was conducted in the Department of Atlántida, Honduras, with the aim to analyze and establish the dynamics of forest cover change. The study results will help propose a reforestation plan and promote decarbonization service in a forest impact zone. **Methods.** The study focused on the capacity of trees to capture carbon. Parameters were used such as total average height and diameter at breast height (DBH) to estimate the number of tons of carbon per hectare (tCO_2/ha) in an established base area and forest loss in the Department of Atlántida. Photosensitive information and mapping were used through Google Earth Engine (GEE). **Results.** Trees with higher basal area captured more carbon and the generated maps allowed to determine conditions of carbon capture and forest loss in projection of the Atlántida forested area, based on established temporalities. **Conclusion.** The high deforestation rate in Atlántida, as observed, leads to serious problems, such as loss of forest areas and natural habitats. Therefore, it is relevant to plan reforestation programs in areas with tree deficits or little natural regeneration.

1. Introducción

El 52.1% del territorio hondureño es bosque y en su mayoría de hoja ancha o latifoliados, según información del mapa forestal de la zona (Instituto Nacional de

Estadística [INE], 2020). La capacidad de los árboles para almacenar carbono es esencial para mitigar el cambio climático porque absorben el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera durante la fotosíntesis y lo almacenan en forma de carbohidratos y lignina (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007). Los bosques

¹ Autor correspondiente: ldaeth_ce@outlook.com, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, La Ceiba, Honduras

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5377/innovare.v12i1-1.16008>

© 2023 Autores. Este es un artículo de acceso abierto publicado por UNITEC bajo la licencia <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

también proporcionan otros servicios ambientales, i. e., conservación de la biodiversidad y la protección de suelos y aguas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015). Por lo tanto, es importante la conservación y el manejo sostenible de los bosques para mitigar el cambio climático y proteger otros servicios ambientales (IPCC, 2019).

La Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) considera que las actividades relacionadas con el uso y cambio de la tierra y la silvicultura pueden contribuir a la mitigación y al empeoramiento del cambio climático. Esto dependerá en gran medida de las políticas y medidas que se implementen para lograr los objetivos de la Convención: “la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas (causadas por el hombre) peligrosas en el sistema climático” (Naciones Unidas, 1992, p. 4).

Según un estudio de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), los bosques contribuyen significativamente a la descarbonización al capturar y almacenar carbono en su biomasa y suelo (FAO, 2010).

La forma responsable y cuidadosa de manejar y utilizar los bosques madereros para garantizar su preservación y continuidad en el tiempo puede aumentar su capacidad para almacenar carbono y reducir la deforestación y la tala ilegal (FAO, 2015). Es necesario adoptar un enfoque integral que incluya medidas como la eficiencia energética, producción de energías renovables y reducción de emisiones industriales (IPCC, 2014).

Actualmente, existen entidades que proveen información remota para el análisis de cobertura boscosa.

El Global Forest Watch (GFW) utiliza imágenes satelitales para detectar cambios en la cobertura forestal, mientras que el sistema de seguimiento de la deforestación de Hansen utiliza una combinación de imágenes satelitales y datos de campo para detectar cambios en la cobertura forestal (Hansen et al., 2013). La FAO/Reducción de las Emisiones por Deforestación Degradación Forestal (FAO/REDD+) utiliza una combinación de informes de gobiernos y otras fuentes para estimar la pérdida de bosques. Esto debe tenerse en cuenta al interpretar los resultados (FAO, 2020).

2. Métodos

2.1. Procedimiento

2.1.1. Lugar de estudio

Se emplearon los resultados del estudio Inventario y Valoración Económica de las Especies Forestales de Alto Valor Comercial del Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA), seleccionando doce especies

maderables ubicadas en parcelas dentro del CURLA, en el municipio de La Ceiba, Honduras. Las especies se seleccionaron de ocho sectores de la Etapa I durante el 2018. Se realizó la cuantificación y georreferenciación de cada individuo por especie, con datos de crecimiento como son el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura comercial, volumen, pie tablar y valor económico según el mercado actual, basándose en el análisis dasométrico, empleando herramientas de medición directa, sistemas de información geográfica y tendencias del mercado (Calderón et al., 2018).

