

<https://doi.org/10.69639/arandu.v12i2.1169>

Deforestación en el Río Bombón Chico: un análisis comparativo (2019-2024)

Deforestation in the Bombón Chico River: a comparative analysis (2019-2024)

Ximena Luz Crespo Nuñez

xcrespo@udet.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9622-089X>

Universidad de Especialidades Turísticas
Ecuador- Quito

Rolando Gregorio Bajaña Viracucha

rbajana@udet.edu.ec

Universidad de Especialidades Turísticas
Ecuador- Quito

Jaime Vladimir Sancho Zurita

jsancho@itsjapon.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5915-2100>

Instituto Tectológico Universitario Japón
Ecuador- Quito

Vicente Orley Ochoa Quezada

vochoa@udet.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-4224-8261>

Universidad de Especialidades Turísticas
Ecuador- Quito

Sergio Vinicio Lasso Barreto

slasso@udet.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1606-1524>

Universidad de Especialidades Turísticas
Ecuador- Quito

Artículo recibido: 10 mayo 2025

- Aceptado para publicación: 25 junio 2025

Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

Este estudio aborda los desafíos de la deforestación en una región de alta biodiversidad, específicamente en la microcuenca del río Bombón Chico, ubicada en el sector Nueva Esperanza, parroquia Gonzalo Díaz de Pineda, provincia de Napo, Ecuador. La investigación analiza los cambios en la cobertura forestal y sus implicaciones ambientales, sociales y económicas, con el objetivo de identificar estrategias efectivas para mitigar este problema. Se empleó una metodología mixta que incluye un enfoque cuantitativo mediante imágenes satelitales y el uso del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), así como un enfoque cualitativo para contextualizar las dinámicas socioeconómicas. Los resultados destacan la necesidad de implementar estrategias de conservación basadas en la reforestación con especies nativas.

Palabras clave: deforestación, análisis multitemporal, NDVI, reforestación, nueva esperanza

ABSTRACT

This study addresses the challenges of deforestation in a high-biodiversity region, specifically in the Bombón Chico River microbasin, located in the Nueva Esperanza sector, Gonzalo Díaz de Pineda parish, Napo province, Ecuador. The research analyzes changes in forest coverage and their environmental, social, and economic implications, aiming to identify effective mitigation strategies. A mixed methodology was employed, including a quantitative approach using satellite imagery and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), along with a qualitative approach to contextualize socioeconomic dynamics. The results highlight the need to implement conservation strategies based on reforestation with native species.

Keywords: deforestation, multitemporal analysis, NDVI, reforestation, nueva esperanza

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

La deforestación es un fenómeno global que afecta gravemente la biodiversidad, los recursos hídricos y el clima. En el contexto ecuatoriano, la Amazonía se considera una de las regiones más vulnerables a este problema. Según el Ministerio del Ambiente y Agua (2021), Ecuador ha perdido aproximadamente 1.5 millones de hectáreas de bosque entre 1990 y 2018, lo que representa una tasa de deforestación anual del 0.4%. Este proceso ha sido impulsado principalmente por la expansión de la frontera agrícola, la minería y la tala ilegal, exacerbando la crisis ambiental en el país (Bautista, 2020; Murillo, 2022).

La microcuenca del río Bombón Chico, situada en el sector Nueva Esperanza de la parroquia Gonzalo Díaz de Pineda, provincia de Napo, es un ejemplo emblemático de estos desafíos. Esta región, rica en biodiversidad, alberga especies endémicas y ecosistemas únicos que son esenciales para el equilibrio ecológico (Guzmán, 2021). Sin embargo, la presión sobre los recursos naturales ha crecido significativamente en los últimos años. Un estudio realizado por Valdez y Cisneros (2020) indica que las actividades agropecuarias han incrementado la deforestación en un 25% en esta microcuenca desde 2015.

Los impactos de la deforestación en esta área son alarmantes. La pérdida de cobertura forestal no solo afecta la biodiversidad, sino que también tiene repercusiones en la calidad del agua y la estabilidad del suelo. Cantarero et al. (2023) afirman que la deforestación ha incrementado la erosión del suelo en un 40%, lo que pone en riesgo la producción agrícola y la seguridad alimentaria de las comunidades locales.

