

## Cobertura Forestal de Guatemala: Conectividad y perspectivas.

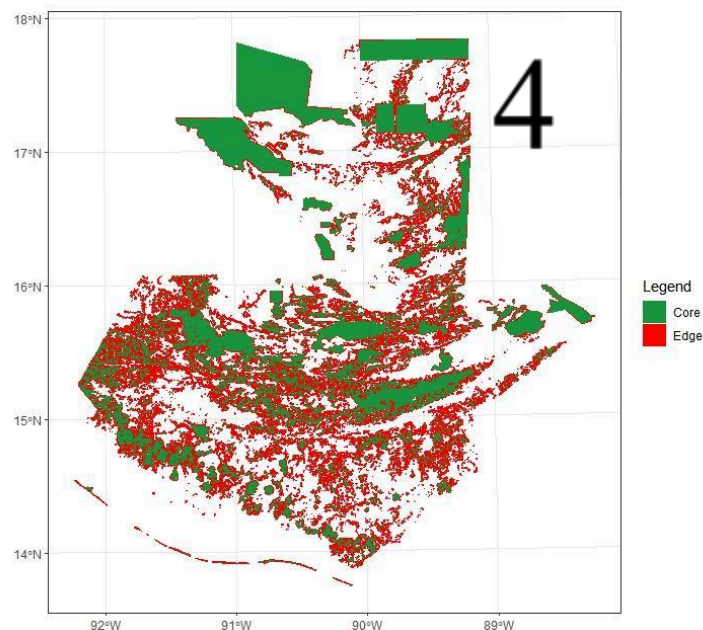
### Introducción

La cobertura forestal en Guatemala ha sido objeto de evaluaciones periódicas que evidencian una reducción sostenida en la tasa de pérdida anual. Según datos recopilados por GIMBOT (2006, 2011, 2012, 2019, 2023), esta tendencia muestra una desaceleración progresiva:

- 1991-2001: **-1.43%**;
- 2001-2006: **-1.16%**;
- 2006-2010: **-1.00%**;
- 2010-2016: **-0.50%**; y
- 2016-2020: **-0.36%**  
(GIMBOT, 2023).

Aunque esta desaceleración podría sugerir avances en conservación, la fragmentación del paisaje y la pérdida de conectividad ecológica siguen siendo amenazas latentes para la biodiversidad. En este contexto, se realiza un análisis exploratorio de la conectividad entre masas boscosas y ecosistemas naturales para el año 2012 (GIMBOT 2014, Figura 1), con el objetivo de generar insumos que contribuyan a futuras evaluaciones de diversidad de orquídeas y sus posibles polinizadores.

Este enfoque busca integrar criterios de conectividad funcional en el diseño de estrategias de conservación, especialmente en regiones de alta riqueza florística y vulnerabilidad ecológica, como las áreas protegidas del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP).



**Figura 1.** Mapa de parches boscosos en Guatemala, al 2012.  
Se muestran los bordes en rojo y áreas núcleo en verde. Modificado de GIMBOT 2014.

## Metodología

Para el análisis de conectividad de la cobertura forestal de Guatemala (a nivel de país) se utilizaron las capas de límites internacionales de Guatemala (IGN 2001) y, a partir de la capa vectorial de capacidad de uso de la tierra de 2012 (GIMBOT 2014, INAB 2025), se obtuvo la capa de polígonos de parches boscosos y ecosistemas naturales. Se utilizan las estadísticas de fragmentación del paisaje. Se evalúan con el software Makurhini, en RStudio (el script se encuentra en el Anexo A), y se siguen las instrucciones del manual digital disponible a la fecha (Godínez-Gómez *et al.*, 2025). En el Anexo B se incluyen los listados de capas geográficas disponibles y las que se pueden utilizar para hacer una matriz de resistencia para evaluaciones futuras.

