

Índice de fragmentación

Introducción

La caatinga es una región ecológica ubicada en el noreste de Brasil, conocida por ser una región semiárida bastante característica (IBGE 2004). Tiene como vegetación predominante el bosque tropical estacionalmente seco, al corresponder al clima semiárido, es común que la región experimente estaciones secas bastante prolongadas, lo que resulta en una vegetación decidua (Pennington et al. 2009). Una de las principales problemáticas de Caatinga es la pérdida de hábitat y fragmentación, ya que, actualmente, se ha perdido aproximadamente la mitad de la cobertura vegetal de la zona, lo que ha ocasionado que, estos pequeños fragmentos en los que se ha dividido la cobertura de Caatinga, afecte a la conectividad funcional entre los mismos, lo que genera núcleos expuestos al efecto antropogénico, aumentando el riesgo de extinción local, y comprometiendo en extremo la provisión de servicios ecosistémicos.

Metodología

Para realizar la evaluación de la fragmentación y conectividad del Bosque de Caatinga, ubicado en Brasil, para el análisis se utilizaron datos espaciales de parches de bosque y del polígono del paisaje en formato shapefile los cuales posteriormente fueron procesados en R utilizando los paquetes **sf** y **Makurhini**. Los parches de bosque se representaron como polígonos individuales mientras que el área de estudio como un contorno general, lo que permitió verificar visualmente la distribución de los fragmentos.

Se calculó el área total del paisaje y se realizó la conversión de unidad a hectáreas, sirviendo como referencia para las métricas de fragmentación. Se empleó la función **MK_Fragmentation** para obtener métricas a nivel de parche y paisaje, incluyendo el porcentaje de área núcleo, el porcentaje de borde, el perímetro, la relación perímetro-área y el índice de forma (Shape Index). Se estableció un umbral mínimo de 100 ha para los parches y un ancho de borde de 500 m, con el fin de diferenciar entre área núcleo y zona de borde.

Finalmente, se generaron mapas temáticos para cada una de las métricas con el fin de visualizar espacialmente la fragmentación, lo que permitió identificar patrones de conectividad, áreas núcleo bien conservadas y fragmentos con alta exposición al borde. Lo que proporciona una base cuantitativa y visual para evaluar la integridad del paisaje y poder apoyar decisiones de conservación y restauración en el bosque de Caatinga.

Resultados

La figura 1, demuestra que la gran mayoría de los parches en el bosque de Caatinga están afectados por el efecto de borde, a menos de 500m (color rojo) a diferencia de las áreas núcleo (color verde) lo que demuestra una alta fragmentación en el sitio de estudio, lo que reduce la capacidad del ecosistema para mantener sus procesos ecológicos, debido a la alta sensibilidad a la estabilidad de los microclimas. Las métricas de paisaje del histograma (Figura 2.) muestran que la mayoría de los fragmentos presentan tamaños reducidos ($<1 \text{ km}^2$), con pocos parches de gran extensión

que mantengan la característica de área núcleo. De manera similar, los perímetros son predominantemente pequeños, lo que refleja la abundancia de fragmentos aislados y afectados por el efecto borde. El índice de forma se concentra en valores cercanos a cero, lo que indica que la mayoría de los fragmentos mantienen formas relativamente compactas. Finalmente, la distribución del área núcleo confirma que la mayor parte de los fragmentos carecen de superficies interiores significativas, concentrándose en valores bajos, lo que sugiere que el hábitat disponible para especies sensibles al borde es muy limitado.

El mapa de fragmentación (Figura 3.) muestra que la mayoría de los parches de bosque de Caatinga presentan un porcentaje de borde extremadamente alto, en muchos casos superior al 99%. Solo unos pocos fragmentos relativamente grandes, localizados principalmente en la zona central y norte del paisaje, conservan valores menores (95–97%), lo que indica la existencia de áreas núcleo ligeramente más protegidas. En general, la configuración espacial revela un paisaje altamente fragmentado, dominado por parches pequeños y alargados donde el efecto de borde es prácticamente total, lo que limita la disponibilidad de hábitat interior y aumenta la vulnerabilidad ecológica del sistema.

