

1. Introducción:

En los últimos dos siglos diferentes actividades humanas están ocasionando una pérdida de la extraordinaria biodiversidad del planeta, transformando y degradando ecosistemas y ocasionando la pérdida de especies y genes en escalas espaciales y temporales sin precedentes (Cardinale et al. 2012).

En las últimas décadas, la información y preocupación acerca de la pérdida de biodiversidad han incrementado, como respuesta a esto han surgido varias estrategias para intentar detener y revertir esta pérdida. Las áreas protegidas (AP) son uno de los instrumentos más importantes para la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, para que funcionen efectivamente deben estar manejadas y distribuidas de forma que puedan mantener poblaciones viables de las especies que habitan en esos sitios, así como los procesos ecosistémicos que ocurren en ellos (Castillo et al. 2020). En este sentido, se han establecido metas de conservación en convenios internacionales para promover estas acciones en los países que los firman. En particular el Convenio sobre la Diversidad biológica (CDB) publicó 20 metas en Aichi (2010) y en 2020 un nuevo conjunto en Kunming-Montreal para atender diferentes aspectos de la pérdida de la biodiversidad. Con respecto a las áreas protegidas, en las metas de Aichi, se estableció que para 2020 al menos 17% de las zonas terrestres y aguas continentales y 10% de las zonas marinas y costeras debían ser conservadas con sistemas de áreas protegidas y otros instrumentos territoriales, administrados de forma eficaz, ecológicamente representativos y con conectividad. Posteriormente, en las metas de Kunming-Montreal, se establece que, para el 2030 30% de los ecosistemas terrestres, acuáticos epicontinentales, marinos y costeros se conservan y manejan efectivamente por medio de áreas protegidas y otros instrumentos basados en áreas que sean ecológicamente representativos, estén bien conectados y sean gobernados equitativamente reconociendo los territorios indígenas y tradicionales, cuando aplique (CBD 2025).

México es uno de los países con mayor diversidad biológica en el mundo, la cual está muy relacionada con su diversidad cultural. Dentro de los ecosistemas que existen en México, los biomas de selvas y bosques albergan una gran riqueza de especies (Sarukhán et al. 2017). Esto hace de gran importancia que se implementen acciones para su conservación. Este trabajo calcula la cobertura de Áreas naturales protegidas y conectadas en las ecorregiones de biomas boscosos del país para evaluar esos dos aspectos del cumplimiento de las metas, así como identificar en los que es necesario reforzar acciones para conservar la biodiversidad.

2. Metodología:

Área de estudio

a) Ecorregiones de biomas boscosos

Para este análisis utilicé las ecorregiones de biomas boscosas (Dinerstein et al. 2017) que se encuentran en México. Estas ecorregiones representan unidades espaciales

definidas por características ecológicas y se han utilizado en varios estudios para evaluar la conectividad y representatividad de los sistemas de áreas protegidas a escalas regionales (Castillo et al. 2020). El bioma de los bosques tropicales y subtropicales es el que presenta el mayor número de ecorregiones y de especies (Dinerstein et al. 2017).

b) Pantanos de Centla

La ecorregión de Pantanos de Centla está conformada por humedales boscosos ubicados en el estado de Tabasco, México. Se encuentra en el delta de los ríos Usumacinta y Grijalva, es un extenso sistema de humedales con una gran biodiversidad que incluye manglares, esteros y bosques, además es un refugio crucial para diversas especies de aves, reptiles y mamíferos, como el manatí (oneearth 2025).

El clima costero de esta región es de tipo cálido sub-húmedo con lluvias en verano (García y Conabio 1998). La precipitación media anual varía entre los 1,686 mm a 2,399 mm, la temperatura media anual oscila entre 21.7 y 24.7 °C. Estos humedales costeros se caracterizan por presentar en su mayor parte planicies y suelos de drenaje deficiente tipo Gleysol, Fluvisol y Solonchak. El gradiente de la influencia fluvial en la región es muy notorio empezando en la zona de Pantanos de Centla que conforma el delta de los ríos Usumacinta - Grijalva, hasta la zona cárstica y carente de afluentes superficiales en la región este de Campeche.

Análisis

Utilicé la capa de ANP de América Latina y las ecorregiones de biomas boscosas (Dinerstein et al. 2017) recortadas para México. Posteriormente se calculó el índice ProtConn (Saura et al. 2017) para evaluar la conectividad de la red de áreas protegidas dentro de ecorregiones boscosas de México **y de la ecorregión Pantanos de Centla y dentro.**

El índice ProtConn se basa en el índice de Probabilidad de conectividad y ECA que con métricas de grafos calculan conectividad dentro de los parches y entre ellos. De esta forma, da información acerca de la conectividad de la red de AP y ayuda a identificar prioridades para mejorarla. Se ha utilizado en varios estudios para evaluar el progreso de los países o regiones hacia las metas establecida por el CDB.

Se calculó la función Función MK_ProtConn() para la ecorregión Pantanos de Centla. Esta función calcula el porcentaje de superficie protegida y conectada para el área seleccionada, así como la contribución de cada área protegida para mantener la conectividad en ella. Adicionalmente, se calculó la función ProtConn bound, que corrige los cálculos en caso de que haya barreras naturales que puedan estar afectando el cálculo del ProtConn. También se estimó el varProtConn para saber cuánta variabilidad tiene el ProtConn ante diferentes condiciones.