2.2. Información base de los mapas

Las categorías utilizadas para la clasificación de las imágenes satelitales se encuentran descritas en las directrices del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) de 2006 para los “Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero” en su volumen 4: “tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, humedales, asentamientos y otros suelos.” La clasificación se realizó para el 2022, teniendo como referencia el área de bosque de 2018, según el Mapa Forestal de Honduras, con un buffer de 100 m lo cual permitió la identificación de los cambios surgidos en un período de cuatro (4) años. Se obtuvo una estimación de las pérdidas de cobertura boscosa debido a la deforestación, así como se identificó las áreas que aún mantienen su vegetación forestal. Los datos se digitalizaron para su análisis en el programa Excel de Microsoft Office Professional Plus.

2.3. Análisis de información fotosensible

Para la obtención de los datos, se realizó un análisis multitemporal mediante el uso de la plataforma de Google Earth Engine (GEE), empleando imágenes de 2022 del sensor Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level 2-A. Las imágenes cuentan con una resolución de 10x10 metros. Todo el procesamiento y clasificación de las imágenes satelitales se llevó a cabo utilizando los programas ERDAS IMAGINE & QGIS.

La información se complementó con fórmulas que expresan el cálculo de biomasa y volumen, los cuales determinarán el contenido de carbono capturado por las especies arbóreas. Adicional a esto, se aplicó un factor de emisión conocido como Nivel de Referencia Forestal (NREF), el cual estima la cantidad de dióxido de carbono en un área y para el caso de bosques tropicales como los hay en Atlántida, este nivel proporciona un aproximado de 281.33 tCO₂/ha. Además, el NREF, debido a las restricciones tecnológicas existentes en la actualidad que incluyen el uso de imágenes satelitales Landsat de 30m, considera que la cobertura de copa de un bosque está en un nivel óptimo cuando alcanza un valor similar al 30% (Gobierno de la República de Honduras, 2020).

Cuadro 1

Cantidad de carbón almacenado en árboles de la primera etapa del Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico/Universidad Nacional Autónoma de Honduras (CURLA/UNAH).

Especie	Nombre científico	Nombre común	Área basal (m ²)	Volumen (m ³)	Biomasa forestal (t)	Carbono almacenado (tCO ₂ /ha)
1	<i>Callophylum brasiliense</i>	Santa María	0.12	0.54	0.32	0.16
2	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	6.55	26.81	16.09	8.04
3	<i>Cordia alliodora</i>	Laurel blanco	0.51	2.49	1.49	0.75
4	<i>Cordia megalantha</i>	Laurel negro	2.16	12.57	7.54	3.77
5	<i>Dalbergia sp.</i>	Granadillo	0.39	1.51	0.91	0.45
6	<i>Handroanthus guayacan</i>	Cortés	5.62	24.58	14.75	7.37
7	<i>Handroanthus rosea</i>	Macuelizo	2.61	12.02	7.21	3.61
8	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	Rosita	0.12	0.56	0.34	0.17
9	<i>Pinus caribaea</i>	Pino caribe	5.62	15.37	9.22	4.61
10	<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba	15.6	51.82	31.09	15.55
11	<i>Vochysia guatemalensis</i>	San Juan	9.85	63.61	38.17	19.08
12	<i>Tectona grandis</i>	Teca	18.84	56.48	33.89	16.94
	Total		67.99	268.36	161.02	80.51

*Datos en toneladas de dióxido de carbono por hectárea (tCO₂/ha).

2.4. Análisis estadísticos

Se determinó la biomasa forestal y toneladas de dióxido de carbono (t/CO₂) que se almacena en el bosque, derivado de un método cuantitativo no dañino usando los datos dasométricos anteriormente obtenidos para cada especie (Pazmiño & Pinagorte, 2018). Una forma eficaz de predecir la dinámica de cambio en la cobertura boscosa es a través del uso de técnicas estadísticas, como la regresión lineal para trazar proyecciones a futuro (Assis et al., 2022). Estas técnicas se basan en datos históricos especialmente útiles para hacer pronósticos financieros y económicos (García, 2018). Adicionalmente, usando los datos obtenidos de Lapeyre et al. (2004), se puede determinar una proyección de captación de carbono por hectárea, con un cuadro comparativo entre bosques de diferentes edades y condiciones. Cabe destacar que se usó el valor para carbono hojarasca del bosque primario, ya que, se consideró que el área deforestada fue bosque primario, siendo este igual a 3.51 tCO₂/ha.

