

Identificación de fragmentación boscosa en la Microcuenca del Río Cacao mediante drones DJI FLY.

Identification of forest fragmentation in the Cacao River Micro catchment using DJI FLY
drones

Félix Camarena

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Azuero. Panamá

felix.camarena@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-5601-3252>

Hillary N. Igualada R.

Ministerio de Ambiente. Panamá

higualada@miambiente.gob.pa <https://orcid.org/0009-0007-8416-123X>

Rigoberto Cruz Torres

Universidad Tecnología de Panamá. Panamá.

rigoberto.cruz@utp.ac.pa <https://orcid.org/0009-0002-1018-2963>

Diego A. Arrocha

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Azuero. Panamá

diego07.arrocha21@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-5529-1798>

Recepción: 21 de mayo de 2025

Aprobación: 28 de julio de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.7322>

Resumen

La microcuenca del río Cacao, en el sector de Quema, corregimiento de Mogollón, distrito de Macaracas, Los Santos (Panamá), enfrenta una grave fragmentación de su cobertura boscosa debido a la deforestación ilegal con motosierra, fenómeno que ha reducido los bosques primarios a pequeños fragmentos y amenaza la biodiversidad local. Esta situación se agrava por la expansión agropecuaria desde la década de 1960, lo que ha dejado solo un 9.7% de la vegetación original en cuencas vecinas. Para identificar y cuantificar la fragmentación boscosa, utilizando drones equipados con cámaras de alta resolución. Se planificaron vuelos a 120 metros de altura sobre áreas previamente identificadas como deforestadas, capturando imágenes aéreas con un solape del 70-80%. Estas imágenes fueron

corregidas, georreferenciadas y analizadas mediante software QGIS y Google Earth para delimitar y medir los fragmentos de bosque. Los resultados muestran una fragmentación significativa en la microcuenca, con claros visibles y pérdida de continuidad en la cobertura vegetal. Se identificaron patrones altitudinales: pastizales en zonas bajas, erosión severa en sectores medios y fragmentos de bosques secundarios en áreas altas. El inventario florístico reveló más de 200 especies arbóreas nativas en los remanentes. Las implicaciones ambientales son críticas: la fragmentación reduce la conectividad ecológica, afecta la biodiversidad endémica y compromete servicios ecosistémicos como la regulación hídrica y la estabilidad del suelo. El uso de drones facilita el monitoreo y la planificación de estrategias de restauración y conservación en paisajes tropicales fragmentados.

Palabras clave: biodiversidad local, deforestación, fragmentación boscosa, monitoreo ambiental, servicios ecosistémicos

Abstract

The Cacao River micro-watershed, located in sector de Quema, corregimiento de Mogollón, distrito de Macaracas, Los Santos (Panamá), is facing severe fragmentation of its forest cover due to illegal chainsaw deforestation, a phenomenon that has reduced primary forests to small fragments and threatens local biodiversity. This situation has worsened due to agricultural expansion since the 1960s, leaving only 9,7 % of the original vegetation in neighboring watersheds. To identify and quantify forest fragmentation, was employed a dron equipped with high-resolution camera. Flights were planned at 120 meters altitude over previously identified deforested areas, capturing aerial images with 70-80 % overlap. These images were corrected, georeferenced, and analyzed using QGIS and Google Earth software to delineate and measure forest fragments. The results show significant fragmentation in the micro-watershed, with visible clearings and loss of continuity in vegetation cover. Altitudinal patterns were identified: grasslands in low areas, severe erosion in mid sectors, and secondary forest fragments in high areas. The floristic inventory revealed over 200 native tree species in the remnants. Environmental implications are critical: fragmentation reduces ecological

connectivity, affects endemic biodiversity, and compromises ecosystem services such as water regulation and soil stability. The use of drones facilitates monitoring and the planning of restoration and conservation strategies in fragmented tropical landscapes.