Posteriormente, se calculó la función MK_ProtConnMult() para todas las ecorregiones boscosas de México, para ver qué regiones cuentan con mayor superficie protegida y conectada y así saber en dónde es necesario fortalecer la creación de áreas protegidas.

3. Resultados:

Función MK_ProtConn() para la ecorregión Pantanos de Centla

La figura y tabla 1 muestran que, en la ecorregión Pantanos de Centla las áreas protegidas cubren 28.3% de su superficie, de la cuál casi toda (26.21%) se encuentra protegida y conectada (Figura 1 y Tabla 1). Estos valores están cerca del que marca la meta de Kunming Montreal para estos dos aspectos. Sin embargo, es importante notar que el indicador ProtConn Within tiene un valor de 64.16% (Tabla 1), lo que indica que el valor de ProtConn se debe en gran medida a las superficies de las AP. El valor de ProtConn Contig 35.8% lo que indica que hay pocas AP distribuidas de forma contigua y ProtConn Trans, que indica la conectividad aportada por AP fuera de la ecorregión es de 1.44% portada por conexiones transfronterizas.

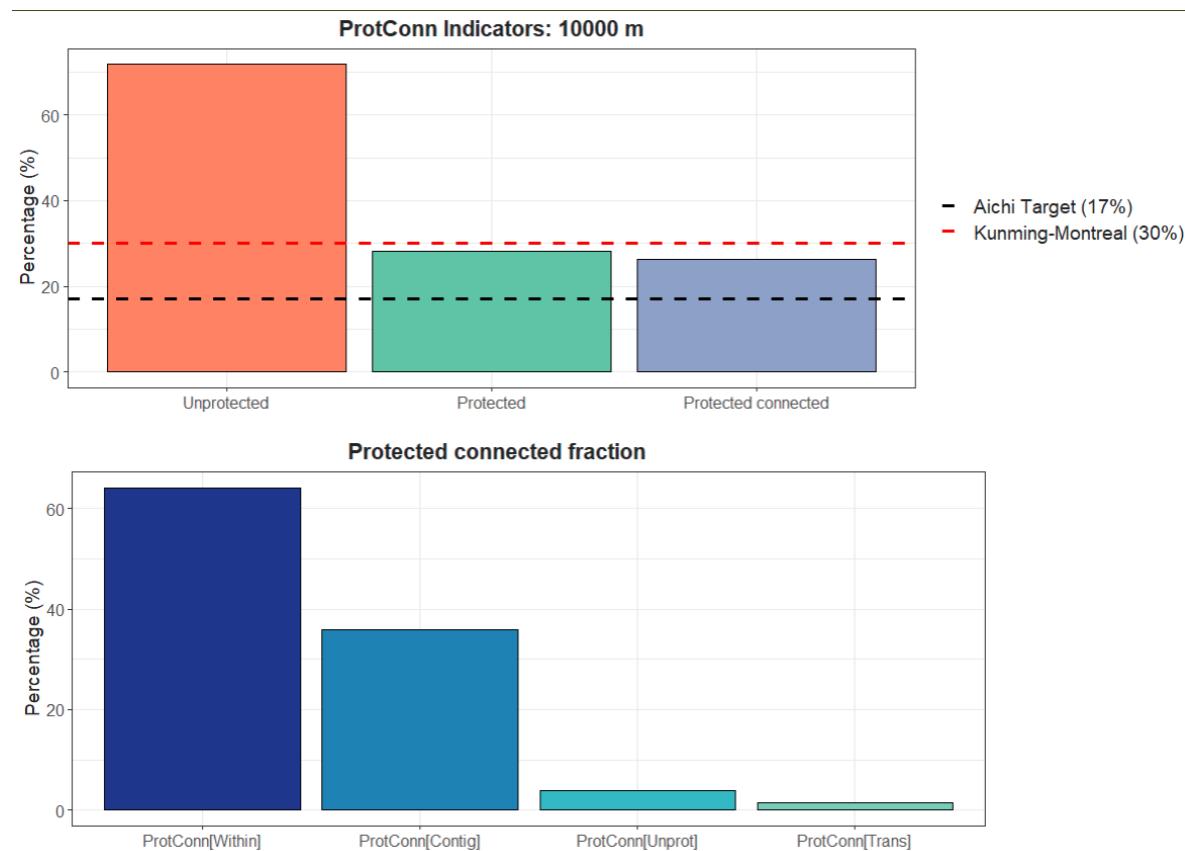


Figura 1. Índice ProtConn en la ecorregión Pantanos de Centla

Index	Value	ProtConn indicator	Percentage
EC(PC)	450715.39	Prot	28.2778
PC	6.8700e-02	Unprotected	71.7222
Maximum landscape attribute	1719289.27	ProtConn	26.2152
Protected surface	486178.02	ProtUnconn	2.0626
		RelConn	92.7058
		ProtConn_Prot	94.7222
		ProtConn_Trans	1.4463
		ProtConn_Unprot	3.8316
		ProtConn_Within	64.1657
		ProtConn_Contig	35.8343
		ProtConn_Within_land	16.8212
		ProtConn_Contig_land	9.3940
		ProtConn_Unprot_land	1.0045
		ProtConn_Trans_land	0.3791

Tabla 1. Índice ProtConn en la ecorregión Pantanos de Centla

La figura 2 y tabla 2 muestran los valores del ProtConn bound o corregido, es decir quitando barreras geográficas grandes. Los valores son casi iguales a los del ProtConn sin esta corrección, lo que indica que en esta región no hay barreras naturales que afecten al primer análisis.

