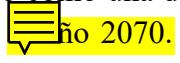


Conejividad y representatividad de las áreas protegidas en la ecorregión Araucaria Moist Forest

Introducción

La Mata Atlántica constituye uno de los biomas más biodiversos y amenazados del planeta. Su gran heterogeneidad ambiental sostiene una alta tasa de endemismo, albergando especies clave para el equilibrio ecológico. Dentro de este bioma, la ecorregión Araucaria moist forest adquiere especial relevancia, ya que estudios recientes la han identificado como una de las zonas climáticamente más estables para los búhos de la Mata Atlántica  año 2070. Esta estabilidad proyectada convierte a esta ecorregión en un refugio potencial para la conservación a largo plazo de estas especies, que enfrentan fuertes presiones derivadas de la fragmentación del hábitat y el cambio climático.

En este contexto, el papel de las áreas protegidas resulta fundamental. Más allá de resguardar porciones del territorio, dichas áreas tienen la función estratégica de garantizar la conectividad ecológica, permitiendo el flujo genético y el desplazamiento de las especies entre parches de hábitat. Para los búhos endémicos de la Mata Atlántica, cuya persistencia depende de la disponibilidad de hábitats adecuados y conectados, evaluar esta conectividad es esencial para anticipar escenarios futuros de conservación.

Este trabajo tiene como objetivo analizar la importancia de la red de áreas protegidas en la ecorregión Araucaria Moist Forest en relación con la conservación de los búhos endémicos y ecorregiones aledañas. Para ello, se busca determinar: (i) qué porcentaje de la ecorregión se encuentra actualmente bajo protección, (ii) qué proporción de estas áreas protegidas se encuentran efectivamente conectadas, (iii) cuál es el área protegida que más contribuye a la conectividad de toda la red. Este análisis permitirá identificar vacíos y fortalezas en la planificación de la conservación, aportando insumos relevantes para el manejo futuro del bioma.

Metodología

Área de estudio

La ecorregión Araucaria moist forests está ubicada en el sur de Brasil y considerada parte del bioma Mata Atlántica. Esta ecorregión se caracteriza por la presencia de bosques húmedos dominados por *Araucaria angustifolia*, además de altos niveles de biodiversidad y endemismo. Su importancia radica en que ha sido identificada en estudios previos como una de las zonas más estables climáticamente hacia el año 2070 para la persistencia de especies endémicas de búhos de la Mata Atlántica (Figura 1).