## Resultados

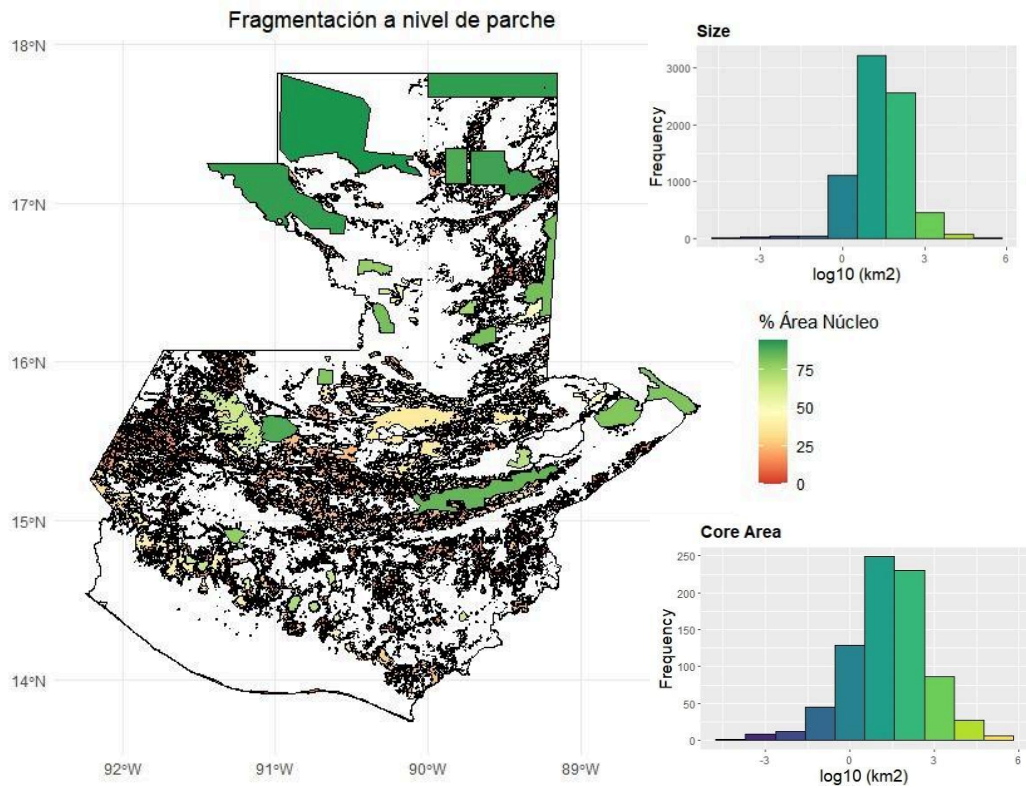
En base a los datos de parches con cobertura forestal del uso de la tierra (GIMBOT 2014, INAB 2025), es del 33% del territorio de Guatemala y un área nuclear del 14.77%. Esta cobertura se compone de 7,534 parches, con un área promedio de 476.99 ha (Tabla 1). Los parches más grandes y con mayor porcentaje de área núcleo son áreas protegidas como las Reservas de Biosfera Maya y Sierra de las Minas (Figura 2). Las áreas de menor tamaño son las que tienen mayor porcentaje de borde (Figura 3). Las áreas boscosas de las Verapaces y norte de Izabal presentan mayor perímetro (Figura 4). Las tierras del norte de Petén tienen mayor proporción entre perímetro y área (PARA, Figura 5).

El índice de forma (Figura 6) muestra valores menores a 5.0 y el índice de dimensión fractal (FRAC) está cercano a 0 (Figura 7). Por eso los datos medios no son útiles para análisis posteriores ya que sugieren que el tamaño de los parches es muy parecido. El valor del Mesh es de 37,301.36 ha y cubre el 99.66% (Tabla 1) por lo que sugiere poca subdivisión de las áreas boscosas.

