

Trabajo final Curso “Enfoques, métodos y herramientas para el análisis de la conectividad ecológica” - Red Bioma

-Ecorregión el Espinal, Argentina-

Introducción

El Espinal es una ecorregión de la llanura chaco-pampeana de Argentina ubicada en el centro del país (Figura 1), con una superficie total de 29.952.988 hectáreas. Se la considera un ecotono entre el Bosque Chaqueño y el Pastizal Pampeano, por lo que comparte especies vegetales y animales con ambas regiones (Lewis & Collantes, 1973). Su vegetación está caracterizada por bosques y matorrales xerofíticos deciduos y semideciduos, densos o abiertos, alternando con sabanas y pastizales puros (Lewis y Collantes, 1973; Cabrera, 1976; Morello et al., 2018; SIB, s.f.). Como especies relevantes se destacan el caldén (*Prosopis caldenia* L.), que es endémico de esta ecorregión, y el ciervo de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus*), hoy casi extinguido (Cabrera, 1976; SIB, s.f.).



Figura 1. Mapa de Argentina con sus ecorregiones delimitadas, se encuentra destacada en verde la región del Espinal extraído de Argentina.gob.ar (Parques Nacionales).

Desde mediados del siglo XIX, los bosques del Espinal han sido explotados y deforestados para el avance de la agricultura, la cría de ganado y la extracción de madera y leña (Arturi, 2006; Guida-Johnson y Zuleta, 2013). Sin embargo, este proceso de degradación se aceleró marcadamente hacia el finales del siglo XX (Brown et al., 2006; Matteucci, 2018),

dejando en la actualidad algunos pocos relictos de bosques, en su mayoría aislados entre sí y rodeados por una matriz agrícola o áreas urbanas (Lewis et al., 2009; Garachana et al., 2018). Garachana y colaboradores (2018), realizaron un mapeo de fragmentos de bosque nativo en paisajes agrícolas del Chaco Seco y el Espinal y encontraron alto nivel de pérdida de hábitat y fragmentación, y los remanentes se encontraban muy desconectados entre sí y de los parches grandes de bosque nativo. A pesar del estado crítico de la vegetación nativa del Espinal, es una de las ecorregiones con menor área protegida de toda Argentina, alcanzando tan solo un 0.03% según Brown et al. (2006) y Matteucci (2018).

La provincia de Córdoba es la que presenta el peor estado de conservación de los bosques y pastizales del espinal ya que prácticamente han desaparecido (Lewis et al. 2009). Los remanentes de vegetación natural son en su mayoría bosques secundarios con distinto grado de degradación (Cabido et al., 2018). Sumado a esto, existen solo dos pequeñas áreas naturales protegidas que preserven el Espinal: el Corredor Biogeográfico del “Caldén” y la Reserva Natural de Fauna Laguna la Felipa (Schneider, 2025). Luego hay otras áreas protegidas que se encuentran en el Chaco Seco y cubren una pequeña área del Espinal, como el Parque Nacional Asenuza. Por este motivo, es prioritario incrementar las áreas protegidas y la conectividad de las mismas en esta ecorregión, para impedir mayores pérdidas de hábitat y restaurar o mejorar la conectividad del paisaje. Si bien existen estudios que han evaluado los remanentes de bosque y la diversidad de especies vegetales y animales en estos (Lewis et al., 2009; Verga et al., 2019); no han habido propuestas concretas de qué parches de vegetación podrían ser claves para mejorar y recomponer la conectividad del paisaje. En este contexto, el objetivo del trabajo es analizar el grado de fragmentación y conectividad actual de la vegetación natural remanente del Espinal en la provincia de Córdoba y determinar cuáles serían los parches prioritarios a restaurar y/o conservar. Las preguntas de trabajo son las siguientes: (a) ¿cuál es el grado de fragmentación del paisaje?; (b) ¿cómo se encuentra la conectividad dentro de los parches y entre parches?; (c) ¿existen parches que estén funcionando o puedan funcionar como stepping stones?; (d) ¿cuáles serían potenciales parches a restaurar/conservar para recuperar o preservar la conectividad del paisaje?.