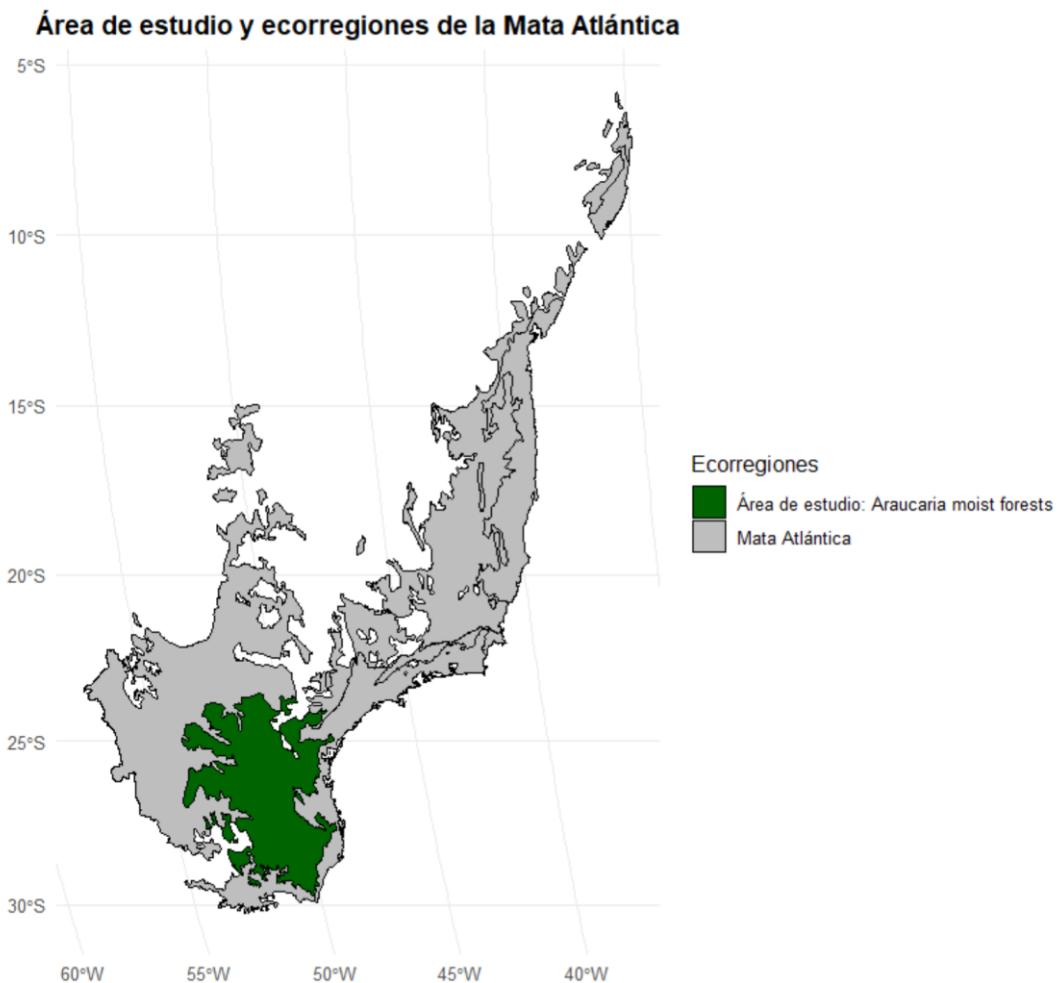


Figura 1. Área de estudio.

Análisis de datos

Para el análisis se emplearon insumos cartográficos provenientes de bases de datos abiertas: las áreas protegidas del Neotrópico y las ecorregiones de biomas boscosos. Los datos fueron procesados en R mediante librerías de análisis espacial como *sf*, *terra*, *raster*, *dplyr* y *Makurhini*. A partir de esta información se filtraron las áreas protegidas que interceptan directamente con la **ecorregión Araucaria moist forests** y aquellas que se encuentran dentro del buffer de 500 km. Posteriormente, se calcularon áreas en hectáreas.

La conectividad estructural y funcional de la red de áreas protegidas se evaluó utilizando el índice ProtConn implementado en el paquete *Makurhini*. Este índice cuantifica la proporción de hábitat protegido que está efectivamente conectado, considerando tanto la cobertura como la distancia entre fragmentos. Se calcularon distintos indicadores derivados: el Prot, que mide el porcentaje del área total de la ecorregión bajo protección; el ProtConn, que estima el porcentaje del área protegida conectada; y el RelConn, que representa la conectividad relativa

alcanzada frente al máximo posible. También se incluyó el ProtConn Bound, que ajusta los cálculos al límite de la ecorregión, así como el Delta ProtConn, que mide la contribución individual de cada área protegida a la conectividad global. Finalmente, se aplicó el análisis ProtConn Mult, que evalúa la conectividad entre múltiples ecorregiones dentro del buffer de 500 km, con lo cual se exploró la relación de la Araucaria moist forests con ecorregiones vecinas de la Mata Atlántica.

Resultados

La ecorregión Araucaria moist forests tiene una superficie total de 216.551 km². Dentro de esta ecorregión hay 151 áreas protegidas y alrededor de un buffer de 500 km hay 615 áreas protegidas adicionales que se ubican en ecorregiones vecinas. La superficie protegida total alcanzó aproximadamente 17.305.936 hectáreas (Figura 2). En cuanto a la proporción de área bajo protección, los indicadores revelaron que únicamente 4,74 % de la ecorregión Araucaria moist forests se encuentra actualmente protegida.