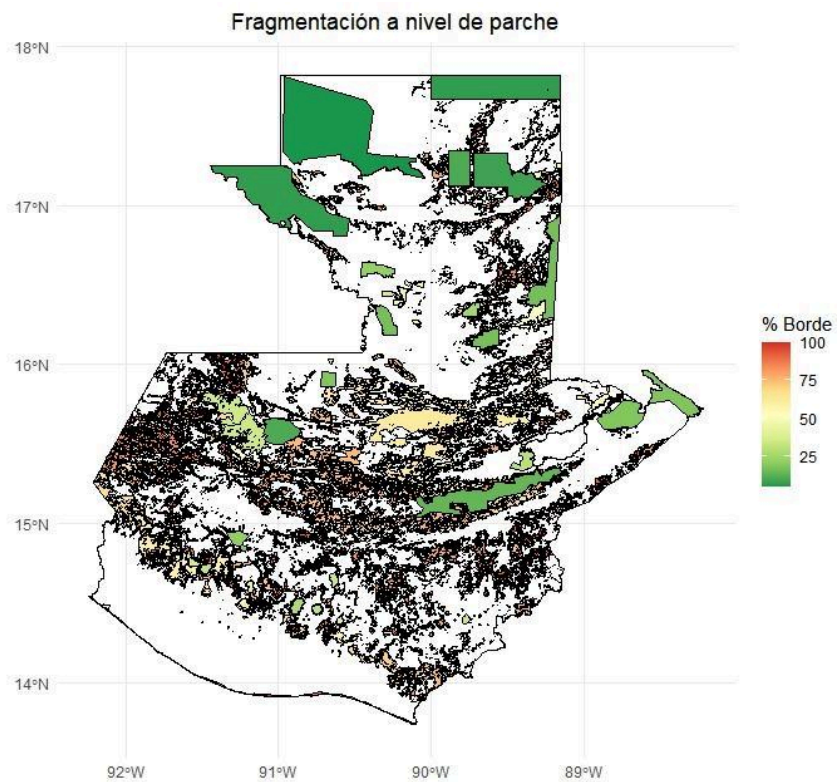
**Tabla 1.** Resumen de los datos de Fragmentación de paisaje de los bosques de Guatemala (2012).

Medición	Valor
Extensión de Guatemala (ha)	10,888,900.00
Área de parches boscosos (ha)	3,593,664.33
Área de parches boscosos (%)	33.00 %
Número de parches	7,534
Tamaño promedio (ha)	476.99
Parches con área mínima	5,873
Parches con área mínima (%)	4.11 %
Total de borde	62,367.55

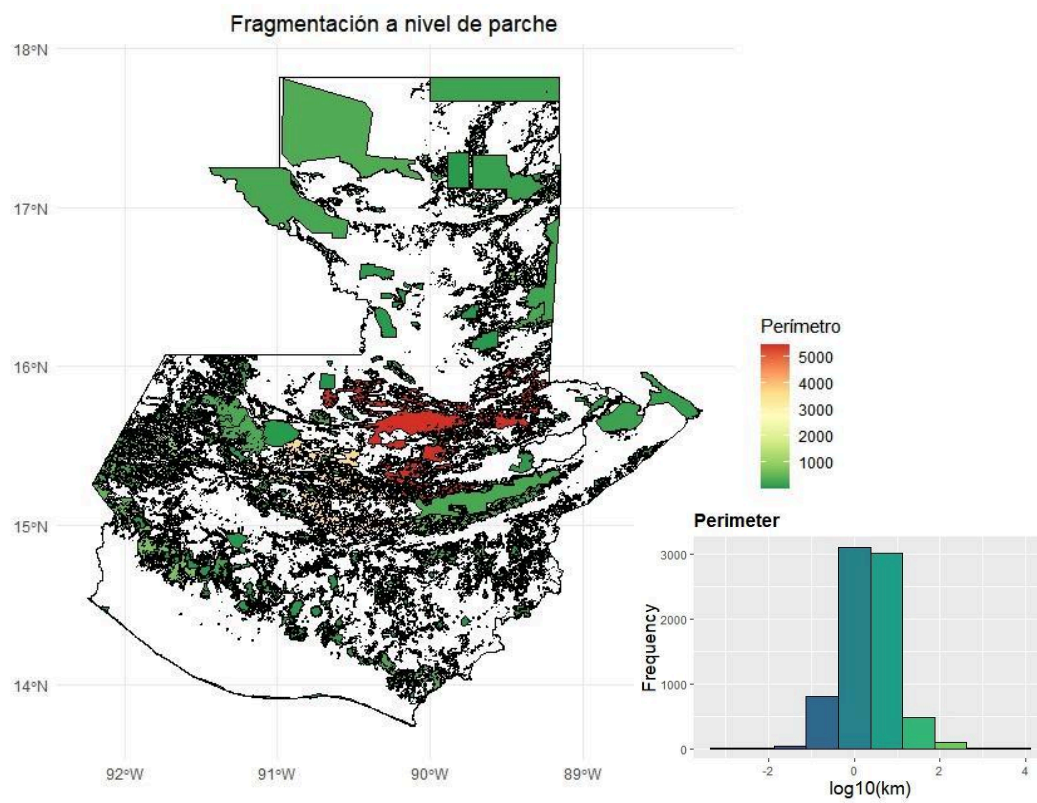
Medición	Valor
Densidad de borde	0.0174
Densidad de parches	0.0693
Área núcleo total (ha)	1,608,304.87
Nuclealidad (Cority)	0.1053
Media del Índice de Forma	Inf
Media del FRAC	-Inf
Mesh (ha)	37,301.36
Mesh (%)	99.66 %



