

Evaluación de la conectividad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Nicaragua.

Trabajo de fin de curso

Elaborado por: Armando Dans

Introducción

El sistema nacional de áreas protegidas de Nicaragua (SINAP) se creó en la década de los 90s para conservar ecosistemas claves y áreas de importancia ecológica y arqueológicas. Sin embargo, no hay evidencia que la conectividad ecológica fue parte esencial de su diseño. Lamentablemente el contexto de Nicaragua se caracteriza por una acelerada deforestación incluyendo las áreas protegidas (APs), debido principalmente a la expansión agropecuaria y proyectos de infraestructura (Jordan & Hulse, 2010; MARENA, 2017). A medida que se intensifica la deforestación y la expansión de la frontera agrícola, evaluar la eficacia del sistema de APs **para facilitar la conectividad es una necesidad urgente. Este proyecto examina si el diseño actual de las APs de Nicaragua cumple con su rol como conectores funcionales y los acuerdos internacionales para conservar la biodiversidad** (CBD & UNEP, 2011; Locke et al., 2019; UN Environmental Program, 2022; Woodley et al., 2019).

Metodología

Área de Estudio y datos

Este proyecto uso como área de estudio las áreas protegidas y ecorregiones de Nicaragua. 78 áreas protegidas (áreas núcleos) conforman el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Nicaragua [*sin incluir reservas de Biosfera ni sitios RAMSAR*], las cuales se encuentran distribuidas en 10 ecorregiones (figura 1) dentro de biomas forestales y no forestales según las capas globales de (Dinerstein et al., 2017).

Ecorregiones y Áreas Protegidas de Nicaragua



Figura 1. Mapa de Ecorregiones y Áreas Protegidas de Nicaragua

Análisis de la conectividad de áreas protegidas

La evaluación de la conectividad ecológica entre áreas protegidas (APs) es fundamental para garantizar la persistencia de especies sensibles al aislamiento, como los grandes mamíferos terrestres, especialmente en paisajes fragmentados como los de Nicaragua (Jordan et al., 2016; Jordan & Hulse, 2010; Panthera, 2000; Schank et al., 2020; Zeller et al., 2011). En este contexto, los indicadores ProtConn y sus fracciones, desarrollados por (Saura et al., 2017, 2018), permiten una evaluación robusta y cuantitativa de la conectividad funcional, considerando no solo la cobertura espacial de las AP, sino también su configuración, tamaño, proximidad, y permeabilidad del entorno.

Dicho esto, se utilizó la función *ProtConn()* y *ProtConnMult()* usando el paquete Makurhini (Godínez-Gómez et al., 2025) en R-studio 2023.06.1 (R Core Team, 2017) para evaluar la conectividad de las áreas núcleos del SINAP en diferentes ecorregiones de Nicaragua. La función *MK_ProtConn()* de Makurhini estima la conectividad de una red de AP dentro de una región, considerando variables ecológicamente relevantes como la distancia de dispersión y la probabilidad de movimiento entre nodos. Para este ejercicio, se evaluó la conectividad de APs dentro de la ecorregión '**Central American Atlantic moist forests**' ubicada en el Noreste del caribe nicaragüense. Por su parte, *MK_ProtConnMult()* amplía este análisis a múltiples regiones o unidades biogeográficas (por ejemplo, ecorregiones), permitiendo comparaciones espaciales y la identificación de brechas de conectividad. En este caso se evaluó la conectividad de APs en todas las ecorregiones del país. Para este análisis, se utilizó una distancia de dispersión de **10Km** con una probabilidad de **0.5**, una distancia

transfronteriza de **50Km** en ambas funciones. También se evaluó el delta para ambas funciones para evaluar individualmente cada APs y cada Ecorregión respectivamente.