Áreas Protegidas en: Araucaria moist forests

Total de APs: 766 | En Araucaria: 151 | En ecorregiones vecinas: 615

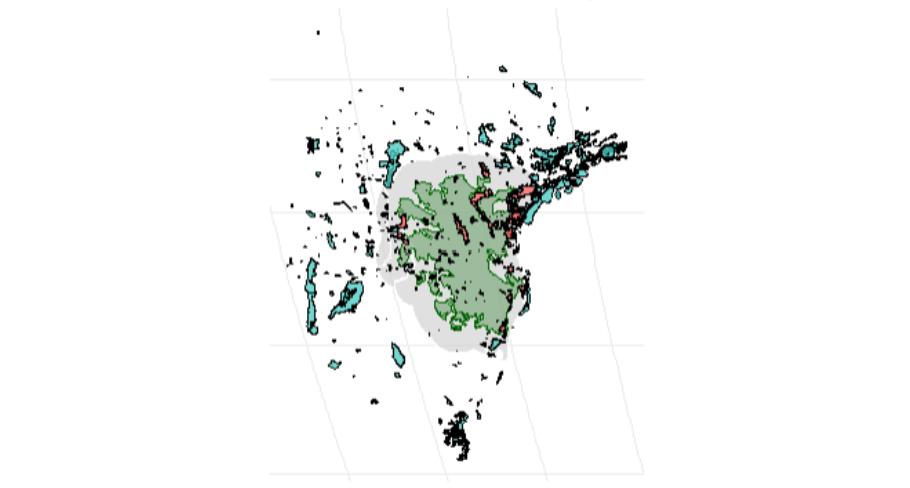


Figura 2. Áreas protegidas en la ecorregión Araucaria moist forests. El índice ProtConn, que mide la fracción de superficie efectivamente conectada, alcanzó 1,63 %, mientras que la conectividad relativa (RelConn) fue de 34,26 %. Estos valores indican que, si bien existe un grado de conectividad entre las áreas protegidas, gran parte del territorio protegido permanece aislado, lo que reduce su funcionalidad ecológica para especies dependientes de hábitats continuos, como los búhos endémicos de la Mata Atlántica (Figura 3 y 4).