El análisis de fragmentación y porcentaje de área núcleo a nivel de parche (Figura 4.) muestra que la mayoría de los fragmentos del área de estudio presentan un porcentaje muy reducido de área núcleo (<2%), lo que indica que gran parte de la superficie se encuentra bajo la influencia directa de los bordes y, por tanto, más expuesta a procesos de degradación. Solo unos pocos parches, localizados principalmente en la zona central y norte, alcanzan valores superiores al 4%, reflejando una mayor integridad ecológica.

Por otro lado, el análisis del índice de forma (Figura 5.) evidencia una marcada variación en la configuración espacial de los parches. En la periferia del área de estudio predominan fragmentos más compactos y regulares, mientras que en la zona central se observa un predominio de parches con formas altamente irregulares. Esta complejidad morfológica indica una mayor proporción de borde en relación con el área, lo que incrementa la exposición a perturbaciones externas y reduce la integridad ecológica de los fragmentos. En conjunto, los resultados refuerzan la idea de que la fragmentación no solo afecta la extensión del hábitat, sino también su estructura espacial, aumentando la vulnerabilidad del paisaje frente a procesos de degradación.

Discusión

El análisis de fragmentación realizado para el bosque de Caatinga evidencia un paisaje altamente transformado, caracterizado por parches pequeños, formas irregulares y un efecto de borde generalizado. Estos patrones son consistentes con procesos de deforestación histórica y presión antrópica, que han reducido la conectividad ecológica y limitado la presencia de áreas núcleo. Sin embargo, es importante reconocer algunas limitaciones del estudio.

En primer lugar, la escala espacial de análisis influye directamente en la estimación de métricas como el área núcleo y el porcentaje de borde. Al definir umbrales fijos (p. ej. 500 m para borde), se pueden subestimar o sobrestimar los efectos ecológicos reales en función de la especie o proceso evaluado. De manera similar, la resolución cartográfica

condiciona la representación de parches pequeños y angostos, lo que puede llevar a una sobreestimación de la fragmentación.

Otra limitación es que los indicadores utilizados (área, perímetro, forma, borde, área núcleo) reflejan principalmente la configuración espacial de los fragmentos, pero no integran información sobre la calidad del hábitat ni su estado de conservación interno. Dos parches con tamaños similares pueden diferir ampliamente en su funcionalidad ecológica según factores como cobertura vegetal, grado de perturbación o conectividad funcional.

Finalmente, el análisis se centró en métricas estructurales estáticas, sin evaluar procesos dinámicos como la regeneración natural, la conectividad funcional mediada por la matriz o la resiliencia del paisaje frente al cambio climático. Por tanto, aunque los resultados muestran claramente una alta fragmentación, es necesario complementarlos con estudios de biodiversidad, conectividad funcional y dinámica temporal para obtener una visión más completa del sistema.

Conclusión

Los resultados confirman que el bosque de Caatinga en el área de estudio se encuentra en un estado avanzado de fragmentación, con parches predominantemente pequeños, de forma irregular y con un porcentaje de borde superior al 95%. La presencia de áreas núcleo es muy limitada (<2% en la mayoría de fragmentos), lo que reduce drásticamente la disponibilidad de hábitat para especies sensibles al efecto de borde y compromete la estabilidad de procesos ecológicos clave.

Estos hallazgos tienen importantes implicaciones para el manejo y la conservación. La prioridad debe enfocarse en proteger y restaurar los pocos fragmentos que aún mantienen áreas núcleo significativas, ya que constituyen refugios críticos de biodiversidad. De manera complementaria, es necesario implementar acciones de restauración en la matriz y promover corredores ecológicos que reduzcan el aislamiento de los fragmentos más pequeños. A largo plazo, la gestión de este paisaje deberá orientarse hacia la recuperación de la conectividad y la ampliación de áreas núcleo, con el fin de aumentar la resiliencia del ecosistema frente a perturbaciones antrópicas y al cambio climático.