Resultados

Evaluación de la conectividad de APs en la Ecorregión *Central American Atlantic moist forests*

Los resultados del ProtConn indican que la ecorregión tiene un 22.16% de su superficie bajo algún tipo de régimen de protección dentro del SINAP. Este valor supera el **Objetivo de Aichi (17%)** y se acerca al nuevo objetivo del **Marco Kunming-Montreal (30%)**, lo cual indica un progreso positivo en cobertura formal (figura 2.). Particularmente la región '*Central American Atlantic moist forests*', **16.75% de su paisaje está protegido y conectado ecológicamente tomando en cuenta una distancia de dispersión de 10Km** (tabla 1). Esto indica que solo el 75.6% de lo que está protegido contribuye funcionalmente a la conectividad ($RelConn = 75.60\%$). Adicionalmente, **5.41%** del paisaje está protegido pero **aislado** funcionalmente desde el punto de vista de conectividad ecológica (i.e., fragmentos sin enlaces funcionales con otras APs). El indicador Unprotected (77.84) revela que más de tres cuartas partes del paisaje no están protegidas ni forman parte de la red de conectividad.

Tabla 1. Indicador ProtConn y sus fracciones para la Ecorregión 'Central American Atlantic moist forests' de Nicaragua.

| Index | Value | ProtConn indicator | Percentage |
|-----------------------------|------------|----------------------|------------|
| EC(PC) | 791544.85 | Prot | 22.1600 |
| PC | 2.8100e-02 | Unprotected | 77.8400 |
| Maximum landscape attribute | 4724944.00 | ProtConn | 16.7525 |
| Protected surface | 1047046.64 | ProtUnconn | 5.4075 |
| | | RelConn | 75.5979 |
| | | ProtConn_Prot | 96.7167 |
| | | ProtConn_Trans | 0.0168 |
| | | ProtConn_Unprot | 3.2666 |
| | | ProtConn_Within | 89.9976 |
| | | ProtConn_Contig | 10.0024 |
| | | ProtConn_Within_Land | 15.0768 |
| | | ProtConn_Contig_Land | 1.6757 |
| | | ProtConn_Unprot_Land | 0.5472 |
| | | ProtConn_Trans_Land | 0.0028 |