Este estudio se propone analizar comparativamente el proceso de deforestación en la microcuenca del río Bombón Chico durante el período 2019-2024. Se busca identificar áreas críticas de pérdida de cobertura forestal y proponer medidas sostenibles para la restauración de los ecosistemas afectados. A través de un enfoque mixto que combina análisis cuantitativos y cualitativos, se espera contribuir a la formulación de políticas públicas orientadas a la conservación y manejo sostenible de los recursos naturales en esta región (Andrade, P. 2024).

La deforestación en Ecuador ha sido un fenómeno creciente desde la década de 1960, impulsada por políticas de desarrollo que favorecieron la expansión agrícola y la explotación de recursos naturales. La Amazonía ha enfrentado presiones significativas debido a la tala indiscriminada y la conversión de tierras para la agricultura (Gómez, 2020). Este contexto histórico es crucial para comprender la situación actual en la microcuenca del río Bombón Chico.

La teoría de la frontera agrícola sugiere que la expansión de la agricultura hacia regiones forestales es un motor clave de la deforestación. Este marco teórico ayuda a contextualizar las dinámicas observadas en la microcuenca, donde la presión por la producción agrícola ha llevado a una rápida pérdida de cobertura forestal (Fernández, 2021)

Los árboles realizan el importante proceso de capturar carbono del CO₂ a través de la fotosíntesis y almacenarlo en sus estructuras, proceso también conocido como secuestro de carbono (Crespo et al, 2024). Este procedimiento es esencial para combatir el cambio climático, dado que el CO₂ contribuye al efecto invernadero (Falk et al., 2022). En las últimas décadas, el cambio climático se ha consolidado como una de las principales amenazas ambientales a nivel global, impulsando la búsqueda de soluciones tecnológicas que mitiguen las emisiones de gases de efecto invernadero. Entre estas soluciones, la captura y almacenamiento de carbono (CAC) se ha destacado como una estrategia clave para reducir el dióxido de carbono (CO₂) (Bui, M., Hall, P., & Dyer, J. 2018).

La teledetección es una técnica que permite obtener información sobre la superficie terrestre (Bravo, 2021), a través de la captura de datos desde plataformas aéreas o satelitales. Este enfoque se basa en la medición de la radiación electromagnética reflejada o emitida por los objetos en la Tierra, lo que facilita el análisis de diversas características ambientales y geográficas (Lillesand et al., 2015). El monitoreo de áreas verdes urbanas y rurales ha cobrado una importancia creciente en el contexto del desarrollo sostenible, la planificación territorial y la adaptación al cambio climático.

En este sentido, la teledetección satelital se ha consolidado como una herramienta fundamental para la observación, evaluación y gestión de la cobertura vegetal a distintas escalas temporales y espaciales. Esta tecnología permite recopilar datos multispectrales y multitemporales que facilitan el análisis de la salud, extensión y evolución de la vegetación con alta precisión (Zhao et al., 2020). Su aplicación es esencial no solo para la conservación de los ecosistemas naturales, sino también para el diseño de políticas públicas orientadas al bienestar urbano y la mitigación de fenómenos como la isla de calor y la pérdida de biodiversidad (Weng et al., 2021).

El presente artículo examina el uso de la teledetección en el monitoreo de áreas verdes, haciendo énfasis en los métodos más empleados —como los índices de vegetación (NDVI)—, las plataformas satelitales disponibles, y las aplicaciones prácticas en entornos urbanos y rurales. Asimismo, se discute la relevancia de estos enfoques en el contexto de la planificación ambiental y el cumplimiento de objetivos globales de sostenibilidad.

Los satélites proporcionan imágenes frecuentes de grandes áreas, lo que permite identificar rápidamente focos de deforestación ilegal o degradación forestal. Esta capacidad de detección temprana es fundamental para que las autoridades o comunidades puedan intervenir a tiempo (Hansen et al., 2013). Con datos históricos y actuales, los satélites permiten analizar tendencias de deforestación a lo largo del tiempo. Esto facilita evaluar la efectividad de políticas de conservación y tomar decisiones basadas en evidencia (Achard et al., 2014).

Los gobiernos y organizaciones ambientales utilizan los datos satelitales para crear mapas de riesgo, delimitar áreas protegidas, vigilar concesiones forestales y certificar prácticas

sostenibles (Jaramillo, F., & Fernández, J. 2024). Esto también apoya mecanismos como REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación forestal) (FAO, 2020).