Keywords: environmental monitoring, ecosystem services, forest fragmentation, deforestation, local biodiversity,

INTRODUCCIÓN

La microcuenca del río Cacao, en el sector de Quema, corregimiento de Mogollón, distrito de Macaracas, Los Santos (Panamá), enfrenta una creciente problemática ambiental debido a la deforestación ilegal con motosierra, que ha fragmentado significativamente su cobertura boscosa. Entre 2022 y 2023, Panamá perdió aproximadamente el 4 % de su cobertura forestal, con impactos severos en regiones como Veraguas, Darién, Coclé y Los Santos, donde se han detectado al menos 7 hectáreas deforestadas en áreas protegidas denominada, Reserva Hidrológica de la Microcuenca del Río Cacao, hábitat crucial para especies emblemáticas como guacamayas y venados (Proyecto PROBÍO, 2023). La expansión de la ganadería extensiva y la agricultura comercial ha sido un motor clave en la transformación de los paisajes tropicales de América Latina, incluyendo regiones como la península de Azuero en Panamá. Este proceso ha llevado a una significativa pérdida de cobertura forestal y a la degradación de los ecosistemas (Heckadon-Moreno, 2009; Pacheco et al., 2011).

El estudio de la fragmentación boscosa en esta microcuenca se fundamenta en la ecología de paisaje, que analiza cómo la tala selectiva con motosierra altera la conectividad ecológica y reduce la biodiversidad local. Para documentar y cuantificar estos cambios, se han empleado tecnologías avanzadas como drones DJI FLY AIR 3, equipados con cámaras de alta resolución, que permiten obtener imágenes aéreas detalladas y libres de nubosidad, facilitando la identificación precisa de áreas deforestadas y la extracción individual de árboles (DJI, 2023). Estas herramientas complementan imágenes satelitales y estudios de campo, evidenciando patrones altitudinales de degradación: en las zonas bajas, la conversión de bosques en pastizales para la ganadería extensiva es común. Las áreas medias,

especialmente en terrenos inclinados, son propensas a la erosión del suelo debido a prácticas agrícolas inadecuadas. En las elevaciones más altas, los bosques secundarios fragmentados coexisten con la agricultura de subsistencia (IPCC, 2019).

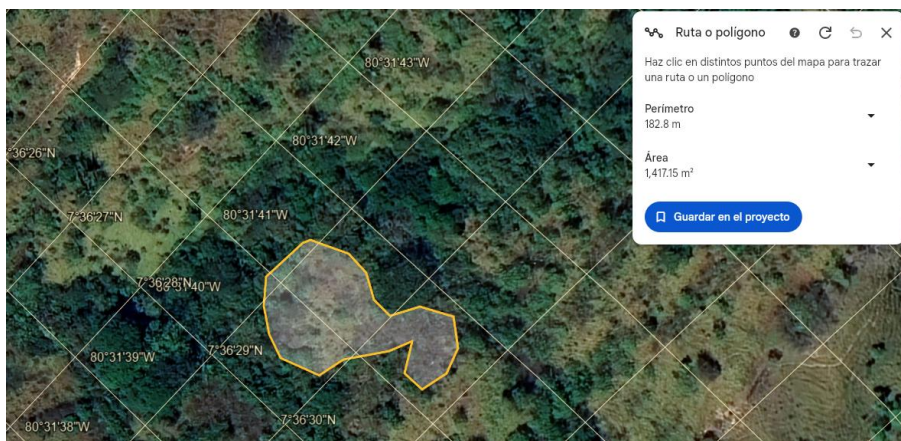
La aplicación de drones ha sido fundamental para el inventario florístico realizado por el Proyecto PROBÍO, que ha identificado más de 200 especies arbóreas nativas en los fragmentos remanentes y ha establecido indicadores de regeneración basados en la presencia de plántulas y especies maderables, lo que orienta estrategias de restauración y conservación (Proyecto PROBÍO, 2023). La fragmentación y pérdida de hábitat resultantes de la deforestación con motosierra representan una amenaza crítica para la integridad ecológica y los servicios ecosistémicos hídricos de la microcuenca, afectando la biodiversidad endémica y la estabilidad del suelo (Pacheco et al., 2011; IPCC, 2019). En este trabajo pretendemos Identificar y cuantificar la fragmentación boscosa en la Microcuenca del Río Cacao mediante drones DJI FLY AIR 3 para evaluar impactos ambientales y apoyar la sostenibilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo pretende evidenciar los impactos que produce la deforestación sobre la Microcuenca del Río Cacao ubicada en el distrito de Macaracas, provincia de Los Santos, Panamá. Para ello utilizaremos la metodología de Camarena y Camargo (2024).