Metodología

El mapa de cobertura de suelo empleado para el trabajo lo obtuve de las bases de datos de MapBiomas (Proyecto MapBiomas Argentina Colección 1), el cual tiene una resolución espacial de 30 metros. Para delimitar la ecorregión del Espinal utilicé los mapas oficiales del SIB de la sección de Administración de Parques Nacionales (APN). Con la ayuda de QGIS 3.40.10 (QGIS.org) corté el ráster de coberturas de suelo con las mallas de la provincia de Córdoba y del Espinal, para delimitar así el área de estudio. Los mapas de cobertura presentan 12 subclases pero, para los objetivos de este trabajo, decidí reclasificar las subclases en “Natural” y “Antrópico”. La reclasificación la realicé en QGIS 3.40.10 (QGIS.org) con la herramienta de GRASS r.reclass. Por último vectoricé el ráster de cobertura de suelo y lo reproyecté en el sistema POSGAR 07 - EPSG 5346 (Posiciones Geodésicas Argentinas 2007).

Para calcular las métricas de fragmentación y conectividad se utilizó el paquete de Makurhini (Godínez-Gómez y Correa Ayram, 2020) en Rstudio 4.3.2 (Equipo Posit, 2025). Dado que el mapa tenía más de 126660 parches de vegetación natural, reduce el número de los mismos eliminando aquellos que tenían áreas totales o áreas núcleo menores a 1 ha. Las métricas de fragmentación del paisaje empleadas fueron las incluidas en la función MK_Fragmentation(), que abarcan medidas de áreas de parches, áreas núcleo, bordes, índice de forma, dimensión fractal (FRAC) (McGarigal et al., 2002), y tamaño de malla efectivo (MESH) (Jaeger, 2000). La profundidad del efecto de borde empleada fue de 500 m y el área mínima del parche fue por defecto igual a 100 km² (Haddad et al., 2015). Para caracterizar la conectividad se empleó la función MK_dPCIIC() para calcular el Índice Integral de Conectividad (IIC) (Pascual-Hortal y Saura, 2006) y las fracciones del mismo. El IIC permite estimar la conectividad estructural del paisaje en función de la presencia y disposición de los parches de hábitat. Este índice varía de 0 a 1, donde valores más altos indican mejor conectividad y valores más bajos mayor fragmentación. Se utilizó una mediana de dispersión de 10 km, probabilidad de 0.5 y tipo de distancia el borde.

Resultados

En términos generales, podemos observar que el área en estudio presenta muy pocos remanentes de área natural, los cuales en su mayoría son parches de pequeño tamaño y bastante distanciados entre sí (Figura 2). Al analizar las métricas de fragmentación, vemos que el área del paisaje es de 6029849 ha y la sumatoria de áreas de los parches es de 636053 ha, es decir que solo 10.5% del paisaje es hábitat natural. El número total de fragmentos es de 2787 con un área media de 228.22 km², de los cuales 2028 tienen áreas menores a 100 km². El área núcleo total es de 47856.84 ha, lo que representa un 7.5% del área total de los parches. La longitud total de bordes del paisaje es de 51773.49 m y la densidad de borde 0.08 km². El Cority, que mide la fragmentación con respecto a una distancia desde el área núcleo al borde de 500 m (Haddad et al., 2015), vale 1 cuando el paisaje no está fragmentado. Los análisis muestran un Cority de 0.044, un valor muy bajo, es decir que el paisaje tiene alto grado de fragmentación. El índice FRAC refleja la complejidad de la forma de los parches, valores mayores a 1 indican un incremento en la complejidad de las formas. En la tabla 1 vemos que el FRAC del paisaje es menor a 1, por lo que las formas de los parches tienden a ser más simples y se aproximan a un cuadrado, lo cual tiene sentido porque son parches inmersos en una matriz agrícola. Por último, el MESH, que es una medida del grado de fragmentación del paisaje (va de 0 al área total del paisaje), es de 18413.98 ha en el área de estudio, mucho menor al área total.