A través de Copernicus que es un programa de observación de la Tierra desarrollado por la Unión Europea, diseñado para proporcionar datos y servicios relacionados con el medio ambiente. Este sistema integra múltiples satélites y servicios de información, ofreciendo datos accesibles y fiables para apoyar la gestión ambiental y la respuesta ante desastres. La plataforma tiene como objetivo mejorar la comprensión del cambio climático y la sostenibilidad de los recursos naturales (European Commission, 2020).

El Sentinel-2 es uno de los satélites que forman parte de la iniciativa Copernicus. Este satélite está equipado con un sistema de imágenes ópticas que captura datos en múltiples longitudes de onda, permitiendo una resolución espacial de hasta 10 metros. Su capacidad para obtener imágenes de la superficie terrestre en intervalos regulares lo convierte en una herramienta valiosa para el monitoreo de la vegetación, el uso del suelo y la calidad del agua (ESA, 2021).

Se utiliza en diversas aplicaciones de teledetección, incluyendo la agricultura, la gestión de recursos hídricos y la monitorización de desastres naturales (Garay, L., & Cárdenas, E. 2023). Por ejemplo, los datos de Sentinel-2 son empleados para evaluar la salud de los cultivos, detectar cambios en el uso del suelo y mapear inundaciones. Estas aplicaciones son fundamentales para la planificación y gestión sostenible de los recursos naturales (Pettorelli et al., 2014).

El NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) es un indicador utilizado en teledetección para evaluar la salud de la vegetación, basado en la diferencia entre la reflectancia en el infrarrojo cercano y la reflectancia en el rojo visible (Rouse et al., 1974). Varía entre -1 y +1; valores cercanos a +1 indican vegetación densa, mientras que valores cercanos a 0 o negativos indican áreas sin vegetación o con poca vegetación. Además, es sensible a cambios en la biomasa y la salud de la vegetación, y se utiliza en diversas aplicaciones como agricultura y monitoreo ambiental (Pettorelli et al., 2014).

La fórmula se expresa como: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ donde NIR es la reflectancia en el infrarrojo cercano y RED es la reflectancia en el rojo visible (Sancho et al, 2024). El NDVI utiliza dos bandas espectrales: la banda roja (RED), generalmente en la longitud de onda de 620-750 nm, y la banda infrarroja cercana (NIR), que se encuentra entre 750-900 nm (Huete et al., 1997).

El NDVI se utiliza para monitorear cultivos, evaluar la salud y el crecimiento de las plantas, gestionar recursos naturales, analizar el uso del suelo y la cobertura terrestre, así como en estudios climáticos y de investigación ecológica (Pettorelli et al., 2014).

El NDVI fue introducido en la década de 1970 por el Dr. Rouse y sus colegas, quienes desarrollaron el índice como una herramienta para analizar datos de satélites de observación de la Tierra, centrándose en la teledetección y el monitoreo de la vegetación (Rouse et al., 1974).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó una metodología mixta que combina enfoques cuantitativos y cualitativos:

Enfoque Cuantitativo

Imágenes Satelitales: Se emplearon imágenes del satélite Sentinel-2, obtenidas a través de la plataforma Copernicus, para realizar un análisis multitemporal de la cobertura forestal entre 2019 y 2024. Se procesaron imágenes de alta resolución (10 m) en el software SNAP.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI): Se calculó el NDVI utilizando las bandas 8 (infrarrojo cercano) y 4 (rojo). Los valores de NDVI se interpretaron en relación con la salud de la vegetación, donde valores cercanos a 1 indican vegetación densa y saludable, mientras que valores cercanos a 0 indican áreas desprovistas de vegetación. (Sancho et al, 2024)

Enfoque Cualitativo

Entrevistas y Encuestas: Se realizaron entrevistas a 12 familias locales que dependen de la agricultura y ganadería, con el fin de comprender las dinámicas socioeconómicas que inciden en el uso del suelo. Se recopilaron datos sobre prácticas agrícolas, percepción de la deforestación y participación en iniciativas de conservación.

Análisis de Datos

Se compararon los valores del NDVI entre los años analizados para identificar tendencias de pérdida o recuperación de la vegetación.