Figuras

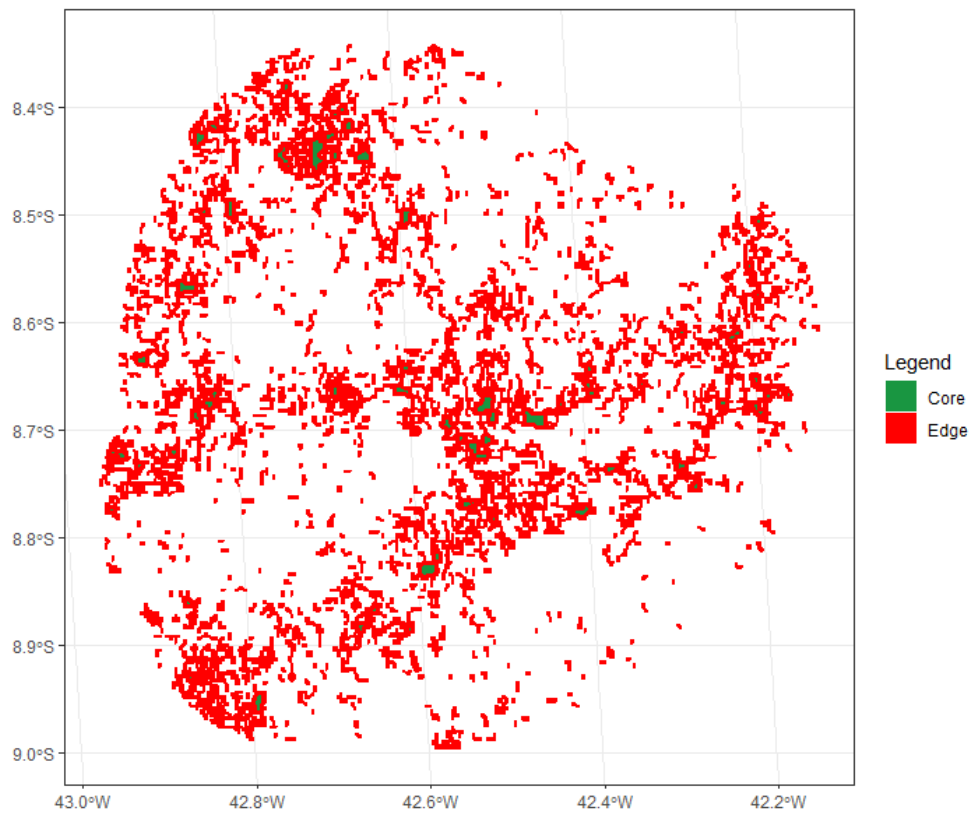


Figura 1.