3. Resultados

Se evaluaron 12 especies maderables seleccionadas para obtener los datos de biomasa forestal y carbono almacenado. En el Cuadro 1, muestra la capacidad de almacenamiento de carbono de diferentes especies de árboles. Con base en dichas especies, 421 individuos estudiados y su capacidad para almacenar carbono, los árboles con mayor área basal capturaron más carbono. Las

siguientes especies captaron el mayor carbono: *Swietenia macrophylla* (15.55 tCO₂/ha), *Tectona grandis* (16.94 tCO₂/ha) y *Vochysia guatemalensis* (19.08 tCO₂/ha).

El Cuadro 2 muestra varios panoramas, según los datos de GFW en 2006. La deforestación fue de 7,091.42 ha, mientras que en 2012 aumentó a 10,099.00 ha, lo que representa un 42% de aumento en solo 6 años. Según Hansen, en 2012 la deforestación fue de 7,677.54 ha, mientras que en 2016 aumentó a 7,906.80 ha, lo que representa un 3% de aumento en la tasa de deforestación en 4 años. Los datos presentados por GFW muestran que para el 2030 habrá una deforestación promedio de 14,251.40 ha en Atlántida y para el 2050 un promedio de 19,800.26 ha. Hansen Global Forest Change indicó que para el 2030 habrá un pronóstico de deforestación de 11,803.68 ha y para el 2050 de 17,052.57 ha, con una tendencia de pérdida de 5,823.73 ha. La FAO/REDD+ supone que, si los datos siguen presentando valores bajos, para el 2030 y 2050 se estará ganando tierra producto de una reforestación masiva o técnicas correctas de cuidado de la tierra. Esto dará valores negativos en los cálculos en la regresión lineal (-1,549.10 y -7,383.48 ha, respectivamente), con una tendencia lineal de 5,284.09 ha.

Los datos presentados también muestran la pérdida de bosque en términos de tCO₂ que ya no son secuestrados por el bosque, según las tres fuentes mencionadas anteriormente. Se observó algunas diferencias significativas en las cifras entre las fuentes.

Cuadro 2

Pérdida de bosque y posible captación de carbono en hectáreas y toneladas de dióxido de carbono si no se hubiera desaparecido dicha área en el Departamento de Atlántida.

Pérdida de bosque	Global Forest Watch	tCO ₂ perdido	Hansen	tCO ₂ perdido	FAO	tCO ₂ perdido
2000 – 2006	7,091.42	24,890.88	5,243.18	18,403.56	5,210.22	18,287.87
2006 – 2012	10,099.00	35,447.49	7,677.54	26,948.17	4,015.55	14,094.58
2012 – 2016	10,850.66	38,085.82	7,906.80	27,752.87	3,045.54	10,689.85
2016 - 2018	10,098.43	35,445.49	8,540.95	29,978.73	1,369.21	4,805.93
Totales	38,139.51	133,869.68	29,368.47	103,083.33	13,640.52	47,878.23

*Información obtenida de High-Resolution Global Maps of 21st-century Forest Cover Change (Hansen et al., 2013); Estudio de Deforestación en Honduras (Vallejo Larios, 2011); Global Forest Resources Assessment (FAO, 2020).

Entre 2000 y 2006, GFW reportó una pérdida de 24,890.88 tCO₂, mientras que Hansen reportó una pérdida de 18,403.56 tCO₂, una diferencia significativa. La FAO/REDD+ reportó una pérdida de 18,287.87 tCO₂, lo que se encuentra en medio de las cifras de GFW y Hansen. En el período de 2016 a 2018, GFW reportó una pérdida de 35,445.49 tCO₂, Hansen una pérdida de 29,978.73 tCO₂ y FAO una pérdida menor de 4,805.93 tCO₂.

La Figura 1 muestra un escenario del 2000 en el cual la deforestación era un problema reciente en el Departamento de Atlántida. Se presenta un valor mayor al 30% de cobertura de copa, con 341,164.87 ha en el departamento. En contraste, un extracto del Mapa Forestal de Honduras de 2018 muestra que la cantidad de cobertura de copa (>30%) se redujo a 302,198.87 ha (cerca de 40,000 ha menos), mientras que la cobertura de bosque presente para ese mismo año fue de 235,789.71 ha en el departamento.