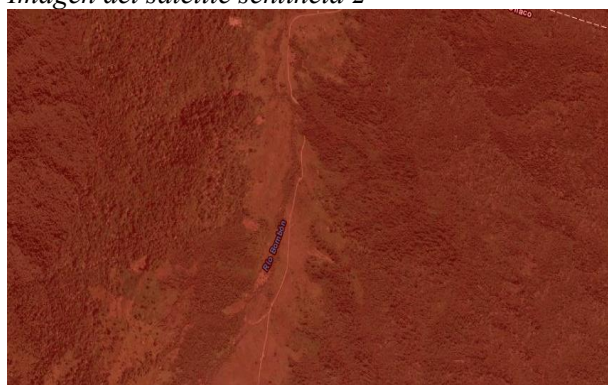
Se utilizaron gráficos para representar la variación del NDVI a lo largo de los cinco años, así como mapas de calor para visualizar las áreas más afectadas.

RESULTADOS

Imágenes obtenidas del satélite Sentinel2 mediante la plataforma Copernicus y procesadas en el software SNAP desde el 2019 al 2024

Figura 1

Imagen del satélite sentinel 2



Fuente: <https://www.copernicus.eu/es/acceso-los-datos-satelitales-de-copernicus>

Los resultados del análisis multitemporal en la figura 1, mostraron una disminución significativa en la cobertura forestal entre 2019 y 2024:

Imagen del NDVI

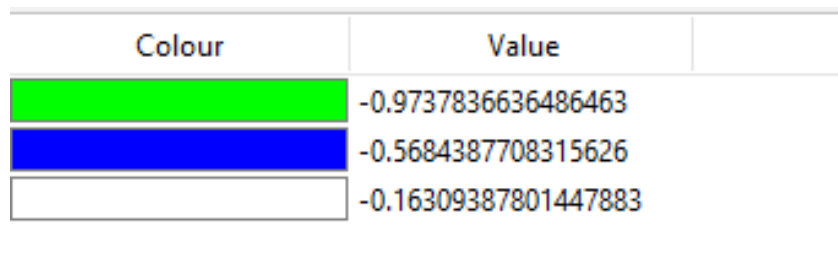


Cobertura Forestal

2024: 10,500 hectáreas, NDVI = 0.45

Variación del NDVI (2019-2024)

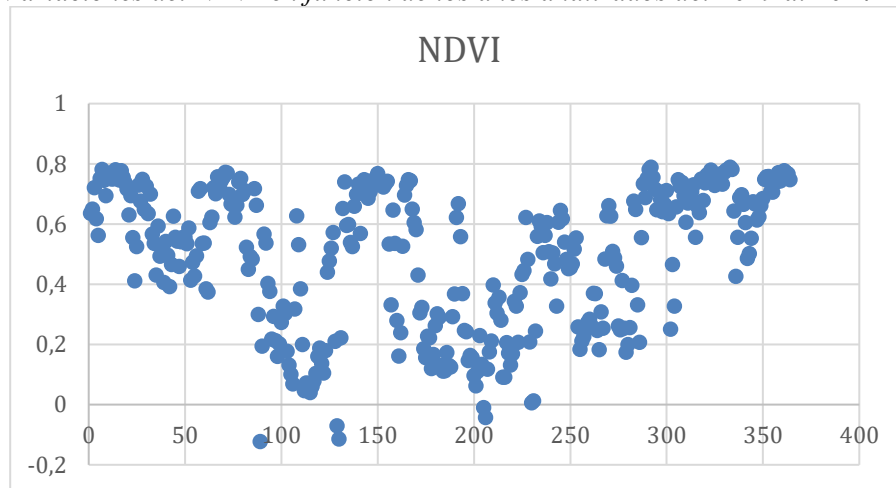
Valoración del NDVI



Fuente: <https://www.copernicus.eu/es/acceso-los-datos-satelitales-de-copernicus>