Figura 1.

Área deforestada de la Microcuenca del Río Cacao utilizando la Herramienta Google Earth



La **figura 1**, muestra el área de estudio, este se encuentra ubicado en el sector de Quema, corregimiento de Mogollón, distrito de Macaracas, con coordenadas $7^{\circ}36'28.8''N$, $80^{\circ}31'40.8''W$. Para seleccionar la ubicación del área se utilizó la aplicación de la tecnología VANT, se recorrió un camino que conducía al área deforestada en la comunidad de Quema que forma parte de la Microcuenca del Río Cacao. Al verificar el área, llamó la atención la presencia de tala por motosierra; se procedió a levantar una inspección con dron y revisar la extensión del impacto referente a la deforestación.

Se utilizó un dron modelo DJI 3 Fly More Combo SE, con cámara resolución 12 megapíxeles y sensor CMOS de 1/2,3 pulgadas. GPS integrado para posicionamiento preciso, software de control de vuelo DJI Fly V.1.12.8, estación base para control remoto del dron, baterías de repuesto para el dron (3), computadora portátil con capacidades de 59 procesamiento gráfico.

Para la planificación de la misión de vuelo se identificó un segmento en la Microcuenca del Río Cacao, provincia de Los Santos, Panamá, con los siguientes parámetros de vuelo: altura 120 m, solape y superposición de las imágenes 70 % - 80 %, velocidad de vuelo 29 km/h. Se

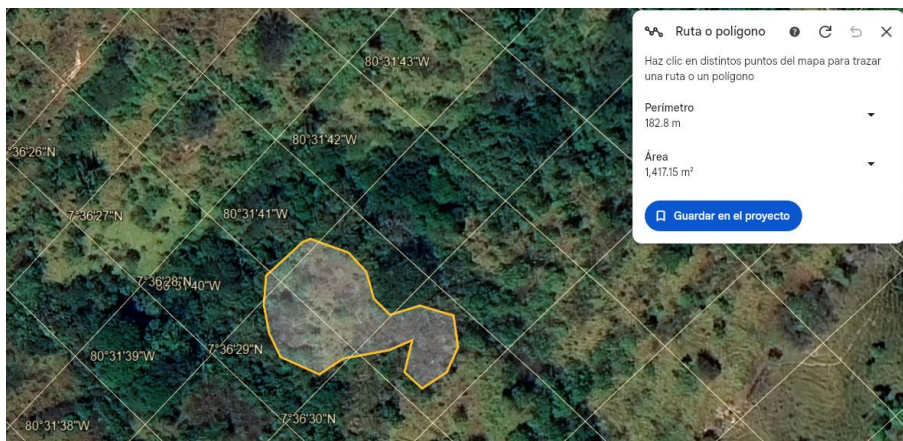
realizó la captura de imágenes realizando vuelos dirigidos sobre el área de estudio con el dron equipado con la cámara de una resolución máxima de 12 mp (4000 x 3000 píxeles).

Se realizó la transferencia de las imágenes capturadas a la computadora portátil para corrección geométrica y georreferenciación de las imágenes utilizando puntos de control terrestre. Para la delimitación del fragmento boscoso se utilizó herramientas de análisis de paisaje y medición por medio de Google Earth y el sistema QGIS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 2.

Área deforestada de la Microcuenca el Cacao utilizando la Herramienta Google Earth



La **figura 2**, indica el área aproximada de deforestación en el sector de Quema, corregimiento de Mogollón, distrito de Macaracas, provincia de Los Santos, demarcando un polígono de 1,417.15 m², con la herramienta de Google Earth.

Figura 3.