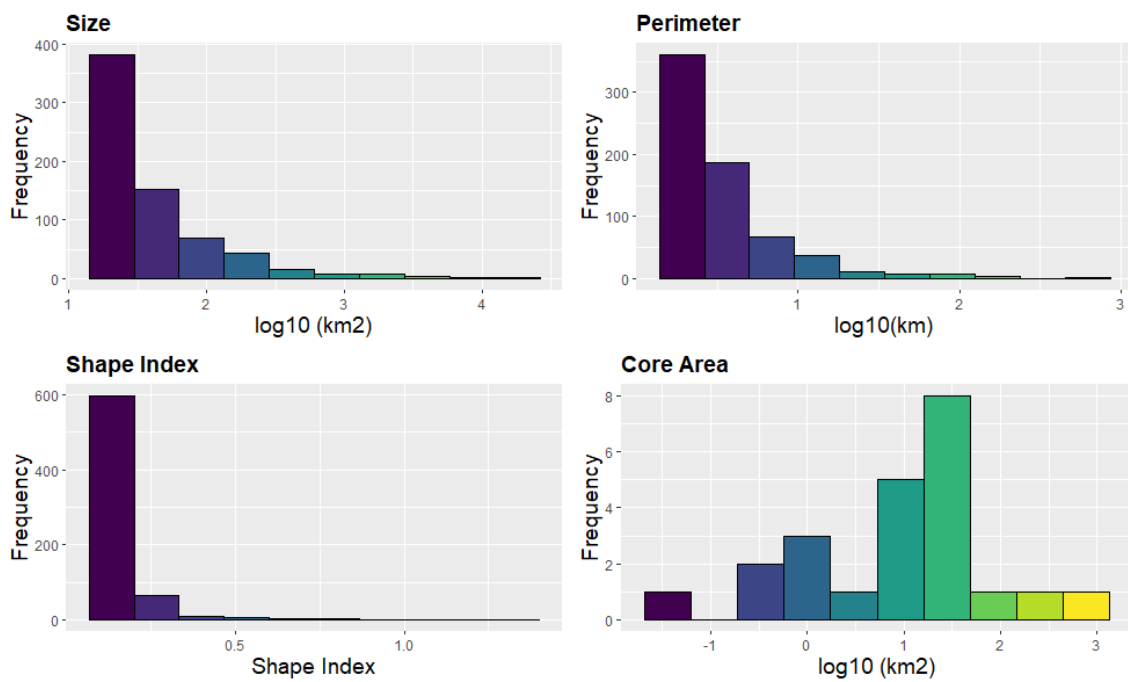


Figura 2.

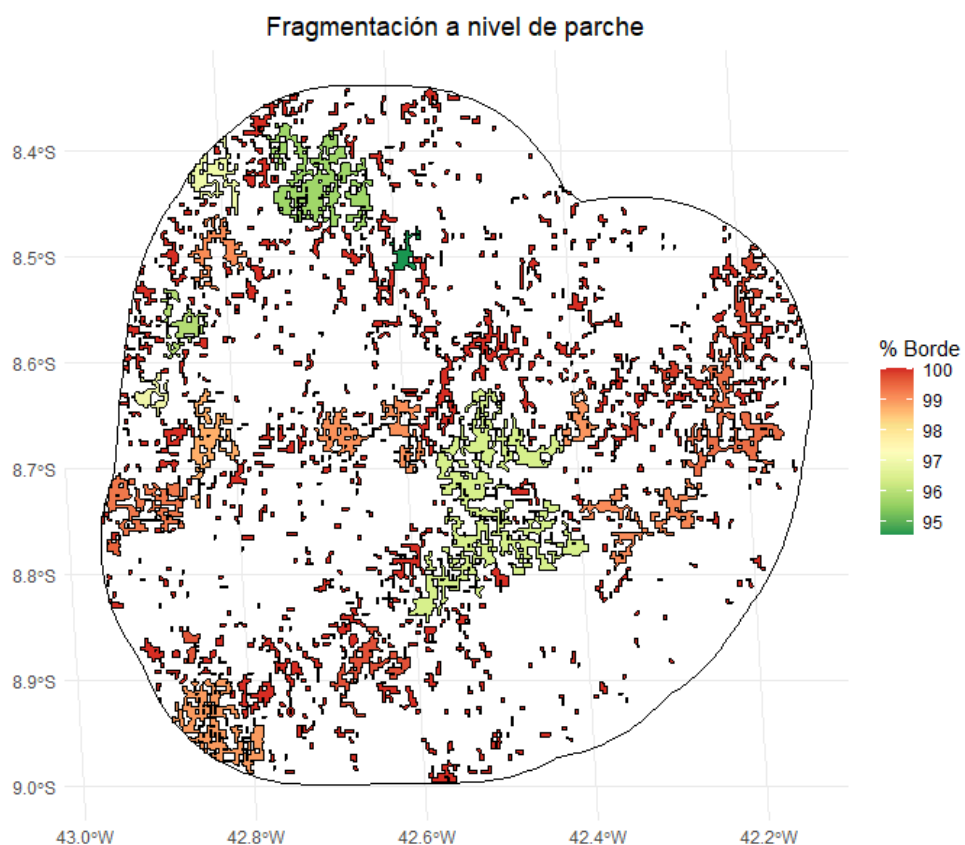


Figura 3.