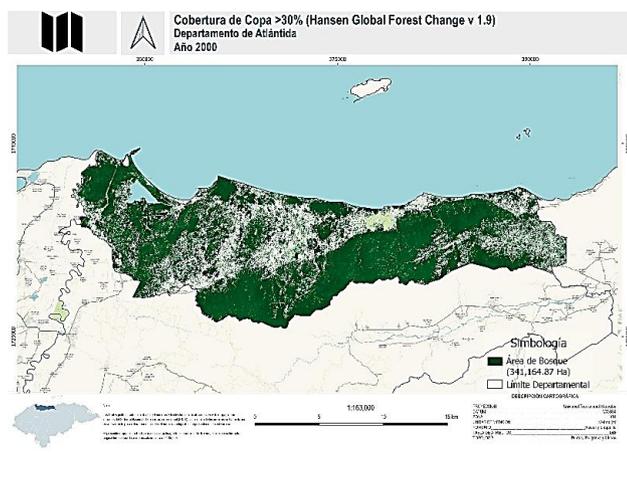


Figura 1. Cobertura de Copa >30% en 2000 de Hansen Forest Change v 1.9.

Se elaboró una clasificación no supervisada empleando imágenes armonizadas de Sentinel 2 Nivel 2-A. La Figura 2 muestra un decrecimiento acelerado del bosque con 230,463.18 ha para el área de bosque en 2022, con una disminución de 5,326.53 ha y una pérdida cada vez mayor, pero en menor cantidad comparada con el 2018, según el área de bosque del Mapa Forestal de Honduras.

Según la FAO/REDD+ y la temporalidad de 2012-2016, la Figura 3 muestra una deforestación de 3,045.54 ha, mientras que de 2016-2018 disminuyó en un 55% (1,369.21 ha). Este significa una reducción en la tasa de deforestación en solo 2 años. Se observó un aumento entre 2006 y 2012, seguido de una ligera disminución en 2016 y 2018. Del mismo modo, la FAO/REDD+ muestra una pérdida de bosque que constantemente va decreciendo en las temporalidades clasificadas por la organización (Figura 3). Para el 2006, hubo una pérdida de bosque de 5,210.22 ha. En la última temporalidad estudiada de 2018, hubo una pérdida de 1,369.21 ha. Esto significó en una disminución de casi 4,000 ha a lo largo del estudio.

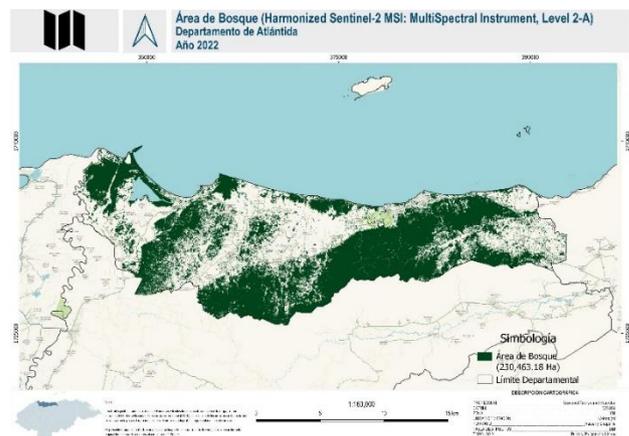


Figura 2. Área de bosque de 2022 de Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level 2-A.

Hansen Global Forest Change dio una perspectiva distinta en relación con la pérdida. Según la temporalidad que finalizó en 2006, hubo un decrecimiento de bosque del 5,243.18 ha, similar a lo reportado por la FAO/REDD+. En las demás temporalidades definidas hubo valores mayores, con la mayor pérdida de 8,540.95 ha en la temporalidad que finalizó en el 2018.