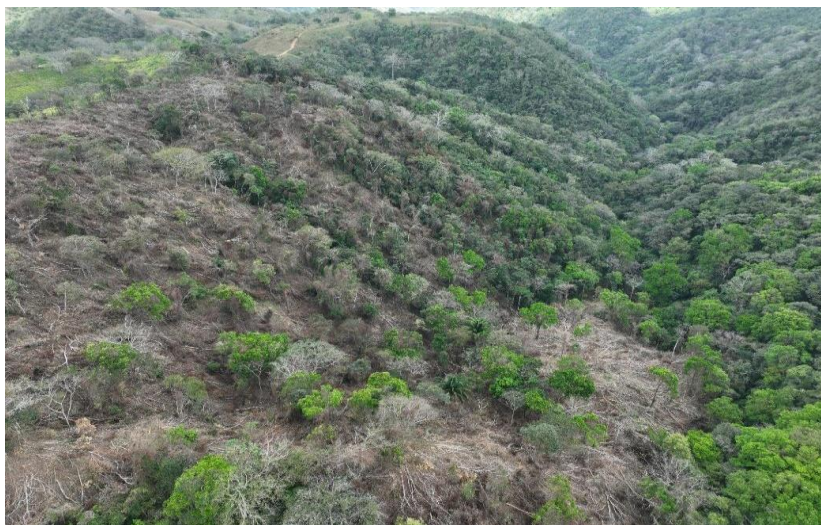
Vista área frontal con Dron de área deforestada de la Microcuenca del Río Cacao



En la **figura 3**, se observa una vista completa del área deforestada con motosierra siendo un bosque natural secundario mixto latifoliado, con fuentes permanente de caudal de la Microcuenca del Río Cacao que son de vital importancia para la zona.

Figura 4.

Vista área lateral izquierda en la Microcuenca el Cacao



En la **figura 4**, se muestra parte del área deforestada y áreas colindantes que mantienen vegetación, mismas que son importantes para mantener una gran diversidad de especies que dependen de los ríos y los bosques para sobrevivir. Además se observa afectación de flora en la ribera de la Microcuenca del Rio Cacao.

Figura 5.

Vista área perpendicular en la Microcuenca el Cacao



En la **figura 5**, se observa la tala indiscriminada causando fragmentación del hábitat, lo que dificulta la supervivencia de muchas especies que habitaban en el mismo.

La imagen capturada por dron evidencia un claro proceso de fragmentación y degradación boscosa, fenómeno ampliamente documentado en distintas regiones del continente americano. Este tipo de alteración tiene profundas implicaciones ecológicas, como la pérdida de biodiversidad, el deterioro de servicios ecosistémicos y la alteración de ciclos hidrológicos.

En América del Norte, estudios como el de Haddad et al. (2015) han demostrado que la fragmentación de bosques reduce drásticamente la conectividad ecológica, afectando la dispersión de especies y la resiliencia de los ecosistemas. Asimismo, Laurance et al. (2018) destacan que la deforestación y fragmentación en paisajes templados y tropicales incrementan la vulnerabilidad de los bosques ante eventos climáticos extremos y la invasión de especies exóticas.

En Centroamérica, la situación es particularmente crítica debido a la presión agrícola y ganadera. Sánchez-Azofeifa et al. (2001) analizaron la fragmentación en bosques secos de Costa Rica, concluyendo que la pérdida de cobertura forestal afecta la regeneración natural y la supervivencia de especies endémicas. Por su parte, Chazdon et al. (2009) subrayan que la fragmentación en la región reduce la capacidad de los bosques secundarios para restaurar la biodiversidad original, lo que compromete la sostenibilidad a largo plazo.

En Sudamérica, la Amazonía ha sido epicentro de investigaciones sobre deforestación. Fearnside (2005) advierte que la fragmentación, además de reducir la biomasa y el carbono almacenado, incrementa la exposición de los bordes forestales, alterando microclimas y acelerando la degradación. Armenteras et al. (2017), estudiando la región andino-amazónica,

encontraron que la fragmentación promueve la pérdida de especies sensibles y la homogenización del paisaje, dificultando la recuperación ecológica.

En Panamá, Ibáñez et al. (2002) documentaron que la fragmentación en cuencas del Pacífico central ha reducido la diversidad de aves y mamíferos, afectando procesos ecológicos clave. Condit et al. (2001), trabajando en el Parque Natural Metropolitano, concluyeron que la fragmentación limita la regeneración de especies arbóreas y la conectividad entre poblaciones vegetales.