**Figura 2.** Porcentaje de área núcleo: Fragmentación de bosques a nivel de parches.

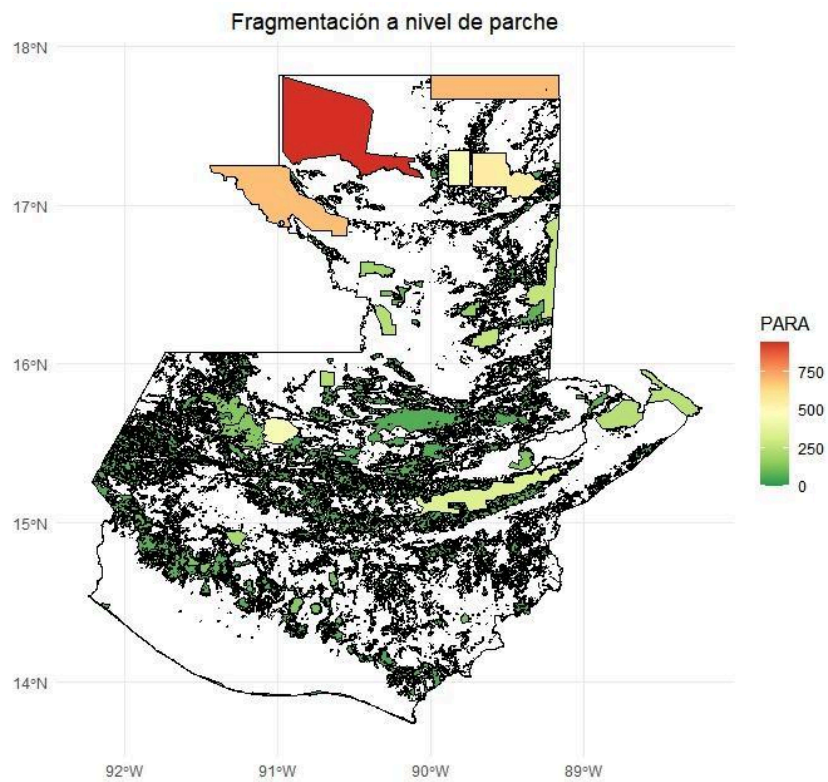


**Figura 3.** Porcentaje de Borde: Fragmentación de bosques a nivel de parches.

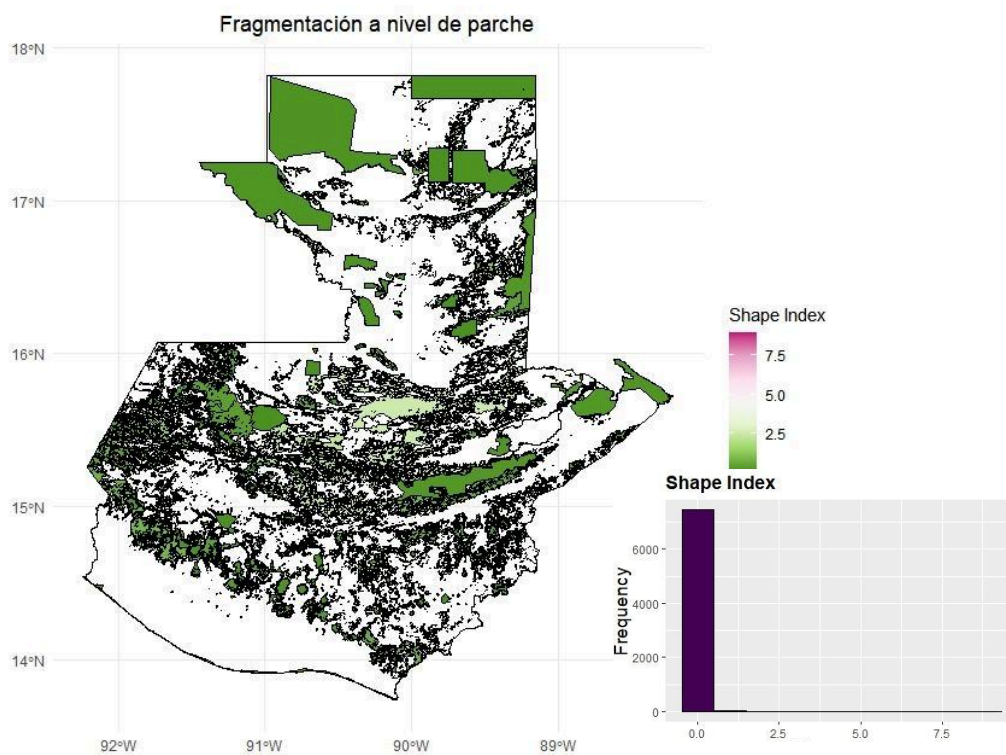


**Figura 4.** Perímetro: Fragmentación de bosques a nivel de parches.

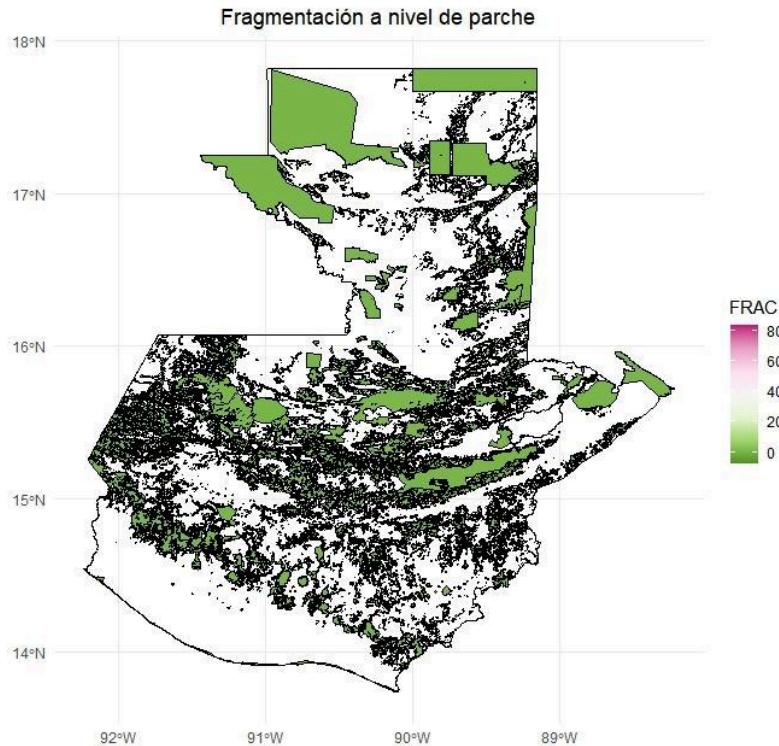




**Figura 5.** Proporción perímetro-área (PARA): Fragmentación de bosques a nivel de parches.



**Figura 6.** Índice de Forma: Fragmentación de bosques a nivel de parches.



**Figura 7.** Índice de Dimensión Fractal (FRAC): Fragmentación de bosques a nivel de parches.

## Discusión

El dato de que el 33% del territorio nacional presenta cobertura forestal (GIMBOT 2014, INAB 2025) es significativo, pero el hecho de que solo el 14.77% corresponda a área nuclear indica una alta proporción de borde y una posible pérdida de funcionalidad ecológica. La existencia de 7,534 parches con un área promedio de 476.99 ha sugiere una estructura altamente fragmentada, donde predominan unidades pequeñas y dispersas. Esto refuerza la necesidad de evaluar no solo la cantidad de bosque, sino su configuración espacial y conectividad funcional.