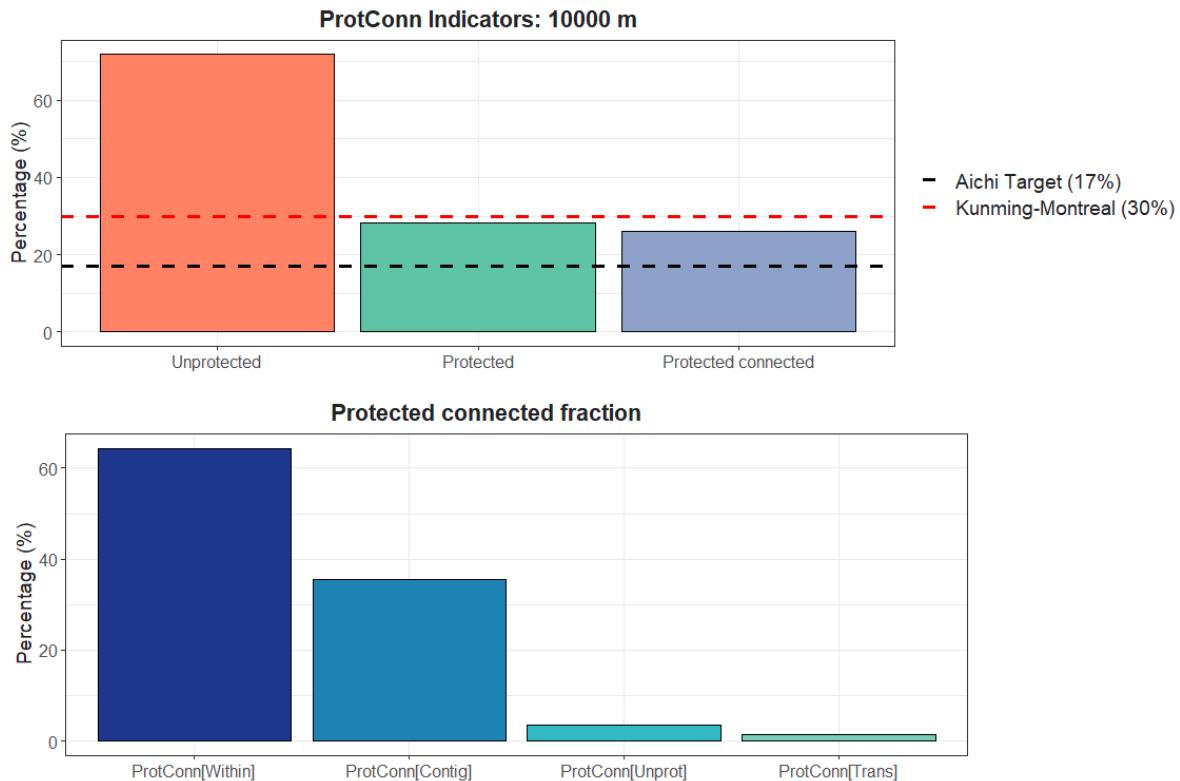


Figura 2. Índice ProtConn corregido para la ecorregión Pantanos de Centla

Index	Value	ProtConn indicator	Percentage
EC(PC)	450715.39	Prot	28.2778
PC	6.8700e-02	Unprotected	71.7222
Maximum landscape attribute	1719289.27	ProtConn	26.2152
Protected surface	486178.02	ProtUnconn	2.0626
		ProtUnconn_Design	2.0626
		ProtConn_Bound	26.2152
		RelConn	92.7058
		ProtConn_Prot	94.7222
		ProtConn_Trans	1.4463
		ProtConn_Unprot	3.8316
		ProtConn_Within	64.1657
		ProtConn_Contig	35.8343
		ProtConn_Within_land	16.8212
		ProtConn_Contig_land	9.3940
		ProtConn_Unprot_land	1.0045
		ProtConn_Trans_land	0.3791

Tabla 2. Índice ProtConn corregido para la ecorregión Pantanos de Centla

Los valores de deta Prot y Deta ProtConn muestran en la ecorregión, el AP Pantanos de Centla tiene la mayor contribución para la conectividad, seguido de Laguna de términos. Es importante señalar que las dos son las áreas protegidas de mayor tamaño.