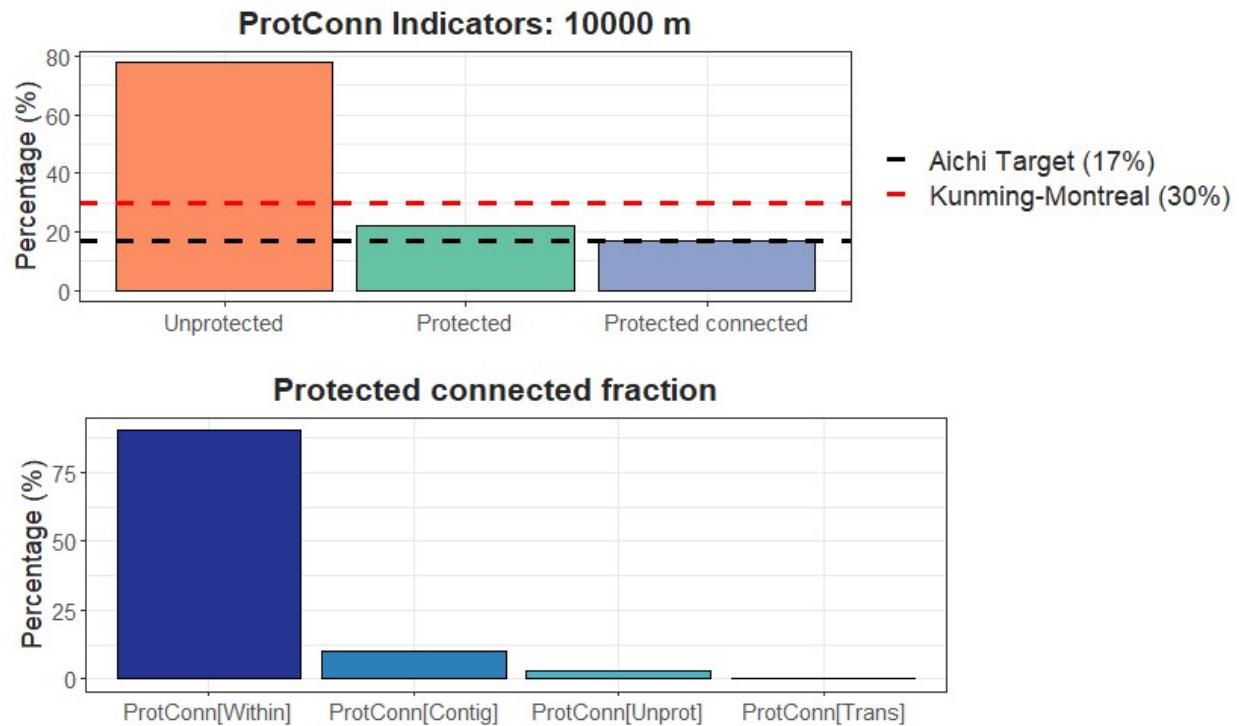


Figura 2. Resultados del indicador ProtConn (Arriba) y sus fracciones (abajo) para la ecorregión '*Central American Atlantic moist forests*' de Nicaragua.

Al evaluar individualmente el aporte de cada APs a la conectividad del paisaje de la ecorregión '*Central American Atlantic moist forests*' de Nicaragua, la reserva Bosawas por sí sola explica más del 64% de la conectividad funcional total del sistema de áreas protegidas de la ecorregión (nodo rojo en figura 3 - izquierda). Adicionalmente, es responsable de más del 70% de la conectividad protegida del sistema (nodo rojo en figura 3 - derecha), lo que refleja su valor único dentro de un enfoque de conservación basado en nodos de red protegidos.