La imagen obtenida mediante dron ilustra de manera contundente el fenómeno de fragmentación boscosa, caracterizado por la presencia de claros y una notable pérdida de continuidad en la cobertura vegetal. Este patrón, ampliamente documentado en la literatura científica, tiene implicaciones profundas para la biodiversidad y la funcionalidad ecológica de los paisajes tropicales.

En este contexto, los aportes del Dr. Farnum resultan especialmente relevantes para comprender y abordar la problemática. Farnum y Murillo (2023) demostró que la fragmentación reduce la conectividad entre hábitats, lo que afecta negativamente la dispersión de especies y la viabilidad de poblaciones silvestres. La importancia de los corredores biológicos, como mecanismo para mitigar estos efectos y mantener la diversidad genética, es un aspecto central en sus hallazgos.

Por otra parte, la restauración ecológica ha sido abordada por Farnum y su equipo como una estrategia clave para revertir los efectos de la fragmentación. Proponen la reforestación de áreas estratégicas y la protección de remanentes boscosos como acciones prioritarias para mejorar la conectividad y la resiliencia de los ecosistemas (Farnum, 2015). Estas propuestas cobran especial relevancia en paisajes como el de la microcuenca del río Cacao, donde la fragmentación amenaza la integridad ecológica y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales.

Es destacable el énfasis que Farnum y colaboradores han puesto en el uso de tecnologías avanzadas para el monitoreo ambiental. El empleo de drones y sensores remotos ha permitido mapear y cuantificar con precisión la pérdida de hábitat, facilitando la toma de decisiones informadas en materia de conservación (Farnum y Murillo, 2023). La imagen presentada es un claro ejemplo de cómo estas herramientas tecnológicas pueden aportar evidencia visual y cuantitativa para la gestión y restauración de paisajes fragmentados.

La integración de corredores biológicos, estrategias de restauración activa y el monitoreo con drones, como sugieren Farnum y sus colegas, representa una ruta efectiva para enfrentar los desafíos de la fragmentación boscosa en regiones tropicales y subtropicales (Farnum, 2015).

Para finalizar investigaciones de Camarena y Camargo (2024) en el Parque Nacional Santa Fé, Veraguas, Panamá, utilizando drones DJI FLY AIR 3, confirman que la deforestación con motosierra ha generado una fragmentación significativa, identificando patrones espaciales de degradación y pérdida de cobertura boscosa similares a los reportados en otros países del continente. Su estudio resalta la utilidad de los drones para cuantificar la extensión de la fragmentación y proponer estrategias de restauración basadas en evidencia geoespacial, contribuyendo a la gestión sostenible de microcuencas tropicales.

CONCLUSIONES

La aplicación de drones DJI FLY AIR 3 permitió identificar y cuantificar de manera precisa la fragmentación boscosa en la microcuenca del río Cacao. El uso de imágenes aéreas de alta resolución facilitó la delimitación de áreas deforestadas y la medición de fragmentos de bosque, superando las limitaciones de los métodos tradicionales y permitiendo un monitoreo eficiente y actualizado.

Los resultados evidencian una fragmentación significativa de la cobertura boscosa, con la presencia de claros, reducción de la conectividad ecológica y predominio de pastizales en zonas bajas, erosión en sectores medios y remanentes de bosques secundarios en áreas altas.

Esta configuración espacial confirma los patrones de degradación reportados en la literatura científica para paisajes tropicales sometidos a presión antrópica.

La fragmentación observada tiene profundas implicaciones ambientales: se ha reducido la biodiversidad local, afectando especies endémicas y emblemáticas, y se han deteriorado servicios ecosistémicos esenciales como la regulación hídrica y la estabilidad del suelo. La pérdida de conectividad entre fragmentos limita la dispersión de especies y la regeneración natural, incrementando la vulnerabilidad del ecosistema ante perturbaciones externas.

