

Análisis de la fragmentación boscosa en segmentos del Parque El Colmón de Macaracas, utilizando dron

Analysis of forest fragmentation in segments of El Colmón de Macaracas Park, using drones

Félix Camarena ¹  Lourdes E. Arosemena P. ¹  Ricardo A. Calderón R. ¹ 
 Alexis D. Camargo C. ¹  Ana Lorena Rodríguez ¹  Hillary N. Igualada R. ¹ 
 Nadiezhda Ruiz ¹ 

¹Universidad Especializada de las Américas, Extensión Universitaria de Azuero, Panamá ²Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Azuero
 Correo: felix.camarena.1@udelas.ac.pa / lourdes.rosemana.8@udelas.ac.pa / ricardo.calderon@up.pa / Alexis.camargo@up.pa /
alrodriguez@miambiente.gob.pa / higualada@miambiente.gob.pa nadiezhdarui@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.57819/509y-tk88>



Fecha de Recepción: 28-05-2025 **Fecha de Aceptación:** 30-09-2025 **Fecha de publicación:** 01-01-2026

Conflictos de interés: Ninguno que declarar

RESUMEN

El bosque El Colmón, la reserva ecológica más antigua de Panamá que cumplió 100 años en 2018, declarada como tal en 1918 por el presidente Belisario Porras, es un bosque seco tropical de 135 hectáreas más 6,039 m² que alberga más de 200 especies de flora y fauna en la península de Azuero; una encuesta reciente del Ministerio de Ambiente revela que los residentes locales valorarán los recursos madereros y recreativos del bosque, pero también identifican amenazas como la contaminación y deforestación, por lo que los autores sugerirán implementar políticas para mitigar riesgos y promover el uso sostenible, destacando la relación entre la salud del ecosistema y el bienestar comunitario; este estudio evaluará los cambios en la fragmentación del bosque en tres segmentos del Comunal El Colmón entre enero y abril de 2025, utilizando imágenes (fotogrametría) capturadas con drones para analizar atributos espaciales como área, forma, aislamiento y transfiriendo las imágenes a una computadora para correcciones geométricas, georreferenciación y delimitación de fragmentos usando herramientas QGIS, evaluando finalmente la precisión en la identificación de la fragmentación; los resultados destacarán la importancia de este bosque centenario y la necesidad de conservarlo para mantener los servicios ecosistémicos que brinda a la región de Macaracas, siendo la metodología innovadora de monitoreo con drones replicable en otras áreas protegidas para evaluar su estado de conservación.

Palabras clave: bosque comunal El Colmón de Macaracas, dron, deforestación, niveles de fragmentación.

ABSTRACT

El Colmón Forest, Panama's oldest ecological reserve, which celebrated its 100th years old in 2018, declared as such in 1918 by President Belisario Porras, is a 135-hectare dry tropical forest plus 6,039 m² that is home to more than 200 species of flora and fauna on the Azuero Peninsula. A recent survey by the Ministry of Environment reveals that local residents value the forest's timber and recreational resources, but also identify threats such as pollution and deforestation. Therefore, the authors will suggest implementing policies to mitigate risks and promote sustainable use, highlighting the relationship between the health of the ecosystem and community well-being. This study will evaluate changes in forest fragmentation in three segments of the El Colmón Communal Forest between January and April 2025, using images (photogrammetry) captured with drones to analyze spatial attributes such as area, shape, and isolation, and transferring the images to a computer for geometric corrections, georeferencing, and delimitation of fragments using QGIS tools, finally evaluating the accuracy in the identification of fragmentation; the results will highlight the importance of this centennial forest and the need to conserve it in order to maintain the ecosystem services it provides to the Macaracas region, with the innovative methodology of monitoring with drones being replicable in other protected areas to evaluate their conservation status.

Keywords: El Colmón de Macaracas communal forest, drone, deforestation, fragmentation levels.