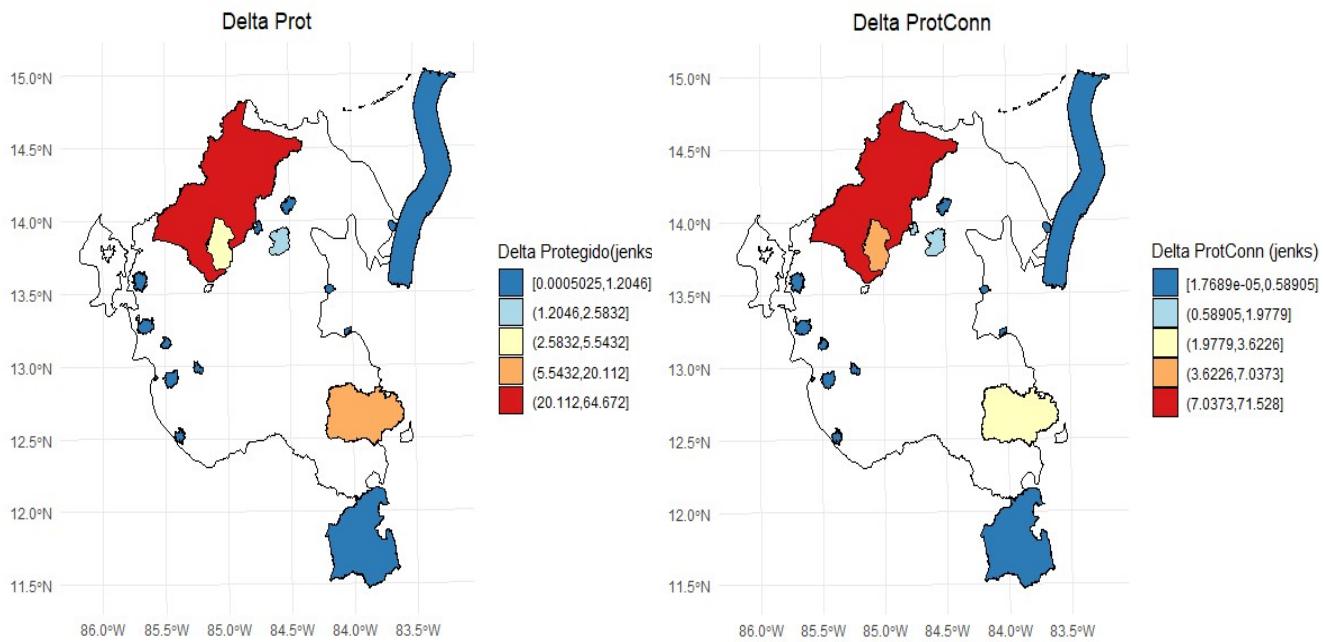


Figura 3. Delta protegido (Izquierda) y Delta Protegido-Conectado (derecha) de la Ecorregión 'Central American Atlantic moist forests' de Nicaragua.

Evaluación de la conectividad de APs en todas las Ecorregiones de Nicaragua

A pesar de que alrededor de 36.5% Nicaragua está bajo alguna categoría de protección; aproximadamente el **29.6%** de la conectividad estructural del paisaje en Nicaragua está efectivamente protegida por el sistema de áreas protegidas del país (tabla 2). Este valor supera ligeramente la Meta de Aichi para la conectividad (17%). Sin embargo, no alcanza la meta más ambiciosa del Marco Global Kunming-Montreal (30%), lo cual indica que se está cerca, pero aún hay margen de mejora en la planificación espacial de la red nacional (figura 4 – arriba). Otro aspecto importante es que gran parte de la conectividad (**ProtConn_Within=72.3%**) ocurre *dentro de las mismas APs* (figura 4 – abajo). Es decir, grandes bloques de conservación continúan siendo funcionales internamente, pero esto no garantiza conectividad entre ellas.

Tabla 2. Indicador ProtConn y sus fracciones para todas las Ecorregiones de Nicaragua.

| ProtConn indicator | Values (%) | SD | SEM | normal.lower | normal.upper | basic.lower | basic.upper | percent.lower | percent.upper | bca.lower | bca.upper |
|-------------------------|------------|--------|-------|--------------|--------------|-------------|-------------|---------------|---------------|-----------|-----------|
| 3 Prot | 36.503 | 27.494 | 8.694 | 19.606 | 53.406 | 19.070 | 52.979 | 20.027 | 53.935 | 21.084 | 55.150 |
| 4 Unprotected | 63.497 | 27.494 | 8.694 | 46.594 | 80.394 | 47.021 | 80.930 | 46.065 | 79.973 | 44.850 | 78.916 |
| 5 ProtConn | 29.582 | 26.313 | 8.321 | 13.648 | 45.551 | 12.364 | 44.391 | 14.773 | 46.800 | 16.428 | 49.366 |
| 6 ProtUnconn | 6.921 | 9.290 | 2.938 | 1.126 | 12.687 | 0.164 | 11.607 | 2.235 | 13.677 | 3.126 | 17.821 |
| 7 RelConn | 65.676 | 28.789 | 9.104 | 49.401 | 82.570 | 50.531 | 82.579 | 48.773 | 80.821 | 45.827 | 79.675 |
| 8 ProtConn_Prot | 76.761 | 18.784 | 5.940 | 65.296 | 88.099 | 65.115 | 88.151 | 65.370 | 88.406 | 65.165 | 87.826 |
| 9 ProtConn_Trans | 6.560 | 8.154 | 2.579 | 1.686 | 11.548 | 1.048 | 10.683 | 2.436 | 12.071 | 3.218 | 13.983 |
| 10 ProtConn_Unprot | 16.680 | 13.035 | 4.122 | 8.769 | 24.603 | 9.104 | 24.754 | 8.606 | 24.255 | 8.762 | 24.512 |
| 11 ProtConn_Within | 72.304 | 17.173 | 5.430 | 61.973 | 82.493 | 61.729 | 83.000 | 61.608 | 82.879 | 61.946 | 83.301 |
| 12 ProtConn_Contig | 27.696 | 17.173 | 5.430 | 17.507 | 38.027 | 17.000 | 38.271 | 17.121 | 38.392 | 16.699 | 38.054 |
| 13 ProtConn_Within_land | 15.378 | 16.416 | 5.191 | 5.849 | 25.204 | 4.863 | 23.743 | 7.014 | 25.893 | 8.549 | 30.581 |
| 14 ProtConn_Contig_land | 6.009 | 6.692 | 2.116 | 2.136 | 9.999 | 1.727 | 9.499 | 2.520 | 10.292 | 3.181 | 11.316 |
| 15 ProtConn_Unprot_land | 2.861 | 2.974 | 0.940 | 1.106 | 4.667 | 0.874 | 4.447 | 1.276 | 4.848 | 1.546 | 5.457 |
| 16 ProtConn_Trans_land | 1.703 | 3.432 | 1.085 | 0.000 | 3.799 | 0.000 | 3.099 | 0.307 | 4.022 | 0.488 | 6.439 |