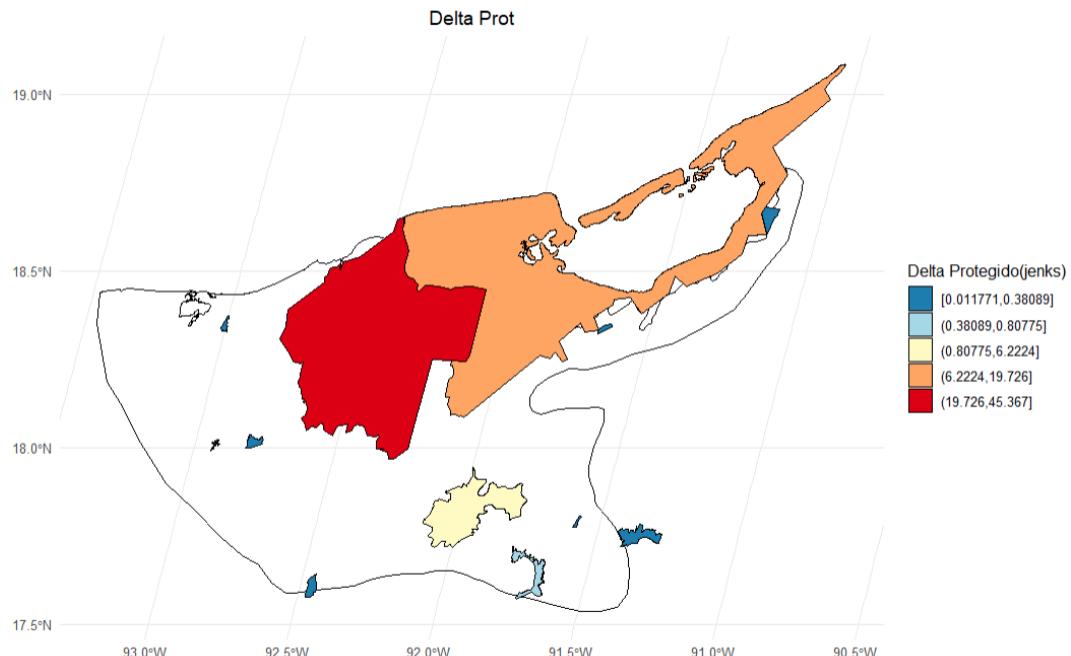


Figura 3. Contribución de las áreas protegidas a la superficie bajo protección (delta prot) en la ecorregión Pantanos de Centla

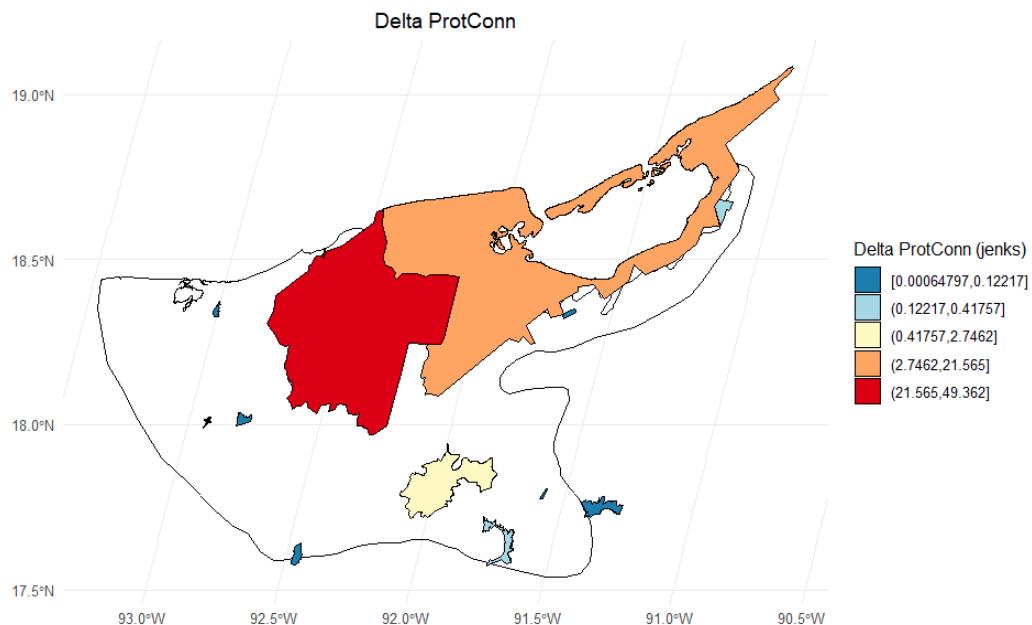


Figura 4. Contribución de las áreas protegidas a la superficie protejada y conectada (delta protconn) en la ecorregión Pantanos de Centla

También es importante destacar que las dos AP que contribuyen más a la superficie conectada y protegida de la región, presentan valores altos de varianza del índice. Esto representa la pérdida neta que implicaría perder estas áreas.

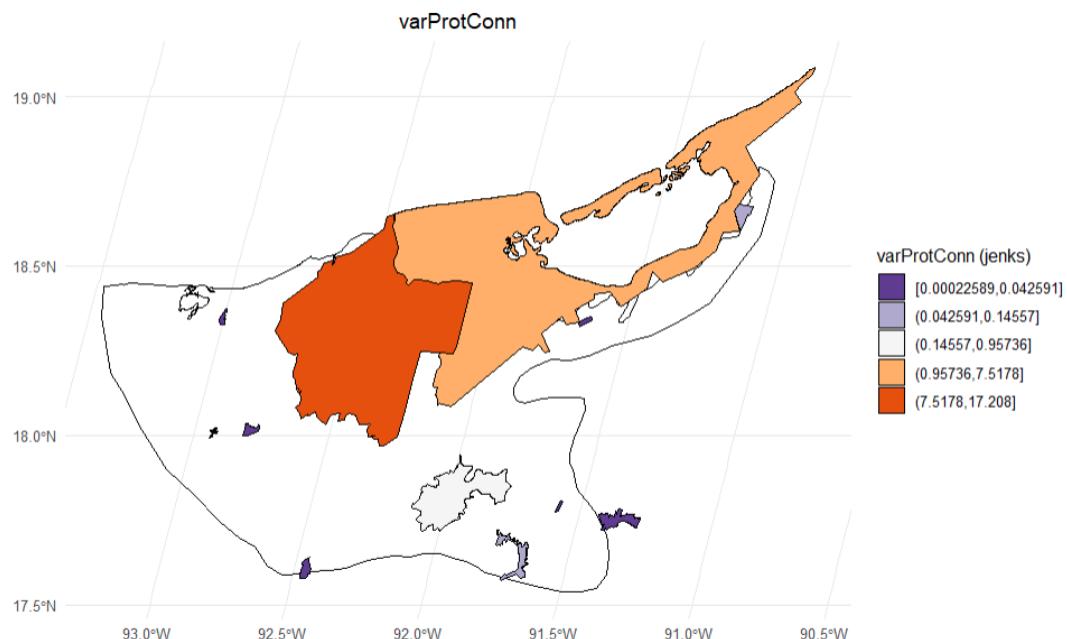


Figura 5. Variación absoluta de ProtConn

Función MK_ProtConnMult()