Las Reservas de Biosfera Maya y Sierra de las Minas destacan como núcleos de conservación con parches grandes y bajo porcentaje de borde. Esto confirma su rol como reservorios de conectividad ecológica, y sugiere que deben ser considerados como anclas en cualquier estrategia de corredores biológicos. La concentración de área núcleo en estas zonas también puede relacionarse con políticas de manejo más estrictas y menor presión antrópica. El índice PARA (perímetro/área) elevado en Petén sugiere parches irregulares y altamente expuestos, lo que podría afectar la permanencia de especies sensibles al borde.

Las áreas más pequeñas, con mayor porcentaje de borde, reflejan una fragmentación más intensa, asociada a usos agrícolas, ganaderos o urbanos. El norte de Izabal y las Verapaces, aunque presentan mayor perímetro, muestran bosques lineales o alargados, lo que reduce su valor como hábitat interior.

El índice de forma ( $<5.0$ ) y el índice de dimensión fractal ( $FRAC \approx 0$ ) indican que los parches tienen formas relativamente simples y similares. Esto limita el uso de estadísticas promedio para análisis ecológicos, ya que no capturan la heterogeneidad espacial ni la variabilidad funcional entre parches (Jia y otros, 2019).

El valor de Mesh (37,301.36 ha) cubriendo el 99.66% sugiere que, a pesar de la fragmentación, la mayoría del bosque está conectado en grandes unidades, con poca subdivisión interna. Esto puede ser una señal positiva para la conectividad estructural, aunque no necesariamente funcional (Wang y otros, 2014). Sería útil contrastar este resultado con modelos de conectividad basados en resistencia ecológica o movimiento de especies.

## Conclusiones

### Persistencia de la fragmentación estructural del bosque

A pesar de que el 33% del territorio nacional mantiene cobertura forestal, solo el 14.77% corresponde a áreas núcleo, lo que evidencia una alta proporción de borde y una configuración espacial fragmentada.

Esta estructura limita la funcionalidad ecológica de los ecosistemas, especialmente para especies sensibles al efecto de borde.

### Rol estratégico de las áreas protegidas

Las Reservas de Biosfera Maya y Sierra de las Minas concentran los parches más grandes y con mayor proporción de área núcleo, lo que confirma su papel como núcleos de conectividad ecológica. Estas áreas deben ser consideradas prioritarias en el diseño de corredores biológicos y estrategias de restauración.

### Vulnerabilidad de los parches pequeños

Las unidades forestales de menor tamaño presentan mayor porcentaje de borde, lo que las hace más susceptibles a perturbaciones externas y pérdida de biodiversidad. Su alta exposición requiere medidas específicas de manejo, restauración o reconexión funcional.

### Limitaciones de los indicadores promedio

Los valores medios del índice de forma ( $<5.0$ ) y del índice de dimensión fractal ( $FRAC \approx 0$ ) sugieren una homogeneidad aparente en el tamaño y forma de los parches, lo cual puede ocultar patrones críticos de fragmentación. Se recomienda utilizar métricas distribucionales o análisis por clases de tamaño para capturar la complejidad espacial real.

### Conectividad estructural aún presente

El valor del índice Mesh (37,301.36 ha), que cubre el 99.66% del área forestal, indica que la mayoría de los parches están conectados en grandes unidades, con poca subdivisión interna. Esto representa una oportunidad para fortalecer la conectividad funcional antes de que la fragmentación avance.

### Implicaciones para biodiversidad

Las regiones con mayor perímetro y relación perímetro/área (PARA), como el norte de Petén y las Verapaces, tienen un papel clave en la conectividad de hábitats para especies como orquídeas y sus polinizadores. Su inclusión en evaluaciones de diversidad y funcionalidad ecológica es esencial para orientar acciones de conservación.