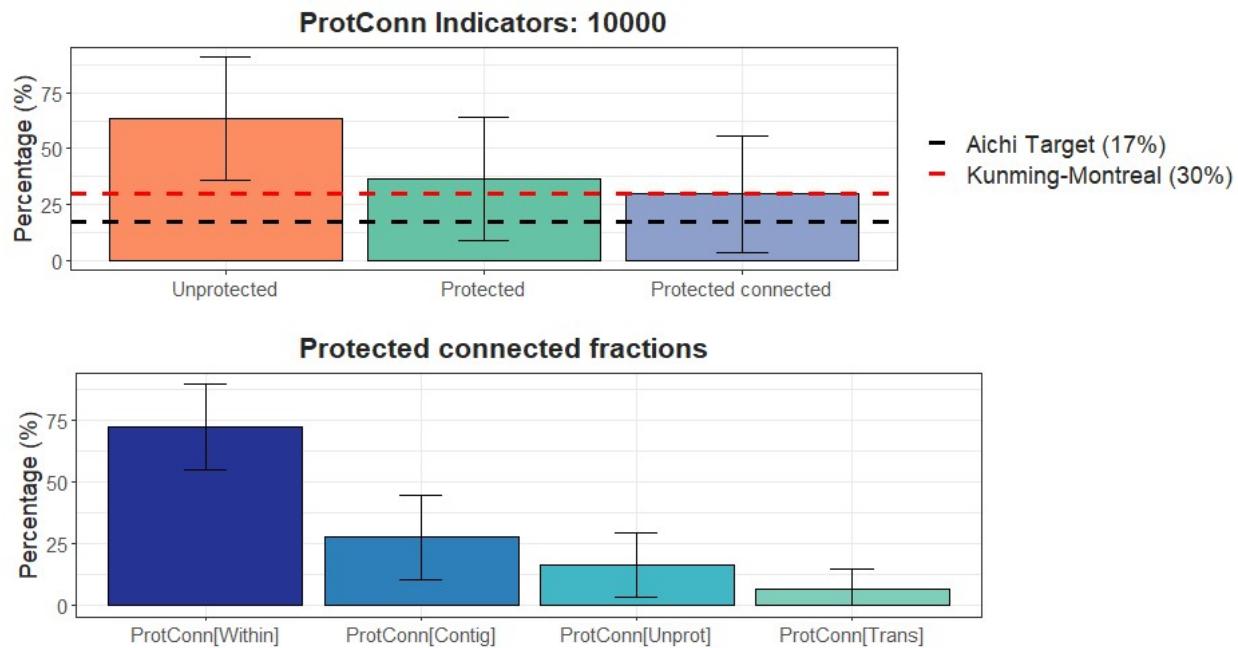


Figura 4. Resultados del indicador ProtConn (arriba) y sus fracciones (abajo) para todas las ecorregiones de Nicaragua.