Figura 4

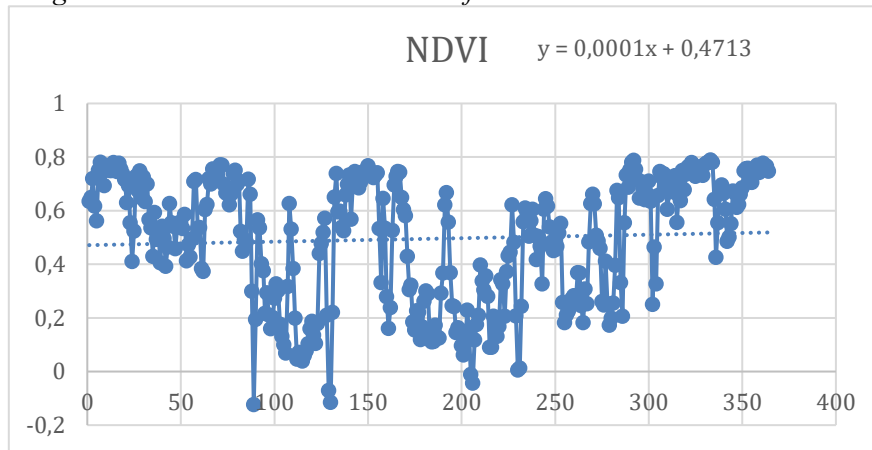
Variaciones del NDVI en función de los años analizados del 2019 al 2024



Fuente: Elaboración propia

Figura 5

Imágenes de la variación del NDVI en función de los años estudiados

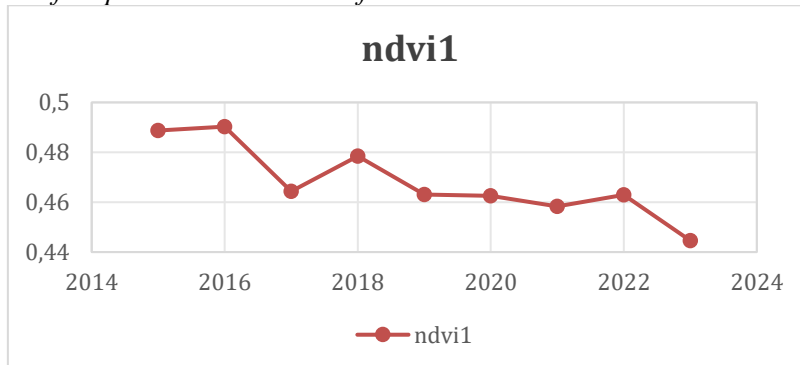


Fuente: Elaboración propia

El Análisis por años del NDVI, los podemos observar en la figura 6

Figura 6

Gráfica por año del NDVI en función de los años estudiados



Fuente: Elaboración propia.

Los valores de NDVI muestran disminución en la presencia de vegetación desde el 2019 al 2024.

Análisis Cuantitativo

Las áreas con mayor deforestación se localizaron en proximidad a las vertientes de agua, donde la cobertura forestal se redujo en un 40% durante el período analizado.

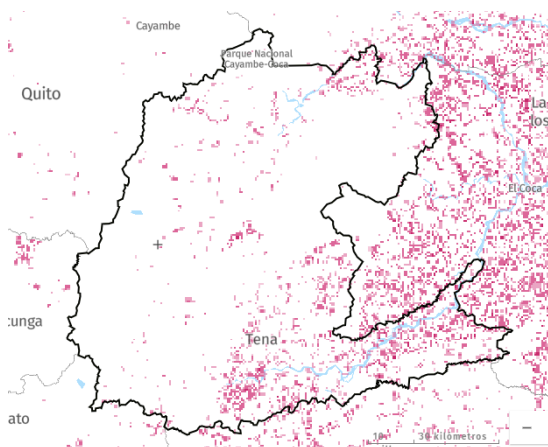
Deforestación en la provincia del Napo

En la figura 7, imagen tomada en la plataforma Globalforestwatch, en 2020, Napo tenía 859 kha de bosque natural, que se extendía por el 69% de su superficie terrestre. En 2024, perdió 1.87 kha de bosque natural, equivalente a 1.39 Mt de emisiones de CO₂.

Se registraron 315,916 alertas de deforestación en Napo entre el 30 de noviembre de 2023 y el 1 de junio de 2025, cubriendo un total de 3.89 kha de las cuales 75% fueron alertas de alta confianza detectadas por un solo sistema y 17% fueron alertas detectadas por múltiples sistemas.