El estudio demuestra la utilidad de las tecnologías VANT para la gestión ambiental y la toma de decisiones informadas en la conservación y restauración de microcuencas. La integración de corredores biológicos, estrategias de restauración activa y el monitoreo continuo mediante drones son acciones prioritarias para revertir la fragmentación y promover la sostenibilidad ecológica en la región.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ministerio de Ambiente que siempre nos han dado el apoyo para los trabajos en aspectos ambientales en la región de Azuero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armenteras, D., Rodríguez, N., & Retana, J. (2017). Landscape dynamics in northwestern Amazonia: An assessment of past, present and future land use change. *Forest Ecology and Management*, 401, 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.042>
- Camarena Q., F. H., & Camargo, A. (2024). Identificación de fragmentación boscosa con tecnologías robóticas avanzadas (VANT) en un segmento del Parque Nacional Santa Fé, Veraguas, Panamá. *Revista Semilla del Este*, 4(2), 54–67. <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v4n2.5040>
- Chazdon, R. L., Harvey, C. A., Komar, O., Griffith, D. M., Ferguson, B. G., Martínez-Ramos, M., ... & Philpott, S. M. (2009). Beyond reserves: A research agenda for conserving biodiversity in human-modified tropical landscapes. *Biotropica*, 41(2), 142-153. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2008.00471.x>

- Condit, R., Robinson, W. D., Ibáñez, R., Aguilar, S., Sanjur, A., Martínez, R., ... & Wright, S. J. (2001). The status of the Panama Canal watershed and its biodiversity at the beginning of the 21st century. *BioScience*, 51(5), 389-398.
[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0389:TSOTPC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0389:TSOTPC]2.0.CO;2)
- DJI. (2023). DJI Air 3 - Double Up. <https://www.dji.com/air-3>
- Farnum, F., & Murillo, V. E. (2023). Los fragmentos boscosos a lo largo de la carretera Panamá-Colón: Su importancia para la conservación de los bosques adyacentes. Sello Editorial Nova Educare. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7696903>
- Farnum, F. (2015). Estrategias de conservación a partir de la evaluación etnobotánica de fragmentos de bosques adyacentes a zonas urbanas, Panamá. *Revista CENTROS*, 4(Edición Especial), 72–95.
https://www.academia.edu/35826286/ESTRATEGIAS_DE_CONSERVACION_A_PARTIR_DE_LA_EVALUACION_ETNOBOTANICA_DE_FRAGMENTOS_D_E_BOSQUES_ADYACENTES_ZONAS_URBANAS_PANAM%C3%81
- Fearnside, P. M. (2005). Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates, and consequences. *Conservation Biology*, 19(3), 680-688.
<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x>
- González, M., Pérez, J., & Torres, L. (2022). Dinámica de la cobertura forestal en cuencas hidrográficas de Panamá. *Revista de Ecología Tropical*, 45(2), 123-138.
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., ... & Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2), e1500052.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
- Heckadon-Moreno, S. (2009). De selvas a potreros: La colonización santeña en Panamá: 1850–1980. Exedra Books.
- Ibáñez, R., Condit, R., Angehr, G., Aguilar, S., García, T., Martínez, R., ... & Wright, S. J. (2002). An ecosystem report on the Panama Canal: Monitoring the status of the forest communities and the watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*, 80(1), 65-95. <https://doi.org/10.1023/A:1020292022738>
- IPCC. (2019). Special Report on Climate Change and Land. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-4/>
- Laurance, W. F., Camargo, J. L. C., Luizão, R. C., Laurance, S. G., Pimm, S. L., Bruna, E. M., ... & Lovejoy, T. E. (2018). The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. *Biological Conservation*, 225, 1-9.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.06.030>
- Pacheco, P., Aguilar-Støen, M., Börner, J., Etter, A., Putzel, L., & Vera-Díaz, M. d. C. (2011). Landscape Transformation in Tropical Latin America: Assessing Trends

and Policy Implications for REDD+. *Forests*, 2(1), 1–29.

<https://doi.org/10.3390/f2010001>

Proyecto PROBÍO. (2023). Informe técnico sobre fragmentación boscosa y biodiversidad en la microcuenca del río Cacao. Ministerio de Ambiente de Panamá.

<https://instcienciasambientales.up.ac.pa/probio>

Sánchez-Azofeifa, G. A., Daily, G. C., Pfaff, A. S., & Busch, C. (2001). Integrity and isolation of Costa Rica's national parks and biological reserves: Examining the dynamics of land-cover change. *Biological Conservation*, 109(1), 123-135.

[https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00145-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00145-3)