Al evaluar la conectividad en múltiples regiones del país, la ecorregión *Southern Mesoamerican Pacific mangroves* correspondiente a los manglares del Pacífico, muestra una red muy bien estructurada, con valores cercanos al 90% de conectividad asegurada dentro de APs de esta región (Nodos rojos al Oeste en figura 5). Por el contrario, los bosques secos del pacífico (*Central American dry forests*), esta ecorregión (nodos Verde Selva en el Oeste de figura 5) presenta una extremadamente baja protección y conectividad

(ProtConn=3.17%). Aunque casi el 64% del paisaje de esta región es estructuralmente conectable (RelConn), gran parte de esa conectividad depende de áreas no protegidas y transfronterizas.

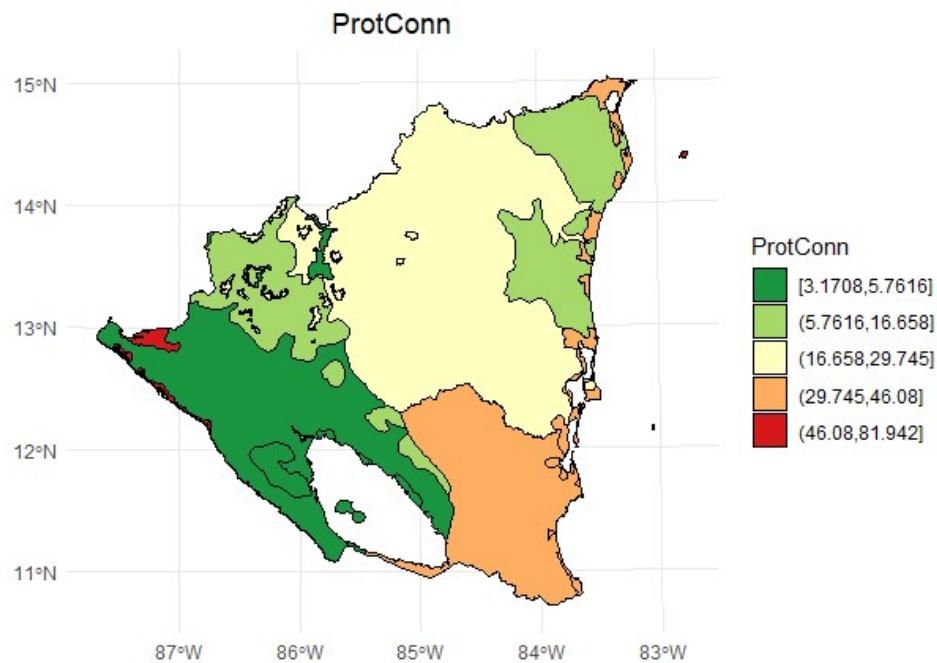


Figura 5. Delta Protegido-Conectado para todas las Ecorregiones de Nicaragua.

Discusión

Los resultados encontrados para la ecorregión “Central American Atlantic moist forests” sugieren que a pesar de que el 22.16% del paisaje está protegido, solo 16.75% contribuye efectivamente a la conectividad, lo cual limita la funcionalidad ecológica del sistema para especies terrestres que requieren movimiento entre parches. La alta dependencia de la conectividad interna (ProtConn[Within]) sugiere que las áreas protegidas están funcionando como islas conservadas, lo que podría generar aislamiento poblacional, reducción de flujo génico y vulnerabilidad ecológica. Adicionalmente, La Reserva Natural Bosawas, como nodo dominante en la red de conectividad, aporta más del 70% del índice total ProtConn de esta ecorregión. Esta extraordinaria contribución refleja su amplia superficie, ubicación estratégica y capacidad de conectar múltiples áreas protegidas, actuando como núcleo principal de conectividad ecológica. Estos resultados coinciden con estudios previos (Petracca et al., 2014; Rabinowitz & Zeller, 2010; Schank et al., 2020), que señalan a Bosawas como una de las áreas de mayor importancia para la conservación de biodiversidad en Mesoamérica. Su peso desproporcionado en el índice dProtConn

evidencia que la resiliencia del sistema depende críticamente de su integridad ecológica, y su pérdida o degradación tendría efectos drásticos sobre la conectividad regional.