Para citar este artículo: Camarena, F., Arosemena P., L.E., Calderón R., R.A., Camargo C., A. D., Rodríguez, L., Igualada R., H. N., Ruiz, N. Análisis de la fragmentación boscosa en segmentos del Parque El Colmón de Macaracas, utilizando dron. Revista Científica de la Universidad Especializada de las Américas, Núm.18, ene-dic. 2026, pp.228-247. DOI: <https://doi.org/10.57819/509y-tk88>

Introducción

El Bosque Comunal El Colmón, ubicado en la península de Azuero en los corregimientos de Macaracas y Chupa, distrito de Macaracas, provincia de Los Santos, Panamá, constituye un patrimonio ecológico invaluable como la reserva forestal más antigua del país, con más de un siglo de existencia. Este ecosistema alberga una rica biodiversidad, incluyendo especies migratorias y en peligro de extinción como el yaguarundi (*Herpailurus yaguarondi*), y actúa como un pulmón vital para los ríos Estibaná y La Villa. Sin embargo, enfrenta amenazas significativas como la fragmentación boscosa, la contaminación por desechos sólidos y la deforestación, que comprometen su integridad ecológica y los servicios ecosistémicos que proporciona a las comunidades locales (Ministerio de Ambiente de Panamá) (MiAmbiente, 2020).

A pesar de su importancia ambiental y cultural, los estudios sobre el estado de conservación del bosque han sido limitados. Investigaciones recientes, como las realizadas por Arosemena et al. (2024) y Saucedo et al. (2024), han destacado la percepción comunitaria sobre los problemas ambientales del área y han identificado el vertedero de basura como el principal peligro para el ecosistema. Sin embargo, no se han implementado metodologías avanzadas para evaluar la fragmentación boscosa a pequeña escala en esta región. Esto representa una brecha crítica en el conocimiento necesario para diseñar estrategias efectivas de conservación.

En este contexto, el uso de tecnología innovadora como drones y software especializado para el análisis de imágenes ofrece una oportunidad única para abordar esta problemática (Saucedo et al., 2024; MiAmbiente, 2022). Los drones permiten obtener datos precisos y actualizados sobre la conectividad del hábitat, el uso del suelo y las características espaciales del ecosistema, facilitando una evaluación detallada de los niveles de fragmentación boscosa en segmentos específicos del bosque El Colmón (Saucedo et al., 2024). Este enfoque no solo contribuye a la preservación de la biodiversidad local, sino que también apoya el desarrollo sostenible mediante la protección de los servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades cercanas (MiAmbiente, 2022).

La presente investigación busca llenar este vacío mediante un análisis exhaustivo del nivel actual de fragmentación boscosa en el Bosque Comunal El Colmón utilizando tecnología avanzada. Los resultados obtenidos serán fundamentales para formular políticas de manejo sostenible que aseguren la conservación del ecosistema y promuevan su valor ecológico y social. Además, esta investigación se alinea con los objetivos científicos de revistas de alto impacto al abordar problemas ambientales críticos con soluciones innovadoras basadas en evidencia empírica sólida.

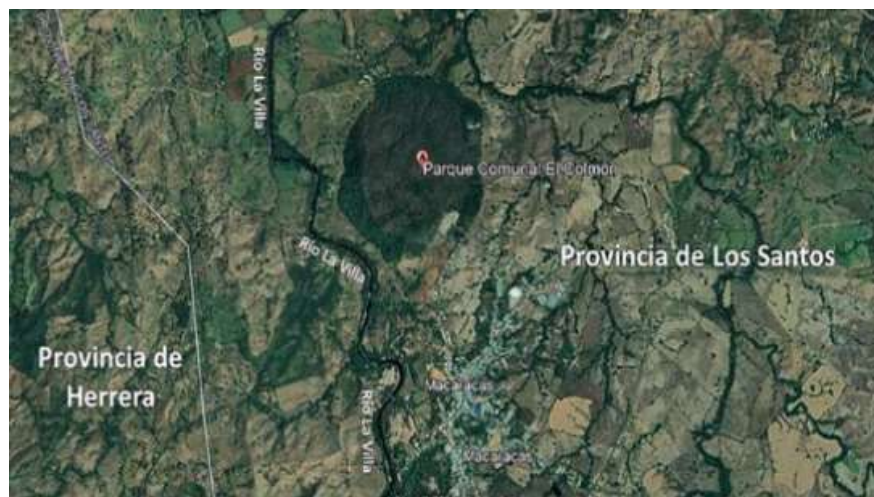
Este estudio no solo responde a una necesidad urgente en términos de conservación ambiental, sino que también representa un avance significativo en el uso de tecnologías modernas para la investigación ecológica en Panamá. Su relevancia trasciende lo local al ofrecer un modelo replicable para otras áreas protegidas en América Latina que enfrentan desafíos similares.

Materiales y métodos

El bosque comunal de Macaracas se localiza en los corregimientos de Macaracas y Chupa en el distrito de Macaracas, en la provincia de Los Santos. Se encuentra a 38 km de la Villa de Los Santos, lo que se traduce en un tiempo de recorrido de aproximadamente 50 minutos, asumiendo una velocidad promedio de 80 kilómetros por hora (MiAmbiente, 2023).