Los resultados del índice ProtConnMult, muestran que, para el conjunto de ecorregiones de biomas boscosos en México, en promedio 12.47% de la superficie está protegida con ANP y 9.96% está bajo ANP conectadas. Estas cifras están por debajo de las establecidas en las metas del CDB. El valor de Protconn Within es de 79.24%, lo que indica que la superficie de las AP tiene un gran peso en el valor de la superficie protegida y conectada. El valor de ProtConn Contig es de 20.75%, lo que indica que muchas de las AP en estas regiones no están contiguas. Finalmente, el valor de ProtConnUnprot es de 12% lo que indica que las AP en estas ecorregiones en general están aisladas (tabla 3 y figura 6).

ProtConn indicator	Values (%)	SD	SEM	normal.lower	normal.upper	basic.lower	basic.upper	percent.lower	percent.upper	bca.lower	bca.upper
3 Prot	12.479	18.555	3.388	6.101	18.690	5.231	17.590	7.368	19.727	8.437	23.538
4 Unprotected	87.521	18.555	3.388	81.310	93.899	82.410	94.769	80.273	92.632	76.462	91.563
5 ProtConn	9.964	17.719	3.235	3.821	15.976	3.104	14.815	5.114	16.825	6.125	20.685
6 ProtUnconn	2.515	2.998	0.547	1.513	3.481	1.443	3.409	1.620	3.586	1.702	3.680
7 RelConn	62.393	28.430	5.191	52.757	72.181	52.472	72.335	52.451	72.313	52.137	72.198
8 ProtConn_Prot	84.071	14.341	2.618	79.749	89.630	79.979	89.846	79.495	89.362	78.973	89.128
9 ProtConn_Trans	3.090	4.440	0.811	1.520	4.626	1.417	4.397	1.782	4.762	1.918	5.196
10 ProtConn_Unprot	12.240	12.419	2.267	7.944	16.531	7.518	16.184	8.296	16.961	8.729	17.750
11 ProtConn_Within	79.244	17.988	3.284	73.186	85.478	73.425	85.592	72.895	85.062	73.177	85.135
12 ProtConn_Contig	20.756	17.988	3.284	14.522	26.814	14.408	26.575	14.938	27.105	14.865	26.823
13 ProtConn_Within_Land	7.022	16.764	3.061	1.245	12.758	0.436	10.897	3.147	13.608	3.750	18.911
14 ProtConn_Contig_Land	1.593	2.266	0.414	0.749	2.373	0.707	2.309	0.877	2.479	0.931	2.544
15 ProtConn_Unprot_Land	0.779	1.011	0.185	0.424	1.122	0.399	1.101	0.456	1.159	0.491	1.182
16 ProtConn_Trans_Land	0.221	0.339	0.062	0.098	0.337	0.088	0.328	0.114	0.354	0.121	0.364

Tabla 3. Indicadores de ProtConn para las ecorregiones boscosas de México

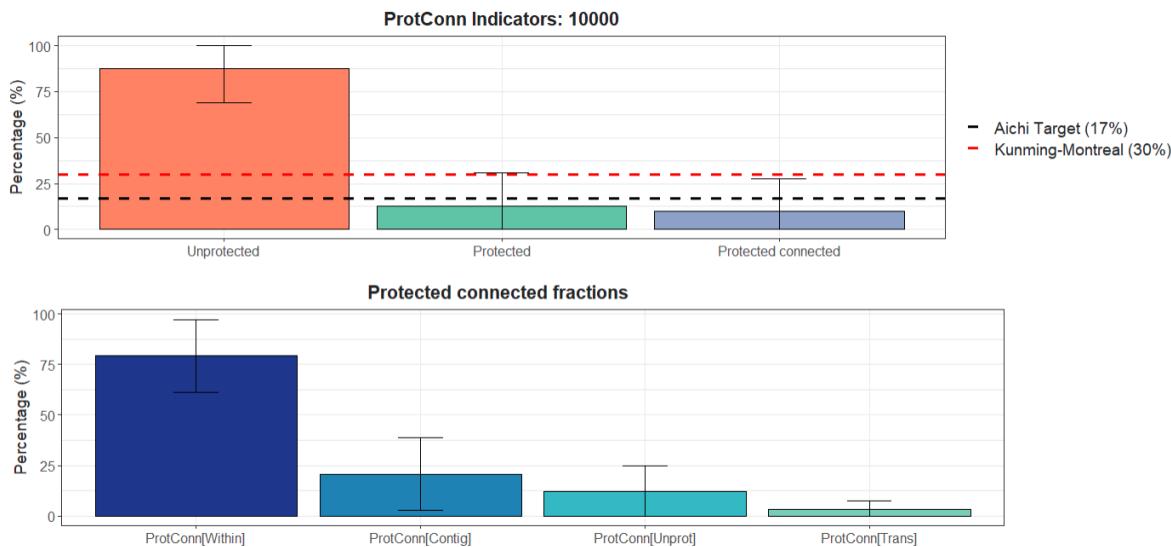


Figura 6. Indicadores de protconn y fracciones para las ecorregiones boscosas de México

Si lo vemos a nivel de ecorregión, siete polígonos tienen valores superiores a 11% (ver csv anexo), en el caso de *Isla Revillagigedo dry forests* el valor es de 95% pero esto se

debe a que la sección ecorregión coincide con un AP. En la mayoría de las ecorregiones los valores están por debajo de la meta de Aichi y de la de Kunming-Montreal.