Los resultados del análisis de conectividad ecológica entre ecorregiones de Nicaragua revelan importantes contrastes espaciales que reflejan desigualdades en la planificación territorial del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). Si bien el país presenta una cobertura formal relativamente alta (~36.5%), los valores del índice ProtConn indican que solo un 29.6% del paisaje nacional está protegido y funcionalmente conectado. Esto evidencia que una parte sustancial de la red nacional no contribuye de manera efectiva a la conectividad ecológica entre áreas protegidas, particularmente para especies que requieren grandes extensiones de hábitat continuo como los mamíferos terrestres (Brodie et al., 2025; Rabinowitz & Zeller, 2010; Schank et al., 2020). Es necesario mencionar que el análisis a nivel de múltiples ecorregiones tomando en cuenta todas las APs de Nicaragua, incluye áreas marinas, por tanto, esto afecta los resultados y se recomienda volver a correr los análisis a nivel de país únicamente considerando las APs terrestres.

La desconexión funcional observada se ve agravada por el hallazgo de que más del 72% de la conectividad protegida ocurre dentro de las mismas APs (ProtConn[Within]), indicando que muchas de estas funcionan como islas de conservación. Tal patrón implica una pérdida de funcionalidad del paisaje para el flujo de organismos y reduce la resiliencia del sistema frente a disturbios, como el cambio climático o eventos de deforestación acelerada (Jordan et al., 2016; Saura et al., 2018).

Conclusión

Este estudio evaluó la conectividad funcional del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) de Nicaragua a través del análisis ProtConn y ProtConnMult, evidenciando importantes limitaciones en su capacidad para sostener procesos ecológicos a escala de paisaje. A pesar de una cobertura protegida nacional del 36.5%, solo el 29.6% del país está efectivamente protegido y conectado. La mayoría de esta conectividad ocurre dentro de las propias áreas protegidas, revelando una estructura de red fragmentada y funcionalmente aislada. Algunas ecorregiones, como los bosques húmedos atlánticos, contribuyen desproporcionadamente a la conectividad nacional, mientras que otras, como los bosques secos del Pacífico, exhiben valores críticamente bajos.

Estos hallazgos sugieren que el SINAP no fue diseñado con criterios de conectividad ecológica, lo que representa un obstáculo para la conservación de especies sensibles al aislamiento y para el cumplimiento de las metas del Marco Global de Biodiversidad de Kunming-Montreal. Por tanto, se requiere una reestructuración del sistema basada en

planificación espacial ecológica, que priorice corredores funcionales, restauración de paisajes fragmentados y ampliación estratégica de la red de áreas protegidas. Solo así se podrá garantizar la persistencia de la biodiversidad y la funcionalidad ecológica a largo plazo.