Figura 1

Ubicación del área de estudio



Fuente: Google maps

Para citar este artículo: Camarena, F., Arosemena P., L.E., Calderón R., R.A., Camargo C., A. D., Rodríguez, L., Igualada R., H. N., Ruiz, N. Análisis de la fragmentación boscosa en segmentos del Parque El Colmón de Macaracas, utilizando dron. Revista Científica de la Universidad Especializada de las Américas, Núm.18, ene-dic. 2026, pp. 228-247. DOI: <https://doi.org/10.57819/509y-tk88>

Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental, ya que no se dio manipulación de la variable independiente, como tampoco se tienen grupos experimental y control para generar contraste.

Tipo de estudio

Por su tipo se define como transversal, ya que se realizará en un tiempo previamente definido, y descriptivo dado que presenta una explicación exacta del fenómeno estudiado. El estudio tiene un enfoque cuantitativo que se representa mediante números, niveles de fragmentación, números de parches o fragmento, formas y cercanía uno de otro, etc.) datos cuantificables que se analiza por medio de la estadística (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Población o universo

Segmento o área estudiada del Bosque Comunal El Colmón de Macaracas.

Sujetos

La formación de fragmentos producto de los impactos en la vegetación en la sección estudiada del Bosque Comunal El Colmón de Macaracas.

Tipo de muestra estadística

No conlleva a muestrear ya que se realiza observación directa en el ecosistema. Variables (definición conceptual y operacional).

Variable dependiente: Fragmentación boscosa

Definición conceptual de la variable: La fragmentación boscosa se define como el proceso de división de grandes áreas boscosas continuas en fragmentos más pequeños, generalmente debido a actividades humanas como la construcción de infraestructura, el desarrollo agrícola o la tala ilegal (EOS, 2023).

Definición operacional de la variable

Se va a medir la cantidad de fragmentos o parches producto de la deforestación en el Bosque Comunal El Colmón de Macaracas al tomar fotografías aéreas con un dron y poder contar los fragmentos o parches que se han producido por la deforestación.

Operacionalmente como el resultado de la información obtenida mediante la aplicación de un instrumento: Tabla de cotejo en donde se marcarán con x (equis) los claros en el bosque y la acción de deforestar in situ.

Variable independiente: Niveles de fragmentación

Los niveles de fragmentación se refieren a los diversos grados o niveles en los que un ecosistema se encuentra fragmentado. La fragmentación puede ocurrir debido a actividades humanas, eventos naturales o cambios en el uso del suelo, lo que lleva a la división de los hábitats en parches más pequeños. Este proceso puede tener un impacto significativo en la biodiversidad, las interacciones entre especies y las funciones del ecosistema (García, 2011).

Definición operacional de la variable

Instrumento sobre niveles de fragmentación Boscosa (que mide el nivel de claros en bosque y niveles de fragmentación) fotogrametría aérea.

Fotogrametría es la ciencia capaz de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, de esa manera obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado. Esta definición es en esencia, la adoptada por la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS) (Jiménez, Magaña y Soriano, 2019).

Se medirá mediante fotogrametría aérea, que es la que utiliza fotografías aéreas obtenidas con la ayuda de un vehículo aéreo. Donde el eje óptico de la cámara fotográfica resulta sensiblemente perpendicular al terreno o corteza terrestre (ISPRS) (Jiménez, Magaña y Soriano, 2019).

Procedimiento

Etapa 1: Investigación

Se realizará la investigación en tres áreas del Bosque Comunal El Colmón (en el vertedero en la zona denominada los Plumas Negras, en el área de las Carretas y en el área de los Reyes).

Con observación directa y aplicación del instrumento, en donde se marcará con X (equis) los claros del bosque y los cambios de éstas. Además, se utilizará una libreta de notas para registrar las observaciones de las áreas afectadas en donde se procederá a levantar un dron a una distancia prudente para que pueda tomar fotos de excelente calidad evidenciando la fragmentación boscosa o ausencia de esta.

El monitoreo será dos veces al mes cada 15 días, durante 4 meses, de febrero a mayo de 2025. Además, con una cámara Rebel t 6i y con telefoto se evidenciarán los hallazgos sobre afectaciones y claros evidencia de fragmentación encontrados en el recorrido.