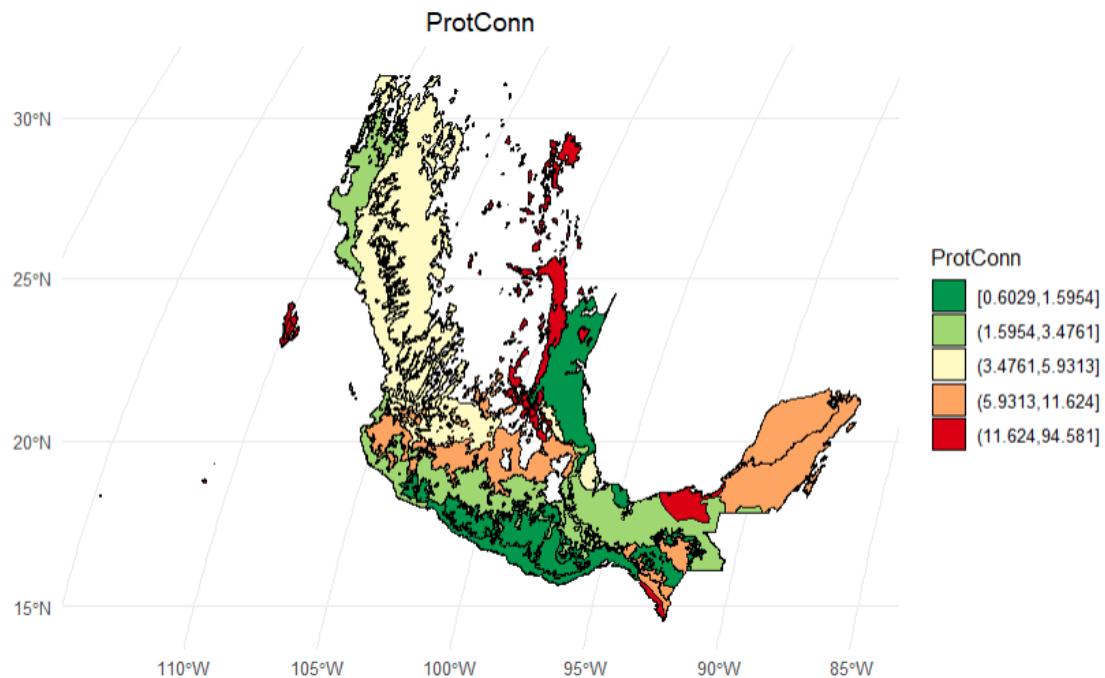


Figura 7. ProtConn para ecorregiones boscosas de México

Los valores de ProtConn Unprot más bajos nos indican que las AP en esas ecorregiones están aisladas. Es importante notar que AP con valores altos de ProtConn tienen valores bajos en este indicador.

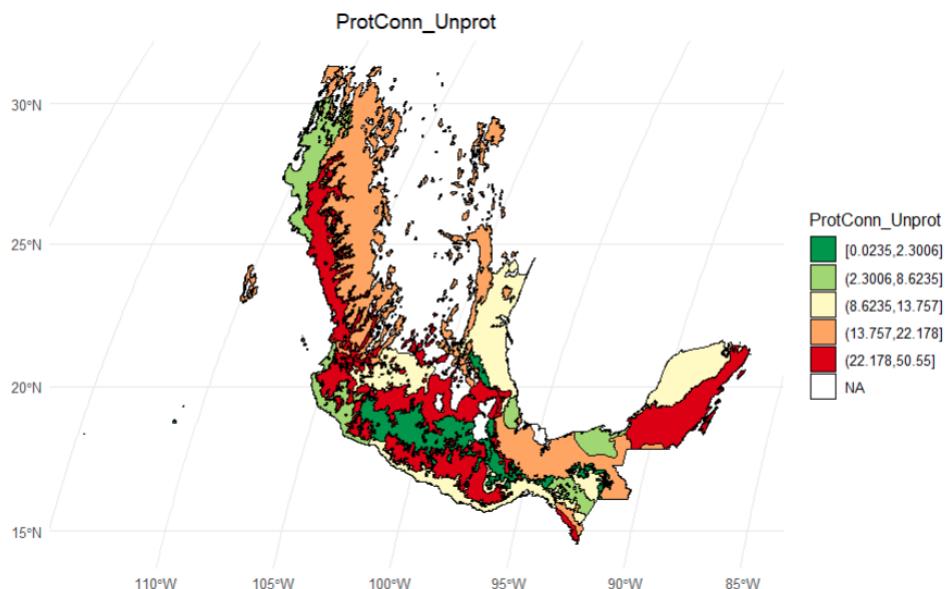


Figura 8. ProtConn_Unprot para ecorregiones boscosas de México

Las áreas con valores altos de ProtConWithin son aquellas cuyo valor de ProtConn depende mucho de la superficie de las áreas protegidas que se encuentran en ellas. En este caso son pocas las ecorregiones con valores altos.