### Bibliografía

- GIMBOT. (2006). *Dinámica de la Cobertura Forestal de Guatemala durante los años 1991, 1996 y 2001 y Mapa de Cobertura Forestal 2001*. Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Boques y Uso de la Tierra.
- GIMBOT. (2011). *Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2006 y Dinámica de la Cobertura Forestal 2001-2006*. Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Boques y Uso de la Tierra.
- GIMBOT. (2012). *Mapa de Cobertura Forestal correspondiente al año 2010 y el Mapa de Dinámica de la Cobertura Forestal para el período 2006-2010*. Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Boques y Uso de la Tierra.
- GIMBOT. (2014). *Mapa de Bosques y Uso de la Tierra 2012 y Mapa de Cambios en Uso de la Tierra 2001 - 2010 para la estimación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*. Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Boques y Uso de la Tierra.
- GIMBOT. (2019). *Mapa de Cobertura Forestal correspondiente al año 2016 y el Mapa de Dinámica de la Cobertura Forestal para el período 2010-2016*. Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Boques y Uso de la Tierra.
- GIMBOT. (2023). *Mapa de Cobertura Forestal correspondiente al año 2020 y el Mapa de Dinámica de la Cobertura Forestal para el período 2016-2020*. Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Boques y Uso de la Tierra.
- Godínez-Gómez, O., Correa-Ayram, C., Goicolea, T., & Saura, S. (2025). Makurhini: An R package for comprehensive analysis of landscape fragmentation and connectivity. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6398746/v1>
- INAB. (2025). Obtenido de Portal para consulta, análisis y descarga: <https://sig.inab.gob.gt/portal/apps/webappviewer/index.html?id=fe80b004cfe34f9c9c407ccad325d172>
- Jia, Y., Tang, L., Xu, M., & Yang, X. (2019). Landscape pattern indices for evaluating urban spatial morphology\_A case study of Chinese cities. *Ecological Indicators*, 99, 27-37. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.007>



Wang, X., Blanchet, F. G., & Koper, N. (2014). Measuring habitat fragmentation: An evaluation of landscape pattern metrics. *Methods in ecology and evolution*, 5(7), 634-646.  
<https://doi.org/10.1111/2041-210X.12198>

## Anexos

### Anexo A. Código de Makurhini utilizado en R Studio

<https://drive.google.com/file/d/134mTuexaQIM9cj1jaDww0D4uwmF1-jZj/view?usp=sharing>

[https://drive.google.com/file/d/1fam6-gwiLXlxD8\\_dYNCcXUIRAmqp1eVv/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1fam6-gwiLXlxD8_dYNCcXUIRAmqp1eVv/view?usp=sharing)

### Anexo B. Otros archivos de mapas disponibles

Capa	Tipo	Fuente
Mesoamérica	Polígonos	(CCAD 2002)
Áreas protegidas, Guatemala	Polígonos	(CONAP 2024, 2025)
Áreas protegidas: México, Belice, Honduras, El Salvador	Polígonos	(UNEP-WCMC 2025)
Áreas de protección especial, Guatemala	Polígonos	(CONAP 2008)
Ecorregiones	Polígonos	(Dinerstein <i>et al.</i> 2017)
Ecosistemas Terrestres	Polígonos	(TNC & NatureServe 2003)
Cobertura forestal 2001	Ráster	(GIMBOT 2006)
Cobertura forestal 2006	Ráster	(GIMBOT 2011)
Cobertura forestal 2010	Ráster	(GIMBOT 2012)
Cobertura forestal 2016	Ráster	(GIMBOT 2019)
Cobertura forestal 2020	Ráster	(GIMBOT 2023)
Uso de la tierra - Cultivos	Polígonos	(IGN 2001)
Uso de la tierra – Bosques y ecosistemas naturales	Polígonos	(IGN 2001)
Uso de la tierra - Cultivos	Polígonos	(IGN 2003)
Uso de la tierra – Bosques y ecosistemas naturales	Polígonos	(IGN 2003)
Cambios en uso de la tierra 2001-2010	Ráster	(GIMBOT 2014)
Bosques y uso de la tierra 2012	Ráster	(GIMBOT, 2014)
Capacidad de Uso	Polígono	(INAB 2011)