Instrumentos y/o técnicas de recolección de datos

Los materiales utilizados: Dron Modelo: Drone DJI Air 3 fly more combo SE, Cámara: Sensor CMOS de 1/2.3 pulgada, resolución 12 megapíxeles, 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 (DJI, 2024). QGIS para el análisis geoespacial y la identificación de fragmentación boscosa (QGIS, s.f.).

Métodos para la obtención de las imágenes con tecnologías VANT: Para la planificación de la misión de vuelo se identifican tres Segmentos del Bosque Comunal El Colmón de Macaracas, provincia de Los Santos, Panamá 2024 con los siguientes parámetros de vuelo: Altura: 302m, solape y superposición de las imágenes: 70%-80%, velocidad de vuelo: 29 km/h. Se realiza 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 (4000x3000 píxeles) (Camarena & Camargo 2024).

Procesamiento y análisis de imágenes

Se llevó a cabo la transferencia de las imágenes obtenidas a una computadora portátil, donde se realizaron correcciones geométricas y georreferenciación mediante la utilización de puntos de control terrestre. Además, se delimitó la extensión de los fragmentos boscosos empleando herramientas de análisis paisajístico. Finalmente, se evaluó la precisión y exactitud en la identificación de la fragmentación del bosque (QGIS, s.f.).

Las variables asociadas con la fragmentación que pueden ser observada en los segmentos S1, S2 y S3 incluyen:

- Conectividad del hábitat: La capacidad de los segmentos para mantener conexiones con áreas circundantes es crucial.
- Uso del suelo: La fragmentación se ve influenciada por el tipo de uso del suelo en las áreas circundantes.
- Aislamiento: La falta de conectividad debido a tierras agrícolas, ganaderas o urbanizadas afecta la viabilidad de las poblaciones en los segmentos.
- Tipo de cobertura vegetal: La presencia de diferentes tipos de cobertura vegetal influye en la fragmentación.

Estas variables son fundamentales para entender cómo la fragmentación del hábitat afecta la sostenibilidad de las poblaciones en cada uno de los segmentos.

El proceso de fragmentación genera paisajes y fragmentos con determinadas características, que en su conjunto describen los atributos espaciales del hábitat. Estas pueden ser agrupadas dentro de cinco categorías: (1) área del fragmento, (2) efecto de borde, (3) forma del fragmento, (4) aislamiento del fragmento y (5) estructura de la matriz (Fernández-Vega, 2008).

Al final de toda la investigación, se diseñará e implementará un programa de capacitación y sensibilización dirigido a la comunidad local y actores clave, con el fin de promover la importancia de la conservación del Bosque Comunal El Colmón y fomentar su participación en las iniciativas de protección. También se entregarán informes a Mi Ambiente que contribuirán a fomentar la labor de investigación científica en el bosque comunal El Colmón de Macaracas.

Resultados

Tabla 1

Consolidado de fragmentación boscosa en el Bosque Comunal El Colmón de Macaracas

Segmentos	Coordenadas	Forma del fragmento	Claros en el bosque	Usos del suelo	Fragmento	
					aislamiento	conectividad
Segmento Los Reyes						
N°1	N 07°45´ 0801” E 080° 33´ 0601”	Rectangular	Sí	Vivero	Sí	Sí
Segmento Las Carretas						
N°1	N 07°45´1545” W 080°33´3601”	—	No	Bosque	No	Sí
Área del Vertedero						
N°1	N 07°44´6653” W 080°33´1583”	Rectangular	Sí	Vertedero	Sí	No

Tabla 2

Niveles de fragmentación de las tres áreas

Nivel de Fragmentación	S1 (%) Vertedero	S2 (%) Los Reyes	S3 (%) Las Carretas
Elevado	-	-	-
Alto	50 %	-	-
Mediano	-	-	-
Bajo	-	-	-
Mínimo	-	10 %	-
Nulo	-	-	0 %

Figura 2

Área del vertedero en el Bosque Comunal El Colmón de Macaracas



Como se aprecia en la figura 2, la vista frontal del vertedero en el Bosque Comunal El Colmón de Macaracas.

Figura 3

Límites de la sección del vertedero con la comunidad de Los Plumas Negras



En la figura 3 se observa, desde una foto aérea, los límites físicos del vertedero con la comunidad de Los Plumas Negras.

Figura 4*Sendero de Las Carretas*

En la figura 4 se observa una vista panorámica de transición entre el sendero de Las carretas y las zonas de pastoreo.

Figura 5*Límite del Sendero Los Reyes*

En la figura 5 se observa la sección este del sendero Los Reyes

Figura 6*Área del Tecal*

En la figura 6 se observa una vista panorámica de una parte de las 10 ha de tecas de la zona.