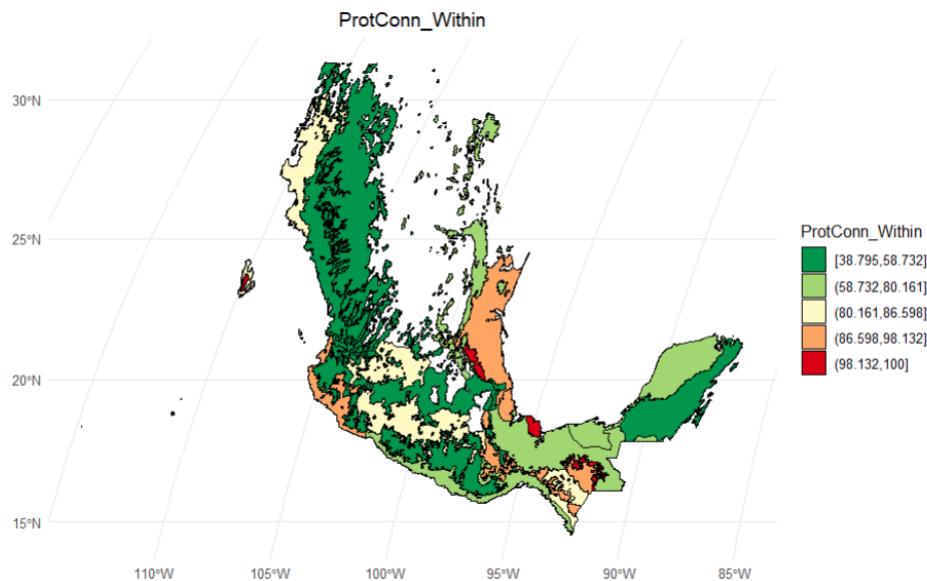


Figura 9. ProtConn_Within para ecorregiones boscosas de México

Los valores más altos de ProtConn Contig nos indican qué ecorregiones tienen sistemas de áreas protegidas con una distribución continua y que forman corredores. En este caso hay varias ecorregiones tienen valores más altos.

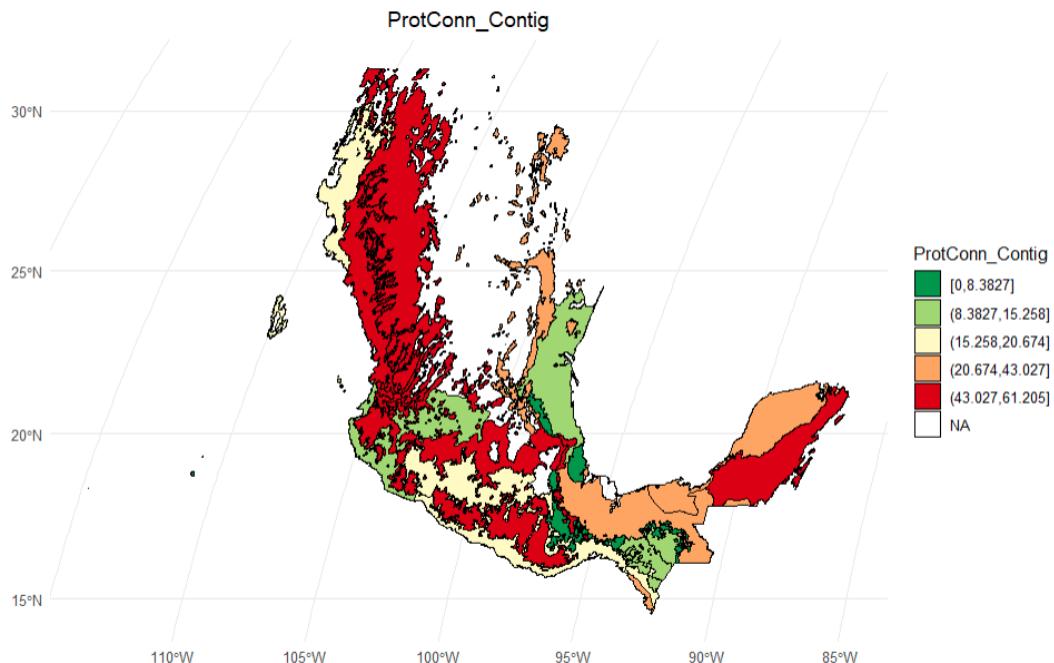


Figura 10. ProtConn_Contig para ecorregiones boscosas de México

Los valores más altos de ProtConn Trans nos indican las ecorregiones que tienen áreas protegidas que dependen de las AP fuera de los límites de la ecorregión. Para el caso de estas ecorregiones de México, solo las del suroeste del país tienen valores bajos.