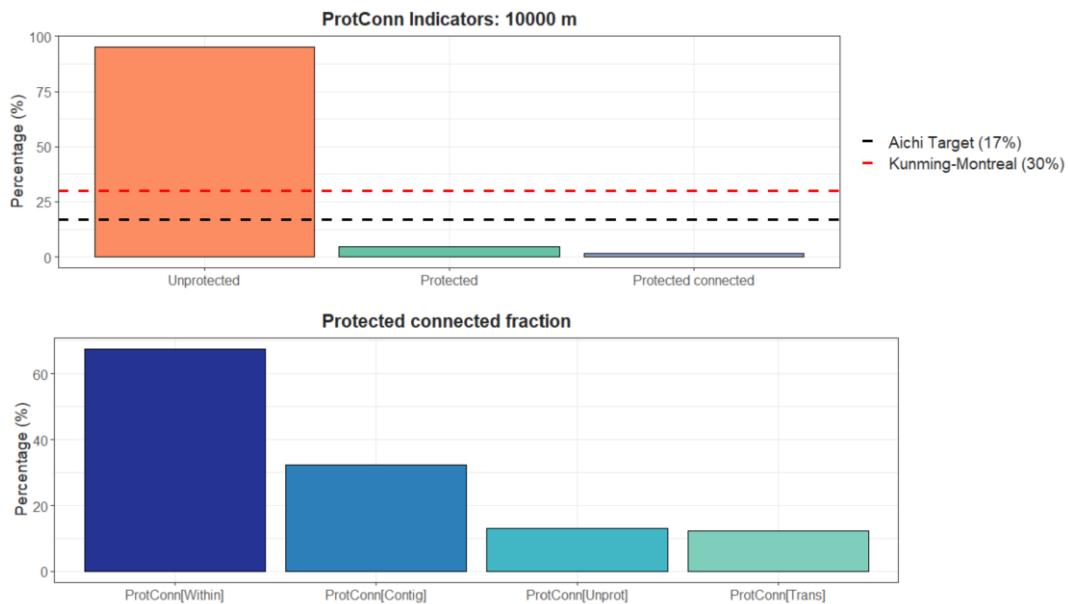


Figura 3. Indicadores de cobertura y conectividad de áreas protegidas en la Araucaria moist forests frente a las metas de Aichi (17%) y Kunming-Montreal (30%), y fracciones de conectividad protegida por tipo de conexión.

Index	Value	ProtConn indicator	Percentage
EC(PC)	351856.95	Prot	4.7438
PC	3.0000e-04	Unprotected	95.2562
Maximum landscape attribute	21655084.05	ProtConn	1.6248
Protected surface	1027284.50	ProtUnconn	3.1190
		ProtUnconn_Design	3.0040
		ProtConn_Bound	1.7399
		RelConn	34.2512
		ProtConn_Prot	74.5960
		ProtConn_Trans	12.2701
		ProtConn_Unprot	13.1339
		ProtConn_Within	67.5811
		ProtConn_Contig	32.4189
		ProtConn_Within_land	1.0981
		ProtConn_Contig_land	0.5268
		ProtConn_Unprot_land	0.2134
		ProtConn_Trans_land	0.1994

Figura 4. Valores generales de cobertura y conectividad de áreas protegidas en la ecorregión Araucaria moist forests.

El análisis de la contribución individual de cada área protegida (Delta ProtConn) permitió identificar que solo algunas unidades aportan significativamente a la conectividad de la red, mientras que muchas áreas pequeñas tienen una contribución marginal. Entre las áreas con mayor influencia se encuentran polígonos de gran extensión en el núcleo de la ecorregión, que concentran los valores más altos de dProt y dProtConn (Figura 5, 6 Y 7.)

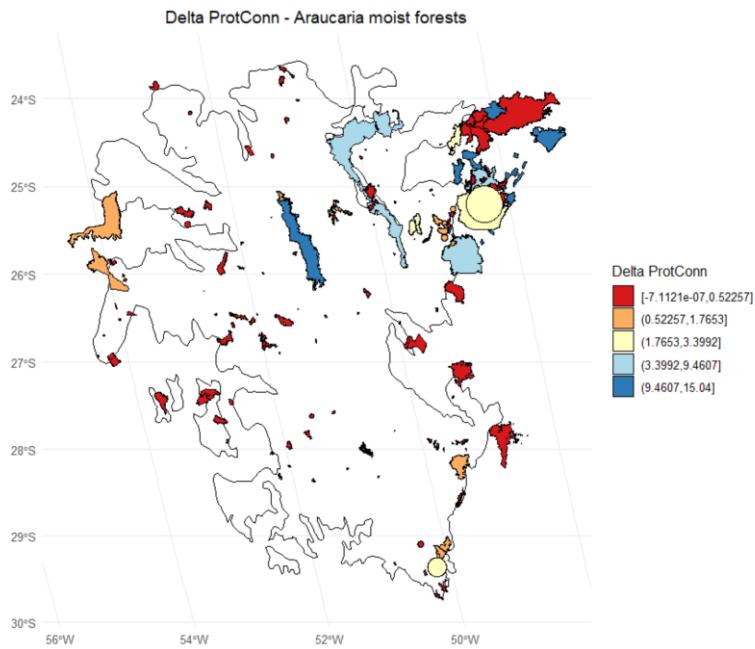


Figura 5. Contribución individual de las áreas protegidas a la conectividad (Delta ProtConn) en la ecorregión Araucaria moist forests.