### Matriz de resistencia ráster (a construir)

Capa	Tipo	Fuente
Ríos (líneas a polígonos a ráster)	Línea	(IGN 2001)
Ríos caudalosos (polígonos a ráster)	Polígono	(IGN 2001)
	s	
Lagos	Polígono	(IGN 2001)
	s	
Elevación/Batimetría (lagos)	Ráster	(GEBCO 2021)
Carreteras antiguas (líneas a polígonos y a ráster)	Polígono	(IGN 2001)
	s	

Capa	Tipo	Fuente
Carreteras (líneas a polígonos y a rásters)	Polígonos	(SEGEPLAN 2012)
Cobertura de nubes	Ráster	(Wilson & Jetz 2016)
Cambio de cobertura forestal 1991 - 2001	Ráster	(GIMBOT 2006)
Cambio de cobertura forestal 2001 - 2006	Ráster	(GIMBOT 2011)
Cambio de cobertura forestal 2006 - 2010	Ráster	(GIMBOT 2012)
Cambio de cobertura forestal 2010 - 2016	Ráster	(GIMBOT 2019)
Cambio de cobertura forestal 2016 - 2020	Ráster	(GIMBOT 2023)
Clorofila a (mensual 2003 al 2013)	Ráster	(CONABIO 2019)

## Fuente de capas disponibles

- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. (2002). *Base de Datos SIG de Mesoamérica / CCAD-BM 2002*. Obtenido de <http://www.ccad.ws/mapas/mapoteca.htm> (ya no está en funcionamiento)
- CONAP. (9 de junio de 2025). *Listado SIGAP público*. Obtenido de <https://conap.gob.gt/wp-content/uploads/2019/08/LISTADO-SIGAP-PUBLICO-09-06-2025.xlsx>
- CONAP. (agosto de 2024). *Capa digital del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP)*. Obtenido de <https://conap.gob.gt/direccion-de-analisis-geoespacial/>
- Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N. D., Wikramanayake, E., . . . Saleem, M. (2017). An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. *BioScience*, 67(6), 534-545.
- GEBCO. 2021. GTM elevation with bathymetry. General Bathymetric Chart of the Oceans. <https://www.gebco.net/data-products/gridded-bathymetry-data>
- GEBCO. 2023. GEBCO 2023 Grid. General Bathymetric Chart of the Oceans Compilation Group. Distributed by OpenTopography. <https://doi.org/10.5069/G9D21VTT>. Accessed 2025-08-28
- INAB, Instituto Nacional de Bosques. (2025). *Tipos Ecosistemas Guatemala Geo*. Obtenido de <https://sig.inab.gob.gt/portal/home/item.html?id=d5672e700b124908965edd3c6d74fe6d>
- INAB. 2014. Áreas Potenciales para la Restauración del Paisaje Forestal 2012 (formato GEOTIF). <https://sig.inab.gob.gt/portal/apps/webappviewer/index.html>
- INAB. 2018. Oportunidades de restauración del paisaje forestal en Guatemala. Mesa Nacional de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala.
- INAB. 2024. Áreas Potenciales para la Restauración del Paisaje Forestal 2023 (formato GEOTIF). <https://sig.inab.gob.gt/portal/apps/webappviewer/index.html>
- MAGA. 2003. Cobertura vegetal y uso 2003. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. <http://web.maga.gob.gt/sigmaga/download/mapa-coverturavegetal.pdf>
- SEGEPLAN. 2025. sinitGeoportal (cobertura vegetal y uso de la tierra 2010, 2020, potencial forestal con bosque, ganadería como pasto cultivado). Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. <https://ideg.segeplan.gob.gt/geoserver/wms?service=wms>
- SIE. 2025. Capas geográficas. Sistema de Información Estratégica, Universidad Rafael Landívar. <https://sie.url.edu.gt/capas-geograficas/>

UNEP-WCMC. (Agosto de 2025). *World Database on Protected Areas Profile*. Obtenido de Belice, El Salvador, Honduras México: <https://www.protectedplanet.net/country/>

Wilson, A., & Jetz, W. (2016). Remotely sensed high-resolution global cloud dynamics for predicting ecosystem and biodiversity distributions. *PLoS Biol*, 14(3), e1002415. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002415>

## Minería en Izabal

Construir capa de minería a cielo abierto en el Departamento de Izabal, adjuntar a matriz de resistencia.



berfore