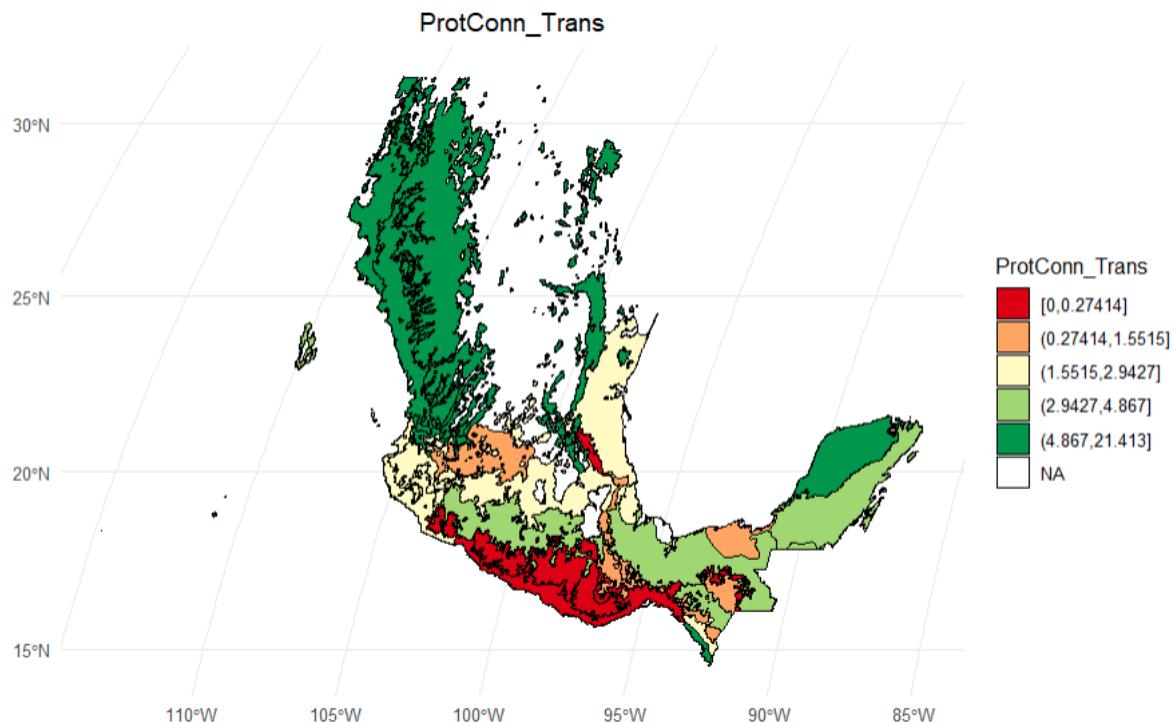


Figura 11. ProtConn_trans para ecorregiones boscosas de México

4. Discusión:

Las ecorregiones de biomas boscosos en México en promedio presentan valores bajos del índice ProtConn, aunque algunas destacan por sus valores altos, es importante considerar que esto se debe al tamaño de las ecorregiones. En particular, Pantanos de Centla (26.21%), Sierra de la Laguna pine-oak forests (35.46%) y, Islas Revillagigedo dry forests (94.5%) son las que presentan los valores más altos. Por otro lado, las ecorregiones de Sierra de los Tuxtlas, Chiapas montane forests y Sierra Madre del Sur pine-oak forests presentan valores menores a 1 (véase csv anexo).

Estos resultados nos indican que es necesario fortalecer las acciones para implementar áreas naturales en los ecosistemas boscosos de México de forma que cubran una mayor superficie. Sin embargo, es importante notar que estos análisis solo consideran la superficie y distribución de las AP, no la efectividad de su manejo, el estado de sus ecosistemas y poblaciones biológicas, así como aspectos del movimiento de individuos entre las PA, ni los aspectos de su gobernanza, por lo que se requerirían estudios más detallados para tener una evaluación que incluya todos los aspectos de las metas del CDB.

Por otro lado, es importante considerar que en México existen varios instrumentos para conservar la biodiversidad en los ecosistemas, como las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre, esquemas de pagos por servicios ambientales, ordenamientos territoriales, entre otros (Pisanty et al. 2016). Aunque estos instrumentos no cuentan con mapas estandarizados y actualizados como los de las AP, sería deseable incluirlos en este tipo de análisis para poder evaluar la meta.

5. Conclusión:

Los resultados de este estudio muestran que de manera general se requiere incrementar esfuerzos para conservar los ecosistemas que se encuentran en las ecorregiones de biomas boscosos de México, ya que albergan una gran biodiversidad y nos proveen de numerosos beneficios. Algunas regiones cuentan con mayor superficie protegida y conectada, por lo que se sugeriría priorizar aquéllas que tienen los valores más bajos de estas métricas.

Asimismo, es importante incluir otros instrumentos de conservación, así como, de ser posible realizar estudios en campo para conocer la heterogeneidad de los paisajes, así como la efectividad en el manejo de estas áreas y así complementar estos análisis y poder evaluar mejor las acciones de los países para conservar su biodiversidad.

Referencias

- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67.
- Castillo, L. S., Correa Ayram, C. A., Matallana Tobon, C. L., Corzo, G., Areiza, A., González-M, R., ... & Godínez-Gómez, O. (2020). Connectivity of protected areas: effect of human pressure and subnational contributions in the ecoregions of tropical Andean countries. *Land*, 9(8), 239.
- García y Conabio 1998
- 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.
- onearth. 2025. <https://www.onearth.org/ecoregions/pantanos-de-centla/>
- Pisanty, I., E. Urquiza-Haas, A. Vargas-Mena y Amezcu et al. 2016. Instrumentos de conservación in situ en México: logros y retos, en Capital natural de México, vol. iv: Capacidades humanas e institucionales. Conabio, México, pp. 245-302
- Sarukhán, J., et al. 2017. Capital natural de México. Síntesis: evaluación del conocimiento y tendencias de cambio, perspectivas de sustentabilidad, capacidades humanas e institucionales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México