Figura 7*Impacto del vertedero a cielo abierto sobre el Bosque Comunal El Colmón de Macaracas*

La figura 7 muestra el área asignada para el vertedero en el Bosque Comunal El Colmón de Macaracas.

Figura 8

Medición del área del vertedero El Colmón de Macaracas para verificar el impacto (superficie total 19, 487.55 m²)



La figura 8 muestra una vista satelital del vertedero del Colmón de Macaracas y la medición del área con herramientas de Google Maps.

Figura 9

Delimitación del vertedero en el Bosque Comunal El Colmón de Macaracas con GPS



Para citar este artículo: Camarena, F., Arosemena P., L.E., Calderón R., R.A., Camargo C., A. D., Rodríguez, L., Igualada R., H. N., Ruiz, N. Análisis de la fragmentación boscosa en segmentos del Parque El Colmón de Macaracas, utilizando dron. Revista Científica de la Universidad Especializada de las Américas, Núm.18, ene-dic. 2026, pp. 228-247. DOI: <https://doi.org/10.57819/509y-tk88>

En la figura 9 se observa la ubicación de los puntos con instrumentos de posicionamiento satelital global (GPS).

Figura 10

Comparación de dos periodos de monitoreo en el Bosque Comunal El Colmón de Macaracas



El collage de la figura 10 muestra los monitoreos realizados en diferentes periodos en donde en época seca el guardaparques nos enseña el cauce de la quebrada sin agua en un sendero (10-A), mientras que en la 10-B y 10-C, dado que cayeron las primeras lluvias se observa la presencia de agua.

Discusión

Los bosques representan una fuente invaluable de beneficios esenciales para la salud planetaria y el bienestar humano. Además de su rol crucial en el secuestro de carbono, actúan como barreras naturales vitales contra eventos climáticos extremos, tales como tormentas e inundaciones. Adicionalmente, ofrecen recursos y protección fundamentales para las comunidades que dependen directamente de ellos para su sustento y seguridad. (ONU, 2025)

La fragmentación de este valioso recurso forestal conlleva una disminución de la integridad del paisaje, afectando su estructura y, particularmente, su conectividad. Esta última representa una amenaza significativa para la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas del paisaje (Saura et al., 2011). Un ejemplo ilustrativo de esta situación se observa en el bosque El Colmón de Macaracas, específicamente en el segmento del Vertedero (Tabla 1), el cual exhibe un alto nivel de fragmentación, alcanzando un 50% (Tabla 2), con la consecuente pérdida de conectividad. En contraste, los segmentos de Los Reyes (10% de fragmentación) y Las Carretas (0% de fragmentación) presentan niveles considerablemente menores de fragmentación y, crucialmente, conservan su conectividad.

Esta pérdida de conectividad del bosque se evidencia claramente en las figuras 2 y 7. En efecto, allí se observa una reducción significativa de la extensión de hábitat disponible para las especies forestales, lo cual simultáneamente incrementa la distancia y el grado de aislamiento entre los fragmentos de bosque y, por consiguiente, de la fauna silvestre del área (Saura et al., 2011). De manera similar, estudios realizados por Farnun y Murillo (2023) demuestran que la fragmentación altera la estructura del bosque y la salud del ecosistema. Más aún, investigaciones recientes en el Parque Nacional de Santa Fe (Camarena et al., 2025) señalan que este aislamiento inducido por la fragmentación no solo afecta la distribución de las especies, sino que también predispone a los fragmentos de bosque a ser menos resistentes a incendios, enfermedades y plagas.

Consecuentemente con la fragmentación observada, la expansión de actividades antropogénicas ejerce una presión adicional sobre el ecosistema del bosque El Colmón. Según datos de la Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario, en el año 2014, el vertedero a cielo abierto ubicado en esta área abarcaba una superficie de 1.0097 hectáreas. Sin embargo, mediante el empleo de tecnologías robóticas avanzadas (VANT), se ha determinado que la extensión actual del vertedero, y por ende del área que ocupa, asciende a 19,487.55 m² o 1.9488 hectáreas (Figura 9). Este incremento de 0.9391 casi una ha hectáreas, lo que representa un aumento del 93.03% en la superficie del vertedero desde 2014 hasta la actualidad, lo que genera una profunda preocupación debido a su avance continuo y sus potenciales efectos adversos a largo plazo sobre la **integridad** del ecosistema forestal y los servicios ecosistémicos que ofrecen El Colmón de Macaracas. (Saucedo et al., 2024)