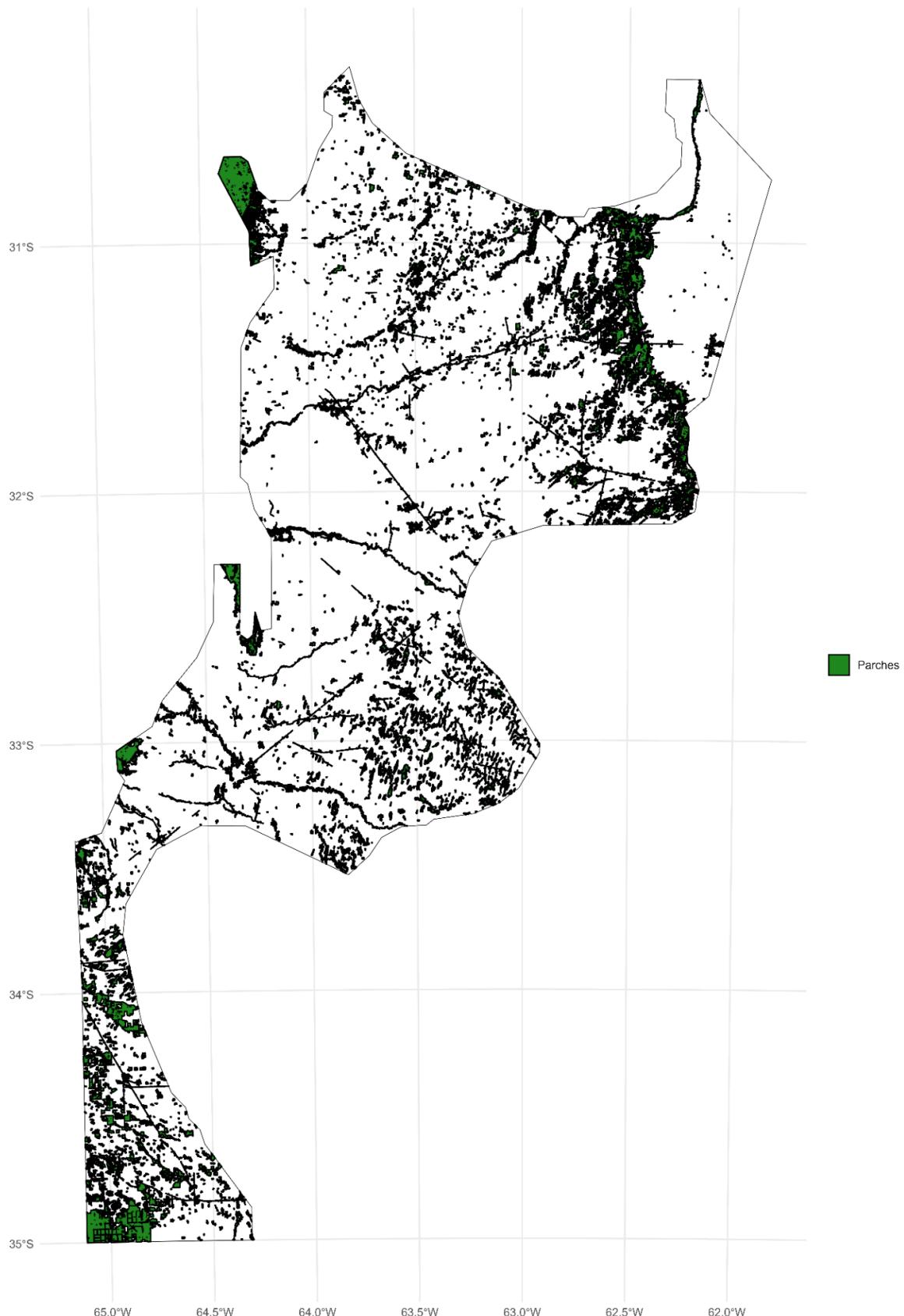


Figura 2. Mapa de la ecorregión del Espinal con los parches de vegetación natural remanentes (leñosa, no leñosa, pastizal y estepa) según los mapas de cobertura de MapBiomas Colección 1 (2022). El mapa muestra los parches con áreas totales y áreas núcleo mayores a 1 hectárea.

Metric	Value
Patch area (ha)	636053.1109
Number of patches	2787.0000
Size (mean)	228.2214
Patches < minimum patch area	2028.0000
Patches < minimum patch area (%)	12.3436
Total edge	51773.4850
Edge density	0.0814
Patch density	0.4382
Total Core Area (ha)	47856.8366
Cority	0.0445
Shape Index (mean)	0.2968
FRAC (mean)	0.8717
MESH (ha)	18413.9816

Tabla 1. Resultados de las métricas de fragmentación a escala de paisaje arrojados por la función MK_Fragmentation().