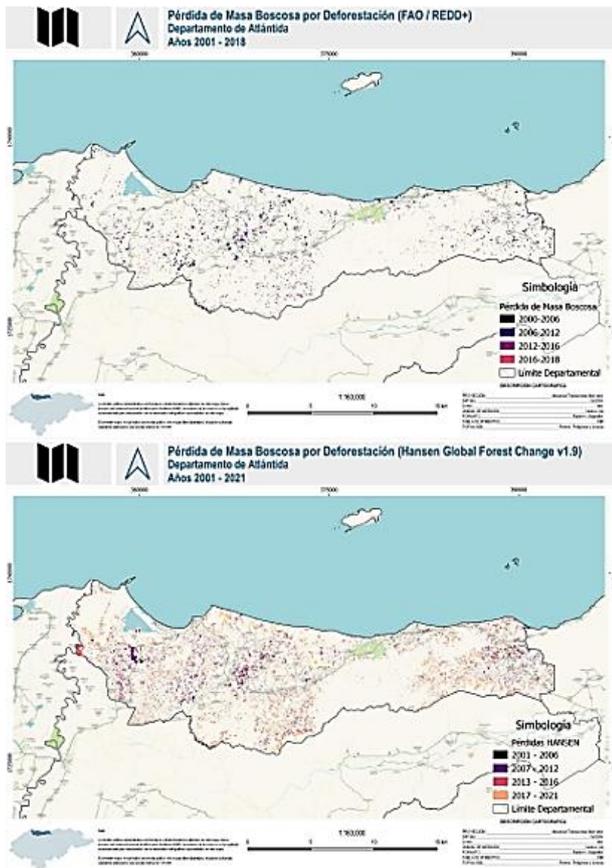


Figura 3. Pérdida de masa boscosa por deforestación según la FAO/REDD+ durante el 2001 a 2018 y Hansen Global Change v 1.9 durante el 2001 a 2021.

4. Discusión

Este estudio encontró que el *Vochysia guatemalensis* fue la especie que mejor capturó carbono en nuestra área de investigación. Además, la tasa de deforestación en Honduras aumentó significativamente en los últimos años, lo que ha contribuido a la pérdida de bosques y a la emisión de gases de efecto invernadero. El monitoreo y análisis continuo de estos datos es clave para desarrollar estrategias efectivas de conservación y manejo forestal sostenible.

Las especies de área basal mayor tuvieron más capacidad de captación de carbono. En este estudio, el *Swietenia macropylla* y el *Tectona grandis* mostraron un gran nivel de captación, pero el *Vochysia guatemalensis*

fue el mayor de las doce especies. Estos hallazgos son congruentes con el estudio de Calderón et al. (2018), el cual concluyó que a mayor área basal mejor valuada será la especie. Guerrero Bautista & Tejada Grandez (2018) indicaron que dicha especie tuvo una capacidad de captación de carbono de 12.61 tCO₂/ha, valor menor que el calculado en nuestro estudio (19.08 tCO₂/ha).

Es importante destacar que los hallazgos solo toman en consideración la capacidad de almacenamiento de carbono de estas especies y no toma en cuenta factores adicionales, como la edad o la salud del árbol (Chave et al., 2009; López-Reyes et al., 2016). Por ejemplo, el NREF considera que los bosques latifoliados tienen un valor mayor (281.33 tCO₂/ha), cuando se compara con los presentado en nuestro (80.51 tCO₂/ha). El NREF considera otros factores externos al árbol, como la hojarasca y el material orgánico en el suelo, que no pudimos considerar en el cálculo usado en este estudio. Los valores de almacenamiento de carbono en los bosques pueden variar debido a diferencias en la metodología de medición y en la cobertura geográfica de la investigación (Keith et al., 2009).

El hallazgo del aumento de la deforestación durante el 2000-2018 es elevado, cuando se compara con un estudio de la deforestación en la Amazonía. El estudio de la Amazonía utilizó imágenes satelitales para medir la tasa de deforestación en la región y encontraron que entre 2000 y 2012 la tasa de deforestación en la Amazonía había aumentado en un 26% (Hansen et al., 2013).

El concepto de cobertura de copa empleado por Hansen Global Forest Change abarca categorías de bosque y áreas de plantación no maderable, siendo incluyente con las extensiones de palma africana dentro de un área establecida y con límites fijos. Según Canham et al. (1990) algunas de estas especies pueden tener copas más grandes y prominentes, lo que les permite competir eficazmente por luz y recursos, mientras que otras especies pueden tener una menor cobertura de copa debido a la competencia. Por otro lado, el concepto de bosque considera únicamente las extensiones de latifoliados, coníferas y mangle.