En contraste con el segmento Del Vertedero, el segmento Los Reyes, que presenta una fragmentación mínima del 10% (Cuadro 2), exhibe claramente en la Figura 5 una escasa alteración en la integridad del bosque. A pesar de su proximidad a fincas donde se identifican parches de bosque, su conectividad se mantiene relativamente alta. Por otro lado, el segmento La Carreta se distingue por un bosque íntegro, sin fragmentación y con un 100 % de conectividad. Esta condición nos permite establecer comparaciones significativas entre los demás segmentos en función del proceso de fragmentación. Precisamente, este proceso genera paisajes y fragmentos con características particulares que, en su conjunto, definen los atributos espaciales del hábitat, tales como el área del fragmento, el efecto de borde, la forma del fragmento, el aislamiento del fragmento y la estructura de la matriz (Fernández-Vega, 2008)

La fragmentación boscosa en los dos fragmentos analizados: uno ubicado en el área del vertedero con un 50% de magnitud y forma rectangular, y otro en el segmento llamado Los Reyes con un 10% de magnitud; puede abordarse considerando los efectos de la forma y tamaño de los fragmentos sobre la biodiversidad y la conectividad ecológica.

El fragmento del vertedero, con una forma rectangular, probablemente presenta un mayor perímetro relativo en comparación con un fragmento más compacto o circular, lo que incrementa el efecto de borde. Los bordes expuestos alteran las condiciones microclimáticas como temperatura, humedad y composición del suelo, generando ambientes menos favorables para especies sensibles y facilitando la proliferación de especies oportunistas o invasoras (Pincheira-Ulbrich et al., 2009). En contraste, el fragmento de Los Reyes, con menor magnitud y presumiblemente menor área, puede estar aún más expuesto a estos efectos debido a su tamaño reducido, lo que limita su área de interior y aumenta la vulnerabilidad a la degradación.

La conectividad ecológica y la forma rectangular del fragmento del vertedero puede dificultar la conectividad funcional si se encuentra aislado o si su configuración espacial no facilita el movimiento de especies entre fragmentos o con el paisaje circundante. Fragmentos compactos y redondeados suelen mantener mejor la conectividad, mientras que formas alargadas o irregulares aumentan el aislamiento poblacional (López-Sandoval & Ávila-Niño, 2021). Dado que el fragmento de Los Reyes tiene solo un 10% de magnitud, es probable que su capacidad para mantener

conectividad ecológica sea limitada, incrementando el riesgo de aislamiento genético y disminución de poblaciones locales.

Diversidad de especies y tamaño del fragmento del vertedero, con un tamaño mayor (50%), tiene mayor potencial para albergar una mayor riqueza de especies, ya que el tamaño es un factor crítico para la conservación de biodiversidad (Pincheira-Ulbrich et al., 2009). Sin embargo, la forma rectangular y la posible alta proporción de borde pueden contrarrestar parcialmente esta ventaja al aumentar la vulnerabilidad a perturbaciones. Por otro lado, el fragmento de Los Reyes, con menor tamaño, probablemente presenta una menor diversidad y mayor susceptibilidad a la pérdida de especies sensibles debido a su limitada área y mayor influencia de borde.

La resiliencia del ecosistema fragmentados es más grandes y compactos tienden a tener mayor resiliencia frente a perturbaciones ambientales, permitiendo una recuperación más efectiva tras eventos como incendios, sequías o invasiones biológicas. La forma rectangular del fragmento del vertedero podría disminuir esta resiliencia debido a la mayor exposición a efectos de borde y fragmentación interna. El fragmento de Los Reyes, por su pequeño tamaño, probablemente tiene una capacidad reducida para recuperarse, lo que podría conducir a cambios irreversibles en su estructura ecológica y pérdida de especies clave (López-Sandoval & Ávila-Niño, 2021; Kogut, 2023).

La comparación entre ambos fragmentos destaca la importancia conjunta del tamaño y la forma en la conservación de fragmentos forestales. El fragmento del vertedero, pese a su mayor tamaño, presenta limitaciones derivadas de su forma rectangular que pueden afectar negativamente la biodiversidad y conectividad. El fragmento de Los Reyes, con menor tamaño, enfrenta menores riesgos de aislamiento y pérdida de diversidad. Estas características sugieren la necesidad de estrategias de manejo que consideren no solo la ampliación del área protegida, sino también la mejora de la forma y la conectividad entre fragmentos para mitigar los efectos negativos de la fragmentación boscosa y favorecer la conservación a largo plazo del ecosistema. (López-Sandoval & Ávila-Niño, 2021; Kogut, 2023; Pincheira-Ulbrich et al., 2009).