A escala regional, el análisis múltiple con ProtConn Mult permitió evaluar la conectividad de la Araucaria moist forests con las ecorregiones circundantes dentro del buffer de 500 km. Se analizaron cinco ecorregiones, entre las cuales destacó la Serra do Mar coastal forests, que presentó el mayor valor de ProtConn (29,83 %) y la mayor proporción de superficie protegida (36,99 %). En contraste, la Bahia interior forests registró el valor más bajo de conectividad (0,9 %), mientras que la Atlantic Coast restingas mostró la conectividad relativa más alta (88,12 %), a pesar de tener un porcentaje protegido más reducido (2,82 %). Estos resultados evidencian un mosaico heterogéneo de conservación en la Mata Atlántica, donde algunas ecorregiones funcionan como núcleos de conectividad mientras otras permanecen fragmentadas y con baja representatividad.

ProtConn indicator	Values (%)	SD	SEM	normal.lower	normal.upper	basic.lower	basic.upper	percent.lower	percent.upper	bca.lower	bca.upper
3 Prot	10.393	15.001	6.709	0.000	21.936	0.000	18.305	2.481	24.025	2.832	24.745
4 Unprotected	89.607	15.001	6.709	78.064	100.000	81.695	100.000	75.975	97.519	69.508	97.127
5 ProtConn	7.496	12.507	5.593	0.000	17.098	0.000	13.602	1.391	18.752	1.536	18.956
6 ProtUnconn	2.897	2.867	1.282	0.637	5.134	0.685	4.975	0.818	5.108	0.818	5.108
7 RelConn	65.741	25.634	11.464	45.722	85.595	46.479	85.003	46.479	85.003	44.433	83.869
8 ProtConn_Prot	79.327	18.123	8.105	65.505	93.038	66.199	92.456	66.199	92.456	62.372	91.414
9 ProtConn_Trans	6.914	6.075	2.717	2.367	11.565	2.150	11.324	2.504	11.678	2.504	11.678
10 ProtConn_Unprot	13.759	12.824	5.735	3.965	23.560	4.043	23.364	4.153	23.474	4.731	23.759
11 ProtConn_Within	69.161	27.347	12.230	48.362	89.940	51.365	92.128	46.194	86.957	40.722	83.608
12 ProtConn_Contig	30.839	27.347	12.230	10.060	51.638	7.872	48.635	13.043	53.806	15.304	57.318
13 ProtConn_Within_Land	2.732	2.647	1.184	0.652	4.785	0.429	4.404	1.060	5.034	1.179	5.303
14 ProtConn_Contig_Land	4.765	9.946	4.448	0.000	12.383	0.000	9.316	0.213	13.662	0.244	13.744
15 ProtConn_Unprot_Land	1.984	4.162	1.861	0.000	5.170	0.000	3.894	0.074	5.712	0.092	6.514
16 ProtConn_Trans_Land	0.908	1.855	0.830	0.000	2.330	0.000	1.781	0.036	2.558	0.047	2.615

Figura 6. Valores de los indicadores ProtConn y sus componentes en la ecorregión Araucaria moist forests, con intervalos de confianza y medidas de dispersión.

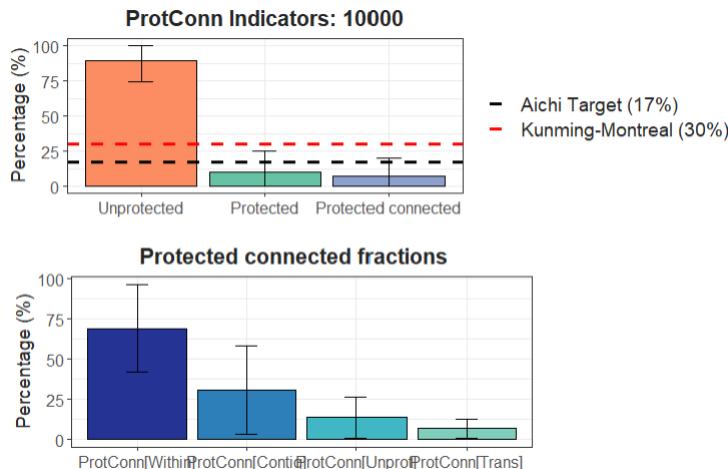


Figura 7. Indicadores de cobertura y conectividad de áreas protegidas en la ecorregión Araucaria moist forests. La gráfica superior compara la proporción de superficie no protegida, protegida y protegida conectada frente a las metas internacionales de Aichi (17%) y Kunming-Montreal (30%). La gráfica inferior desagrega las fracciones de conectividad protegida según diferentes componentes (interna, por contigüidad, no protegida y transfronteriza).