Mori Montero (2022) definió que en el Distrito de Nueva Requena, Región Ucayali en Perú se llevará a cabo una deforestación de 21,278 ha para el 2050, con una tendencia lineal de pérdida de bosque de 8,068.97 ha por período sin definir. Esta proyección es similar a la información calculada por GFW para el Departamento de Atlántida durante ese mismo año (19,800.26 ha). La CMNUCC en el 2020 definió una comparación a la reducción de la deforestación para el período 2016-2018 desde el panorama nacional, el cual es de 8,479.56 ha, análogo a lo obtenido de las inferencias de los datos de la FAO para el 2050 (7,383.48 ha).

Este estudio describió una representación del área boscosa de Honduras para el 2022, la cual refleja una tasa de pérdida de 1,331.63 ha/año, similar a lo encontrado por

Quispe (2021) en su análisis multitemporal en el distrito de Nueva Requena, Perú, con 1,373.518 ha/año (2005-2013). La pérdida de bosques es un problema ambiental de gran importancia a nivel mundial (FAO, 2020). El promedio de la tasa de deforestación según las tres fuentes utilizadas de Hansen, GFW y FAO/REDD+ fue de 1,500 ha/año. La mitad de la presente se dio en el Estado de Michoacán en México (3,000 ha/año) durante el período de 2007-2014 (Jean-François et al., 2017). La menor tasa de deforestación neta de 12,006 ha/año se dio en la Provincia de Esmeraldas en Colombia (Mogrovejo Jaramillo, 2017). La monitorización continua y el análisis de los datos sobre la pérdida de bosques son fundamentales para desarrollar estrategias efectivas y reducir la deforestación en el mundo (Kurz et al., 2008).

5. Conclusión

El Departamento de Atlántida tiene un gran potencial para la captación de carbono, pero la deforestación está disminuyendo su capacidad. La combinación de imágenes y mapas permiten tener una visión global del problema para dirigir los esfuerzos de manera efectiva. Se necesita un plan de acción a corto y mediano plazo, con reforestación de áreas con déficit arbóreo e incorporación de especies de alto secuestro de carbono. Es esencial que las autoridades trabajen juntas y utilicen herramientas tecnológicas para monitorear y medir los resultados. El éxito depende del compromiso de todas las partes para asegurar un futuro sostenible.

6. Financiamiento

Este proyecto fue financiado por la Cooperación Alemana (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, GIZ) a través del Programa EuroClima+ y bajo la coordinación del Centro Universitario Tecnológico (CEUTEC) de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) de Honduras. El mismo es parte del Programa de Jóvenes Investigadores y en relación a la Estrategia Nacional de Descarbonización y Resiliencia Climática de Honduras 2020-2050.

7. Conflictos de Interés

El autor declara no tener ningún conflicto de interés. La investigación fue realizada de manera independiente y sin influencia por parte de los financiadores. Todos los resultados y conclusiones presentados en este artículo son responsabilidad exclusiva del autor de este artículo.

8. Referencias Bibliográficas

Assis, T. O., Aguiar, A. P. D., Von Randow, C., & Nobre, C. A. (2022). Projections of future degradation and CO₂ emissions for the