Conclusión

El Bosque Comunal El Colmón cumple funciones ecológicas esenciales, incluyendo el secuestro de carbono, protección contra eventos climáticos extremos y provisión de recursos para comunidades locales, reafirmando su valor como un ecosistema indispensable para la sostenibilidad ambiental y social.

El segmento del vertedero presenta un nivel alarmante de fragmentación del 50%, lo que ha provocado una pérdida significativa de conectividad y reducción del hábitat disponible para la fauna local. Esta fragmentación compromete la integridad ecológica del bosque, aumentando el aislamiento de especies y la vulnerabilidad del ecosistema a incendios, enfermedades y plagas.

Los segmentos Los Reyes y Las Carretas muestran niveles bajos o nulos de fragmentación (10% y 0%, respectivamente), manteniendo una conectividad alta y una integridad forestal relativamente intacta. Esto evidencia que la fragmentación no es homogénea en todo el bosque y que existen áreas con mejor conservación que pueden servir como referencia para estrategias de manejo.

La expansión del vertedero a cielo abierto ha aumentado en un 93.03% desde 2014, incrementando la presión sobre el ecosistema forestal y exacerbando la fragmentación. Este avance representa una amenaza directa a la integridad del bosque y a los servicios ecosistémicos que este provee, subrayando la necesidad urgente de medidas de control y mitigación.

El fragmento del vertedero, caracterizado por su forma rectangular y mayor tamaño, experimenta un efecto de borde significativo que modifica las condiciones microclimáticas y facilita la proliferación de especies invasoras, lo que disminuye su resiliencia ecológica, mientras que el fragmento Los Reyes, pese a ser más pequeño, enfrenta vulnerabilidades derivadas de su reducido tamaño, que limitan la conectividad ecológica y aumentan el riesgo de aislamiento genético de las especies que habitan en él. Ambos fragmentos evidencian que no solo el tamaño, sino también la forma y configuración espacial son determinantes para la conservación efectiva.

Para mitigar los efectos negativos de la fragmentación boscosa en el Bosque Comunal El Colmón, es imprescindible implementar estrategias integrales de manejo y conservación que promuevan la restauración y ampliación de áreas protegidas, mejoren la conectividad ecológica entre fragmentos mediante la creación de corredores biológicos, controlen la expansión de actividades antropogénicas, especialmente la del vertedero, y consideren la forma y estructura de los fragmentos para maximizar la resiliencia y biodiversidad del ecosistema forestal.

El empleo de tecnologías robóticas avanzadas (VANT) ha sido clave para obtener datos precisos sobre la extensión y dinámica de la fragmentación, permitiendo un análisis detallado y actualizado que facilita la toma de decisiones informadas para la conservación del Bosque Comunal El Colmón.

En resumen, la investigación confirma que la fragmentación boscosa en El Colmón, especialmente en el área del vertedero, representa un desafío ecológico significativo que pone en riesgo la biodiversidad y la funcionalidad del ecosistema. La conservación efectiva requerirá un enfoque multidimensional que integre monitoreo tecnológico, manejo territorial estratégico y participación comunitaria para asegurar la sostenibilidad a largo plazo del bosque y sus beneficios ecosistémicos

Agradecimientos

Al Ministerio de Ambiente y a los guardaparques que nos apoyaron en cada una de las giras realizadas y garantizaron nuestra seguridad en el Bosque Comunal El Colmón de Macaracas.

Referencias bibliográficas

- Arosemena, L. E., Saucedo, E. y Camarena, F. (2022) «Registro de Yaguarundi (*herpailurus yagouarondi*) en el bosque comunal El Colmón de Macaracas, Los Santos, Panamá», *Tecnociencia*, 24(2), pp. 16–25. Disponible en: <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/3067>
- Arosemena P., L. E., Camarena Q., F. H., & Saucedo, E. (2024). Impactos que producen los desechos sólidos en la fuente hídrica del bosque El Colmón de Macaracas. *Redes*, 1(16), 75–91. Recuperado a partir de <https://revistas.udelas.ac.pa/index.php/redes/article/view/redes16-5>
- Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario. (2014). Acta de misión Península de Azuero– “Día 1, 2, 3 y 4” (REF: AAUD-SG-005-2014). Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario. [file:///C:/Users/felix/Downloads/Diagnostico%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/felix/Downloads/Diagnostico%20(3).pdf)