En relación al IIC, vemos que hay tres grupos de parches que tienen altos valores y, por lo tanto, aportan más a la conectividad global del paisaje (círculos rojos, Figura 3). Analizando la fracción *Intra* de este índice, que mide la conectividad interna de cada parche, vemos que solo dos grupos de parches tienen altos valores (círculos rojos, Figura 4), dada por las áreas más grandes de los mismos. En cuanto a la fracción *Flux*, que considera la conectividad directa entre un parche y todos los demás ponderada por sus áreas y distancias, observamos nuevamente pocos parches que contribuyen a esto (círculos rojos, Figura 5). Por último, analizando la fracción *Connector* que mide la importancia del parche como conector "puente" o stepping stone, vemos que hay un conjunto de parches de gran tamaño y luego cadenas de parches muy pequeños que parecen tener una función relevante como puente entre otros parches más aislados (círculos rojos, Figura 6).

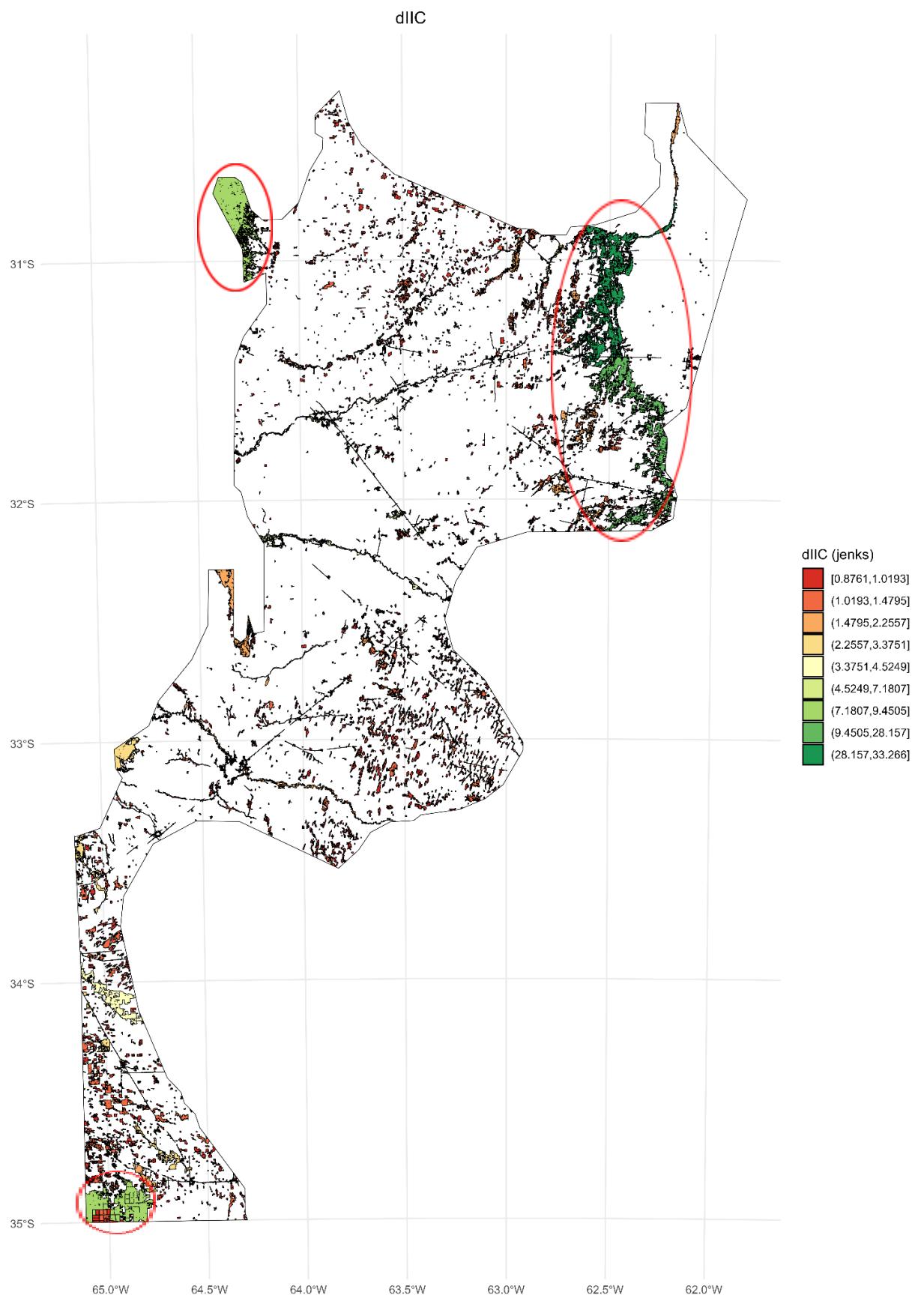


Figura 3. Mapa representando el dIIC con los intervalos de Jenks para los parches de vegetación natural.