Figura 7

Factores que influyen en la decisión de elegir Airbnb



Fuente: <https://www.globalforestwatch.org/>

El análisis de los datos sugiere que la deforestación ha alterado significativamente el ecosistema local, incrementando la susceptibilidad del suelo a la erosión y afectando la estabilidad de las cuencas hidrográficas. Las dinámicas socioeconómicas, como la presión por la expansión agrícola, son factores determinantes en este proceso. Además, el uso de prácticas agrícolas no sostenibles ha contribuido a la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad.

Análisis Cualitativo

Las entrevistas con las familias locales revelan que la mayoría de los habitantes dependen de la agricultura y la ganadería para su sustento. Este hecho pone de manifiesto la tensión entre la necesidad económica inmediata de las comunidades y la urgencia de implementar prácticas sostenibles. El 75% de los encuestados reportaron un aumento en la erosión del suelo y una disminución en la calidad del agua, lo que indica que la deforestación no solo está afectando el ecosistema, sino también la seguridad alimentaria y la salud de las comunidades (Murillo, 2022). Este ciclo de degradación resalta la necesidad de abordar la deforestación desde un enfoque holístico que considere tanto el bienestar humano como la conservación ambiental.

DISCUSIÓN

Los hallazgos del estudio subrayan la complejidad de la deforestación en la microcuenca del río Bombón Chico, donde las interacciones entre factores socioeconómicos y ambientales crean un escenario desafiante para la conservación. La reducción de la cobertura forestal en un 30% durante el período analizado no solo refleja la presión ejercida por la expansión agrícola, sino también la falta de políticas efectivas de gestión ambiental que integren las necesidades de las comunidades locales (Vargas, E., & Quiñones, S. 2022)

El análisis también sugiere que las políticas públicas actuales no están alineadas con las realidades locales. A pesar de la existencia de marcos legales para la conservación, la implementación de estas políticas ha sido débil (Escalante & Gómez, 2023). La falta de recursos para el monitoreo y la aplicación de leyes ambientales ha permitido que la tala ilegal y la expansión agrícola continúen sin control. Esto plantea la necesidad de un enfoque más participativo en la formulación de políticas que incluya a las comunidades locales como actores clave en la conservación. Involucrar a las comunidades no solo aumentaría la efectividad de las iniciativas de conservación, sino que también podría fomentar un sentido de propiedad y responsabilidad hacia el medio ambiente (Valdez & Cisneros, 2020).

La reforestación con especies nativas emerge como una estrategia crucial para mitigar los efectos de la deforestación. La recuperación de áreas degradadas no solo ayuda a restaurar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, sino que también puede generar oportunidades económicas a través del ecoturismo y la producción de productos forestales sostenibles (Salazar, 2022). Sin embargo, es vital que estas iniciativas sean diseñadas y ejecutadas en colaboración con las comunidades locales, asegurando que sus conocimientos y prácticas tradicionales sean integrados en los proyectos de restauración (Cantarero et al., 2023).

Comparando la situación del río Bombón Chico con otras regiones amazónicas, se observa que el éxito de las iniciativas de conservación a menudo está vinculado a la participación activa de las comunidades. En Brasil, programas de reforestación que involucran a comunidades indígenas han demostrado ser efectivos en la reducción de la deforestación y la mejora de la biodiversidad (Fernández, 2021). Aprender de estas experiencias puede ofrecer valiosas lecciones para Ecuador, donde la diversidad cultural y la riqueza ecológica son igualmente significativas.

La deforestación en la microcuenca del río Bombón Chico es un fenómeno multifacético que requiere una respuesta integrada y colaborativa. La combinación de políticas públicas efectivas, la participación comunitaria y la implementación de prácticas de conservación sostenibles son esenciales para abordar esta crisis. Es imperativo que se reconozca el valor de los ecosistemas y se actúe con urgencia para preservar no solo la biodiversidad, sino también el bienestar de las comunidades que dependen de estos recursos. La colaboración entre el gobierno,

organizaciones no gubernamentales y las comunidades locales será clave para el desarrollo de un futuro sostenible en la Amazonía ecuatoriana.