Referencias

- Brodie, J. F., Gonzalez, A., Mohd-Azlan, J., Nelson, C. R., Tabor, G., Vasudev, D., Zeller, K. A., & Fletcher, R. J. (2025). A well-connected Earth: The science and conservation of organismal movement. In *Science (New York, N.Y.)* (Vol. 388, Issue 6745, p. eadn2225). <https://doi.org/10.1126/science.adn2225>
- CBD, & UNEP. (2011). *Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020 and the Aichi Targets “Living in Harmony with Nature.”*
- Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N. D., Wikramanayake, E., Hahn, N., Palminteri, S., Hedao, P., Noss, R., Hansen, M., Locke, H., Ellis, E. C., Jones, B., Barber, C. V., Hayes, R., Kormos, C., Martin, V., Crist, E., ... Saleem, M. (2017). An Ecoregion-Based Approach to Protecting Half the Terrestrial Realm. In *BioScience* (Vol. 67, Issue 6, pp. 534–545). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix014>
- Godínez-Gómez, O., Correa-Ayram, C., Goicolea, T., & Saura, S. (2025). *Makurhini: An R package for comprehensive analysis of landscape fragmentation and connectivity.* <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6398746/v1>
- Jordan, C. A., & Hulse, K. R. (2010). Estado de la biodiversidad terrestre de la Región Autónoma Atlántico Sur (RAAS), Nicaragua. *Ciencia e Interculturalidad*, 7(2), 134. <https://doi.org/10.5377/rcl.v7i2.479>
- Jordan, C. A., Schank, C. J., Urquhart, G. R., & Dans, A. J. (2016). Terrestrial mammal occupancy in the context of widespread forest loss and a proposed interoceanic canal in Nicaragua's decreasingly remote south Caribbean region. *PLoS ONE*, 11(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151372>
- Locke, H., Ellis, E. C., Venter, O., Schuster, R., Ma, K., Shen, X., Woodley, S., Kingston, N., Bhola, N., Strassburg, B. B. N., Paulsch, A., Williams, B., & Watson, J. E. M. (2019). Three global conditions for biodiversity conservation and sustainable use: An implementation framework. In *National Science Review* (Vol. 6, Issue 6, pp. 1080–1082). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwz136>

MARENA. (2017). *Study of the causes of deforestation and forest degradation in Nicaragua “The problem of forest carbon inventories and the strategic focus of the ENDE-REDD+ Program to attend these causes on a national level”*.

Panthera. (2000). *The jaguar corridor initiative. Creating Safe Passage for Jaguars Now and into the Future*. 8.

Petracca, L. S., Hernández-Potosme, S., Obando-Sampson, L., Salom-Pérez, R., Quigley, H., & Robinson, H. S. (2014). Agricultural encroachment and lack of enforcement threaten connectivity of range-wide jaguar (*Panthera onca*) corridor. *Journal for Nature Conservation*, 22(5), 436–444. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2014.04.002>

R Core Team. (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Rabinowitz, A., & Zeller, K. A. (2010). A range-wide model of landscape connectivity and conservation for the jaguar, *Panthera onca*. *Biological Conservation*, 143(4), 939–945. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.01.002>

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., Bartzky, B., Bastin, L., Battistella, L., Mandrici, A., & Dubois, G. (2018). Protected area connectivity: Shortfalls in global targets and country-level priorities. *Biological Conservation*, 219, 53–67. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.12.020>

Schank, C. J., Cove, M. V., Arima, E. Y., Brandt, L. S. E., Brenes-Mora, E., Carver, A., Diaz-Pulido, A., Estrada, N., Foster, R. J., Godínez-Gómez, O., Harmsen, B. J., Jordan, C. A., Keitt, T. H., Kelly, M. J., Méndez, J. S., Mendoza, E., Meyer, N., Montuy, G. P., Naranjo, E. J., ... Miller, J. A. (2020). Population status, connectivity, and conservation action for the endangered Baird's tapir. *Biological Conservation*, 245. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108501>

UN Environmental Program. (2022). DECISION ADOPTED BY THE CONFERENCE OF THE PARTIES TO THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY 15/4. Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. In *CBD*. <https://www.cbd.int/conferences/post2020CBD/WG8J/11/7,CBD/SBSTTA/23/9,CBD/SBSTTA/24/12andCBD/SBI/3/21,respectively>.

Woodley, S., Locke, H., Laffoley, D., MacKinnon, K., Sandwith, T., & Smart, J. (2019). A review of evidence for area-based conservation targets for the post-2020 global

biodiversity framework. *PARKS*, 25.2, 31–46.

<https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2019.parks-25-2sw2.en>

Zeller, K. A., Nijhawan, S., Salom-Pérez, R., Potosme, S. H., & Hines, J. E. (2011). Integrating occupancy modeling and interview data for corridor identification: A case study for jaguars in Nicaragua. *Biological Conservation*, 144(2), 892–901.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.12.003>