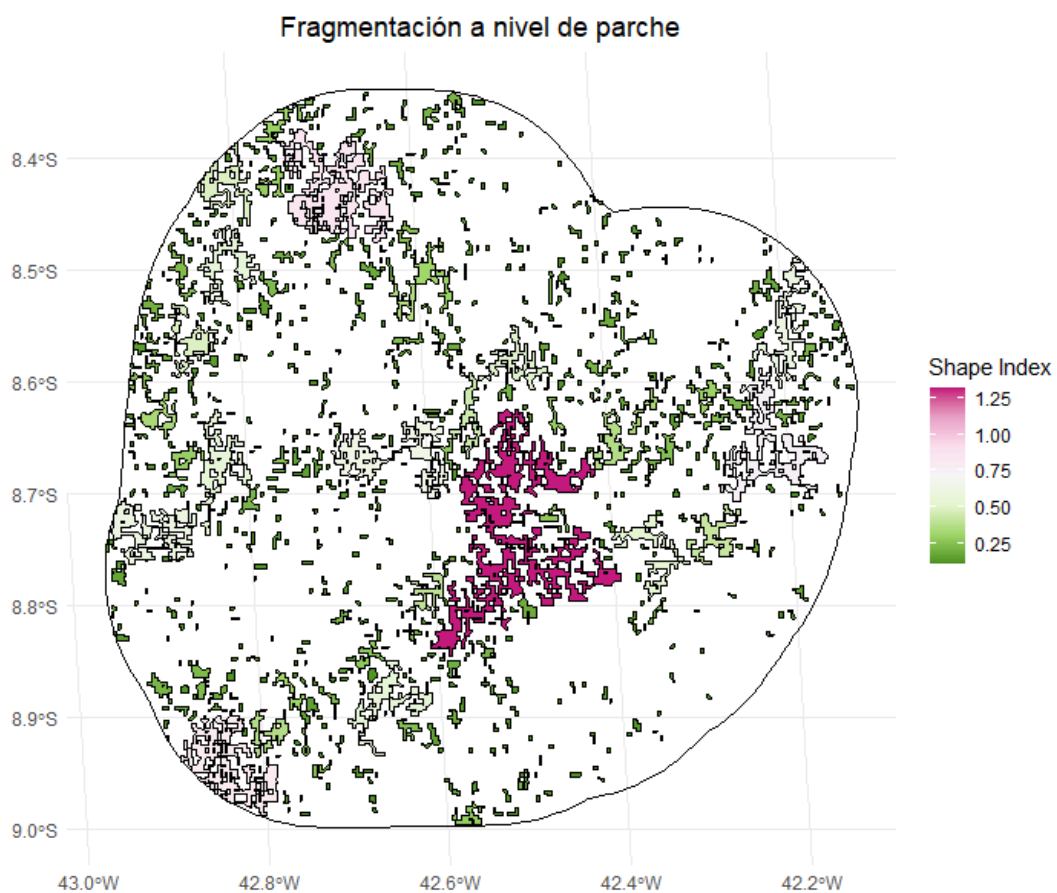


Figura 4.

Bibliografia

- **Antongiovanni, M., Venticinque, E. M., & Fonseca, C. R. (2018).** Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. *Landscape Ecology*, 33(8), 1353–1367. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0672-6>
- **De Lima, V. R. P., De Souza, B. I., & Cámara Artigas, R. (2022).** Bioclimatic classification of the Caatinga in the semi-arid zone of the Paraíba River Basin – PB. *Geosul*, 37(83), 259–279. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2022.e83852>
- **Silva, J. M. C. da, Leal, I. R., & Tabarelli, M. (Eds.). (2017).** *Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3>