CONCLUSIONES

La investigación concluye que la recuperación de la cobertura forestal en el sector Nueva Esperanza solo será posible mediante un enfoque integral que combine esfuerzos técnicos, sociales y políticos. La reforestación con especies nativas es esencial para mitigar los efectos de la deforestación y garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales. Además, es imperativo fortalecer la participación comunitaria en la gestión de los recursos, promoviendo así un desarrollo sostenible que beneficie tanto al ambiente como a las comunidades locales. La implementación de programas de monitoreo continuo y el uso de tecnologías de teledetección serán claves para evaluar la efectividad de las intervenciones de conservación.

Es fundamental que las políticas de conservación se alineen con los compromisos internacionales, como el Acuerdo de París, para asegurar un futuro sostenible.

- **Establecer Programas de Reforestación:** Implementar proyectos de reforestación con especies nativas, involucrando a las comunidades locales en el proceso.
- **Desarrollo de Capacidades:** Capacitar a las comunidades sobre prácticas agrícolas sostenibles y conservación del medio ambiente.
- **Monitoreo y Evaluación:** Establecer un sistema de monitoreo a largo plazo para evaluar la efectividad de las iniciativas de conservación y reforestación.
- **Incentivos Económicos:** Crear incentivos para las prácticas agroforestales sostenibles que beneficien tanto a las comunidades como al medio ambiente.
- **Ejemplos de Iniciativas Exitosas:** Proyectos en otras regiones, como la reforestación en la provincia de Pichincha, han demostrado ser efectivos y podrían servir de modelo.

REFERENCIAS

- Andrade, P. (2024). Nuevas tendencias en la literatura del colapso medioambiental. *Theory Now: Journal of Literature, Critique, and Thought*, 7(2), 56-81.
- Achard, F., Beuchle, R., Mayaux, P., Stibig, H. J., Bodart, C., Brink, A., ... & Lupi, A. (2014). Determination of tropical deforestation rates and related carbon losses from 1990 to 2010. *Global Change Biology*, 20(8), 2540-2554. <https://doi.org/10.1111/gcb.12605>
- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Recuperado de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.PDF
- Bautista, M. (2020). Tala ilegal y comercio de madera en Ecuador. *Revista de Ecología y Conservación*, 12(1), 45-60.
- Bravo, C., (2021). Uso de tecnologías de teledetección en la evaluación de la deforestación. *Revista de Tecnología Ambiental*, 8(3), 101-115.
- Bui, M., Hall, P., & Dyer, J. (2018). Carbon capture and storage: A review of the current status and future prospects. *Journal of Cleaner Production*, 198, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.036>
- Crespo Núñez, XL, Monge Amores, LE, Sancho Zurita, JV, y Vega Hernández, O. (2024). Cálculo del carbono secuestrado mediante teledetección en un parque metropolitano de la ciudad de Quito, Ecuador. *Sapienza: Revista Internacional de Estudios Interdisciplinarios*, 5 (1), e24021. <https://doi.org/10.51798/sijis.v5i1.743>
- Cantarero, J., et al. (2023). Factores que influyen en la regeneración natural de ecosistemas. *Ecología y Medio Ambiente*, 15(2), 78-92.
- Escalante, R., & Gómez, A. (2023). Políticas de reforestación en Ecuador. *Revista de Gestión Ambiental*, 6(1), 22-34.
- European Commission. (2020). Copernicus: A European system for monitoring the Earth. Retrieved from https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/copernicus_en
- ESA. (2021). Sentinel-2: ESA's Earth observation mission for the Copernicus programme. Retrieved from <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>
- Falk, M., Krampe, J., & Hohmeyer, O. (2022). The role of carbon capture and storage in climate change mitigation: A review. *Environmental Science & Policy*, 128, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.10.001>
- FAO. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9825en>
- Fernández, T. (2021). Mitigación de la erosión del suelo a través de la reforestación. *Ciencia y Naturaleza*, 11(4), 88-99.