La Figura 8 muestra la variación espacial de los índices de conectividad (ProtConn) y sus componentes en cinco ecorregiones dentro del buffer de 500 km alrededor de la Araucaria moist forests. Se observa que la Serra do Mar coastal forests concentra los valores más altos de conectividad total, mientras que otras ecorregiones presentan conectividad más baja o fragmentada. Los mapas también evidencian diferencias en la conectividad interna, por contigüidad y a través de áreas no protegidas, lo que resalta la heterogeneidad en la red de conservación de la Mata Atlántica.

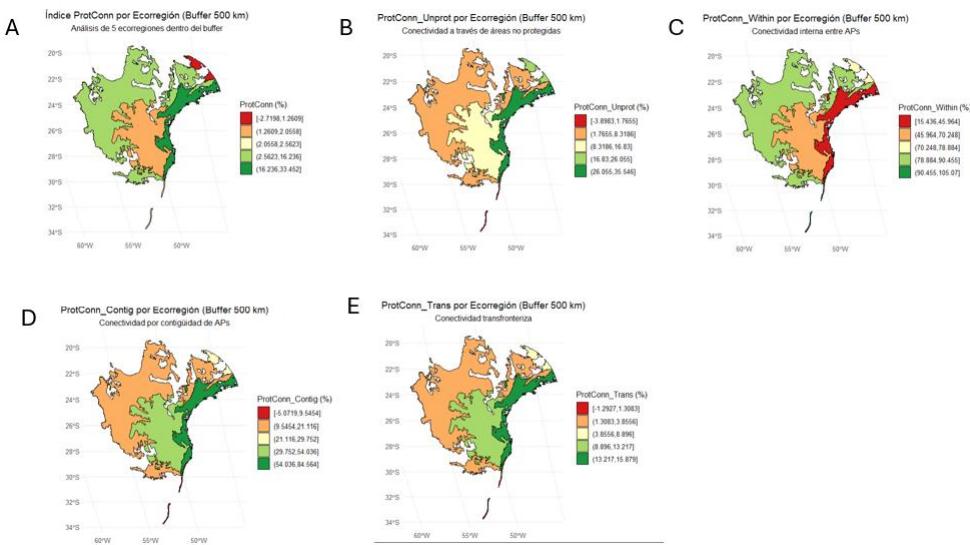


Figura 8. Mapas de conectividad de áreas protegidas en cinco ecorregiones del bioma Mata Atlántica (buffer de 500 km alrededor de la Araucaria moist forests), mostrando los indicadores ProtConn, ProtConn_Unprot, ProtConn_Within, ProtConn_Contig y ProtConn_Trans.

Discusión

Los resultados obtenidos muestran que la ecorregión Araucaria moist forests presenta un nivel bajo de representatividad dentro de la red de áreas protegidas, con solo un 4,74 % de superficie bajo protección, muy por debajo de las metas internacionales de Aichi (17 %) y Kunming-Montreal (30 %). Este hallazgo concuerda con evaluaciones globales que han identificado a la Mata Atlántica como uno de los biomas más fragmentados y menos representados en términos de protección efectiva (Rezende et al., 2018). La baja cobertura protegida compromete la capacidad de la región para salvaguardar especies altamente sensibles, como los búhos endémicos, que dependen de hábitats boscosos continuos para su reproducción y dispersión.