- Brazilian Amazon. *Science Advances*, 8(24), 1-10. <https://dx.doi.org/10.1126/sciadv.abj3309>
- Calderón, J., Raudales, J., Peralta, G., Portillo, T., Canales, B., & Lino, J. E. (2018). Inventario y valoración económica de las especies forestales de alto valor comercial del CURLA. *Portal de la Ciencia*, 15, 65-76. <https://dx.doi.org/10.5377/pc.v0i15.7318>
- Canham, C. D., Denslow, J. S., Platt, W. J., Runkle, J. R., Spies, T. A., & White, P. S. (1990). Light regimes 30 beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 20(5), 620-631. <https://dx.doi.org/10.1139/x90-084>
- Chave, J. A., Coomes D., Jansen, S., Lewis, S. L., Swenson, N. G., & Zanne, A. E. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12(4), 351-366. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2010). *Global forest resources assessment 2010. Main report*. <https://www.fao.org/3/i1757e/i1757e.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2020). *Global forest resources assessment 2020*. <https://www.fao.org/3/ca9825en/ca9825en.pdf>
- Gobierno de la República de Honduras. (2020). *Propuesta. Nivel de referencia forestal de Honduras*. https://redd.unfccc.int/files/nrf_2020_honduras.pdf
- Guerrero Bautista, I., & Tejada Grandez, L. A. (2018). *Valoración económica del servicio ambiental de CO₂ del bosque primario del fundo Montana ubicado en el caserío Puerto Pakui del distrito de Imaza, provincia de Bagua, región Amazonas 2017*. Universidad de Lambayeque. <https://repositorio.udl.edu.pe/xmlui/handle/UDL/178>
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853. <https://dx.doi.org/10.1126/science.1244693>
- Instituto Nacional de Estadística [INE]. (2020). *Cobertura forestal 2014-2018*. <https://www.ine.gov.hk/V3/imag-doc/2020/01/Cobertura-Forestal-2014-2018-INE.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2007). *Climate change 2007: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2014). *Annex IV: contributors to the IPCC WGIII fifth assessment report*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iv.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2019). *Special report on climate change and land*. <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- Jean-François, M., Lemoine-Rodríguez, R., González, R., López-Sánchez, J., Piña-Garduño, A., & Herrera-Flores, E. (2017). Evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán a escala detallada un método híbrido de clasificación de imágenes SPOT. *Madera y Bosques*, 23(2). <https://dx.doi.org/10.21829/myb.2017.2321472>
- Keith, H., Mackey, B. G., & Lindenmayer, D. B. (2009). Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(28), 11635-11640. <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.0901970106>
- Kurz, W. A., Dymond, C. C., Stinson, G., Rampley, G. J., Neilson, E. T., Carroll, A. L., Ebata, T., & Safranyik, L. (2008). Mountain pine

- beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, 452, 987-990. <https://www.nature.com/articles/nature06777>
- Lapeyre, T., Alegre, J., & Arévalo, L. (2004). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 3(1-2), 35-44. <https://dx.doi.org/10.21704/rea.v3i1-2.269>
- López-Reyes, L. Y., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Zavala-Cruz, J., Gómez-Guerrero, A., & Posada-Cruz, S. (2016). *Madera y Bosques*, 22(3), 49-60. <https://dx.doi.org/10.21829/myb.2016.2231456>
- Mogrovejo Jaramillo, P. R. (2017). *Bosques y cambio climático en Ecuador: el regente forestal como actor clave en la mitigación del cambio climático*. Universidad Andina Simón Bolívar. <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/5862>
- Mori Montero, C. (2022). *Relación de la deforestación con las variaciones de temperatura y precipitación en el Distrito de Nueva Requena, Región Ucayali - 2019*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/7691>
- Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)*. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2015, 11 de mayo). *Los bosques y suelos forestales contribuyen de manera esencial a la producción agrícola y la seguridad alimentaria mundial*. <https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/285875/>
- Pazmiño Basurto, A. L., & Pinagorte Ramírez, M. E. (2018). *Evaluación de la captura de carbono como criterio para la conservación del ceibo (Ceiba Trichistandra) del Jardín Botánico de la UTM*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/842>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (1976). *El estado del medio ambiente*. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28251/TSE1976_SP.pdf?sequence=3&isAllo22wed=y
- Quispe Trinidad, M. A. (2021). *Simulación geoespacial de la tasa de deforestación al 2030 en el distrito de Nueva Requena - Ucayali*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAS_4a4d74f9de1e903a70835a7b186b1d79/Details
- Razo-Zárate, R., Gordillo-Martínez, A. J., Rodríguez-Laguna, R., Maycotte-Morales, C. C., & Acevedo-Sandoval, O. A. (2013). Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo, México. *Madera y Bosques*, 19(2), 73-86. <https://dx.doi.org/10.21829/myb.2013.192341>
- Uclés, D. (2006). El valor económico del medio ambiente. *Ecosistemas*, 15(2), 1-6. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/187>
- Vallejo Larios, M. (2011). *Evaluación preliminar sobre causas de deforestación y degradación de bosques en Honduras. Informe final*. Programa Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana [REDD - CCAD/GIZ]. <https://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2022/02/2011-Analisis-de-la-Deforestacion-en-Honduras-REDD-CCAD-GiZ.pdf>