- 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 2024. *Revista Semilla Del Este*, 4(2), 54–67.
<https://doi.org/10.48204/semillaeste.v4n2.5040>
- Camarena, F., Arosemena Preciado, L., Calderón R., R.A. (2025). Efecto de la actividad antropogénica de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Santa Fe, Panamá. *Revista Científica de la Universidad Especializada de las Américas*, Núm.17, ene-dic. 2025, pp.138-158. DOI: <https://doi.org/10.57819/j8se-wr70>
- DJI. (2024). *Drone DJI Air 3 fly more combo SE* [Aparato, incluye cámara CMOS de 1/2.3", resolución 12 MP, GPS, software DJI Fly V.1.12.8, estación base, 3 baterías de repuesto, computadora portátil compatible]. <https://www.dji.com/air-3>
- EOS. (2023). *Fragmentación de los bosques: causas y consecuencias*. <https://eos.com/es/blog/fragmentacion-de-bosques/>
- Farnum, F., & Murillo, V. (2023). Identificación de fragmentación boscosa con tecnologías robóticas: impacto en la biodiversidad y estructura del ecosistema. *Semilla Este*, [Artículo]. https://revistas.up.ac.pa/index.php/semilla_este/article/download/5040/4002/7854
- Fernández-Vega, J. (2008). *Implicaciones de la fragmentación en la estructura y la composición del bosque en el Valle de Coto Brus, Costa Rica* [Informe de práctica de especialidad, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/595/Fernandez%20Vega%20Javier.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, D. (2011). Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Ecosistemas*, 20(2-3). Recuperado de: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/download/18/12/0>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill Education. Recuperado de <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Jiménez Calero, N. M., Magaña Monge, A. O., & Soriano Melgar, E. (2019). Análisis comparativo entre levantamientos topográficos con estación total como método directo y el uso de drones y gps como métodos indirectos. Universidad del Salvador. <https://doi.org/>
- Kogut, P. (2023, diciembre 18). *Fragmentación de los bosques: Causas y consecuencias*. EOS Data Analytics Blog. <https://eos.com/es/blog/fragmentacion-de-bosques/>
- López-Sandoval, M., & Ávila-Niño, J. (2021). *Conectividad ecológica y fragmentación del hábitat: implicaciones para la conservación de la biodiversidad*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92, e923123.
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3123>

- Ministerio de Ambiente de Panamá. (2020). *El Bosque Comunal El Colmón: Patrimonio ecológico de Los Santos*. <https://miambiente.gob.pa/miambiente-los-santos-presento-pabellon-en-la-feria-del-bosque-comunal-el-colmon-en-macaracas/>
- Ministerio de Ambiente de Panamá. (2022). *Incremento de tecnologías para vigilancia en áreas protegidas* [Comunicado institucional]. <https://miambiente.gob.pa/guardaparques-refuerzan-control-y-vigilancia-de-areas-protegidas-con-el-uso-de-drones-y-sistemas-gps/>
- Ministerio de Ambiente de Panamá. (2023). *Bosque Comunal de Macaracas: Un pulmón verde en Los Santos*. <https://www.miambiente.gob.pa/bosque-comunal-de-macaracas/>
- ONU. (2025). ¿Por qué los bosques son importantes? <https://www.unep.org/es/topics/forests/por-que-los-bosques-son-importantes#:~:text=Los%20bosques%20proporcionan%20multitud%20de,extremas%2C%20como%20tormentas%20e%20inundaciones>
- Pincheira-Ulbrich, J., Rau, J. R., & Peña-Cortés, F. (2009). Tamaño y forma de fragmentos de bosque y su relación con la riqueza de especies de árboles y arbustos. *Revista Phytón*, 78, 121-128. <https://www.revistaphyton.fundromuloraggio.org.ar/vol78/PINCHEIRA.pdf>
- QGIS.org. (s.f.). *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- Saucedo, E., Arosemena P, L. E. y Camarena, F. (2024) «Evaluación de los servicios ecosistémicos del comunal el colmón, macaracas, PANAMÁ», *Tecnociencia*, 26(1), pp. 196–215. doi: <https://doi.org/10.48204/j.tecno.v26n1.a4665>
- Saura, S., Gonzales, A., & Roselló, R. (2011). Evaluación de los cambios en la conectividad de los bosques: el índice de área conexas equivalente y su aplicación en los bosques de Castilla y León. *Montes*, 3(106), 15-21. http://www.conefor.org/files/usuarios/Saura_et_al_2011_Montes_short_paper_version.pdf