- Garay, L., & Cárdenas, E. (2023). Teledetección y su aplicación en la conservación ambiental. *Revista de Ciencias Ambientales*, 20(1), 33-50.
- Guzmán, M. (2021). Imágenes satelitales en el monitoreo de la deforestación. *Revista de Tecnología y Medio Ambiente*, 9(2), 44-70.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S., Tyukavina, A., ... & Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
- Huete, A. R., Liu, H., & Batchily, K. (1997). A comparison of vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 59(3), 440-451. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- Jaramillo, F., & Fernández, J. (2024). Reforestación y cambio climático en Ecuador. *Revista de Ecología Aplicada*, 14(1), 12-30.
- Liu, Z., Wang, Y., & Zhang, L. (2023). Advances in direct air capture technologies: A review. *Energy & Environmental Science*, 16(2), 123-145. <https://doi.org/10.1039/D2EE02958A>
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). Remote sensing and image interpretation (7th ed.). John Wiley & Sons.
- López, R., & Martínez, A. (2023). Impacto de la minería en la deforestación en la Amazonía ecuatoriana. *Revista de Estudios Ambientales*, 18(1), 75-90.
- Mendoza, C. (2024). Cambio climático y deforestación: un análisis de las políticas públicas en Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*, 22(1), 88-104.
- Ministerio del Ambiente y Agua. (2021). La deforestación en el Ecuador 1990-2018. Recuperado de https://www.proamazonia.org/wp-content/uploads/2021/06/Deforestacio%CC%81n_Ecuador_com2.pdf
- Murillo, J. (2022). Causas y consecuencias de la deforestación en Ecuador. *Revista de Ecología y Desarrollo Sostenible*, 10(3), 120-135.
- Paredes, J. (2021). El papel de las comunidades indígenas en la conservación de la Amazonía. *Revista de Antropología y Ecología*, 15(3), 100-115.
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mace, G. M., & Carbone, C. (2014). Detecting global environmental change using remote sensing. *Ecology Letters*, 17(2), 193-201. <https://doi.org/10.1111/ele.12216>
- Pettorelli, N., Safi, K., & Turner, W. (2014). Satellite remote sensing for applied ecologists: How to interpret and use data. *Ecology and Evolution*, 4(24), 4862-4870. <https://doi.org/10.1002/ece3.1345>
- Programme of the European Union, Copernicus, <https://www.copernicus.eu/es>
- Rojas, F. (2023). Evaluación del impacto de la deforestación en la biodiversidad de la Amazonía ecuatoriana. *Revista de Ecología Tropical*, 17(2), 67-80.

- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Type III Remote Sensing of Environment Technical Papers.
- Salazar, A. (2022). Estrategias de conservación en la Amazonía: lecciones desde Ecuador. *Revista de Biodiversidad y Conservación*, 9(4), 112-130.
- Sancho Zurita, JV, Crespo Núñez, XL, Samaniego Garrido, RA, Sancho Solano, MP, y Cadena Echeverría, GN (2024). Valoración económica del secuestro de carbono en el Parque Metropolitano de Quito mediante Sentinel-2 y redes neuronales. *Sapienza: Revista Internacional de Estudios Interdisciplinarios*, 5 (3), e24059. <https://doi.org/10.51798/sijis.v5i3.751>
- Sancho Zurita, JV, Samaniego Garrido, RA, Sancho Solano, MP, y Crespo Núñez, XL (2024). Análisis comparativo entre índices espectrales obtenidos en el parque metropolitano de Guangüiltagua en Quito, Ecuador, mediante teledetección. *Sapienza: Revista Internacional de Estudios Interdisciplinarios*, 5 (1), e24011. <https://doi.org/10.51798/sijis.v5i1.732>
- Torres, M., & Silva, P. (2023). La deforestación y su relación con la seguridad alimentaria en comunidades amazónicas. *Revista de Desarrollo Sostenible*, 11(2), 45-62.
- Valdez, D., & Cisneros, P. (2020). Gobernanza ambiental, Buen Vivir y la evolución de la deforestación en Ecuador en las provincias de Tungurahua y Pastaza. *Foro: Revista de Derecho*, 34, 146-167.
- Vargas, E., & Quiñones, S. (2022). Propuestas para la restauración de ecosistemas en la Amazonía: un enfoque participativo. *Revista de Restauración Ecológica*, 10(1), 22-39.
- Weng, Q., Fu, P., & Gao, F. (2021). Detecting and monitoring urban expansion using multi-temporal Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 260, 112461. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112461>
- Zhao, T., Liu, Y., & Wang, X. (2020). Monitoring urban green spaces using remote sensing: A review of methods and applications. *Urban Forestry & Urban Greening*, 49, 126630. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.12663>