Aunque el índice de ProtConn (1,63 %) es reducido, la conectividad relativa (34,26 %) sugiere que existe un grado moderado de enlace funcional entre las áreas protegidas existentes. Esto significa que, a pesar de la baja proporción de territorio protegido, ciertas áreas estratégicamente ubicadas contribuyen de manera importante al mantenimiento de corredores ecológicos. Este patrón ya ha sido reportado en estudios previos que destacan la importancia de grandes unidades protegidas, como parques nacionales, para sostener la conectividad en paisajes altamente fragmentados (Saura et al., 2017). En el caso de la Araucaria moist forests, el análisis de Delta ProtConn confirmó que unas pocas áreas extensas concentran la mayor contribución a la conectividad, mientras que la mayoría de las áreas pequeñas cumplen un rol limitado. Esto plantea un desafío de gestión, pues indica que

la persistencia de la red depende de un número reducido de áreas clave, cuya degradación podría afectar de manera desproporcionada la conectividad regional.

El análisis comparativo de ecorregiones mostró un mosaico heterogéneo de conservación dentro de la Mata Atlántica. La Serra do Mar coastal forests destacó como un núcleo de conectividad con ProtConn de casi 30 %, mientras que la Bahia interior forests presentó valores mínimos de conectividad (0,9 %). Estos contrastes reflejan patrones históricos de ocupación humana y presión antrópica diferenciada en la región (Ribeiro et al., 2009), lo que refuerza la necesidad de enfoques regionales coordinados que integren tanto ecorregiones con altos niveles de protección como aquellas que requieren restauración prioritaria.

En términos de conservación de búhos endémicos, los resultados resaltan la urgencia de incrementar la representatividad de áreas protegidas en la Araucaria moist forests y de fortalecer los corredores que aseguren la conectividad funcional. Estos depredadores nocturnos cumplen roles ecológicos importantes en la regulación de poblaciones de presas y, al depender de bosques continuos, su presencia puede considerarse un bioindicador de la efectividad de las estrategias de conservación (Claudino et al., 2018).

Conclusión

La ecorregión Araucaria moist forests presenta un nivel de protección reducido, con apenas 4,74 % de su superficie bajo resguardo y un índice de ProtConn de 1,63 %, lo que refleja una conectividad limitada y dependiente de unas pocas áreas clave. Esta situación compromete la capacidad de la región para sostener la biodiversidad, en particular a los búhos endémicos de la Mata Atlántica, que requieren hábitats continuos y conectados. No obstante, la estabilidad climática proyectada hacia 2070 posiciona a la Araucaria moist forests como un refugio estratégico para la conservación futura. En este sentido, ampliar la cobertura de áreas protegidas, priorizar las que más aportan a la conectividad y fortalecer los corredores ecológicos se presentan como acciones urgentes para garantizar la resiliencia del bioma y la persistencia de sus especies únicas frente al cambio climático y la presión antrópica.

Referencias

- Claudino, R. M., Motta-Junior, J. C., & Antonini, Y. (2018). Owl assemblages in fragments of Atlantic Forest in Brazil. *Ornitología Neotropical*, 29, 281–288.
- Rezende, C. L., Scarano, F. R., Assad, E. D., Joly, C. A., Metzger, J. P., Strassburg, B. B. N., Tabarelli, M., Fonseca, G. A. B. da, & Mittermeier, R. A. (2018). From hotspot to honespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 16(4), 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002>
- Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J., & Hirota, M. M. (2009). The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest

- distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, 142(6), 1141–1153. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>
- Saura, S., Bastin, L., Battistella, L., Mandrici, A., & Dubois, G. (2017). Protected areas in the world's ecoregions: How well connected are they? *Ecological Indicators*, 76, 144–158. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.047>
- Saura, S., & Pascual-Hortal, L. (2007). A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning*, 83(2–3), 91–103. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.03.005>
- UNEP-WCMC, IUCN, & NGS. (2021). *Protected Planet: The World Database on Protected Areas (WDPA)* [Dataset]. Cambridge, UK: UNEP-WCMC. Retrieved from <https://www.protectedplanet.net>