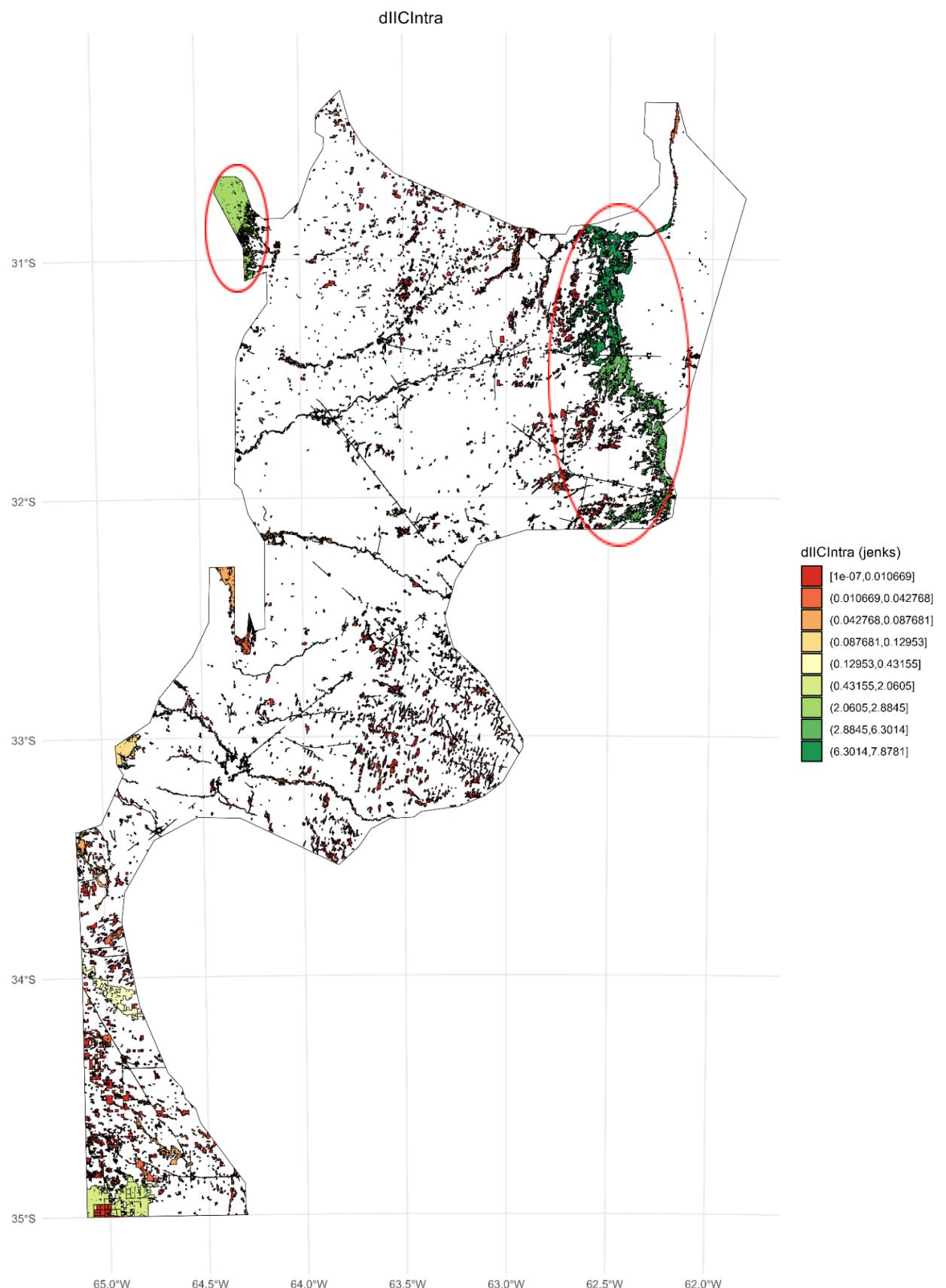


Figura 4. Mapa representando la fracción “Intra” del IIC con los intervalos de Jenks para los parches de vegetación natural.

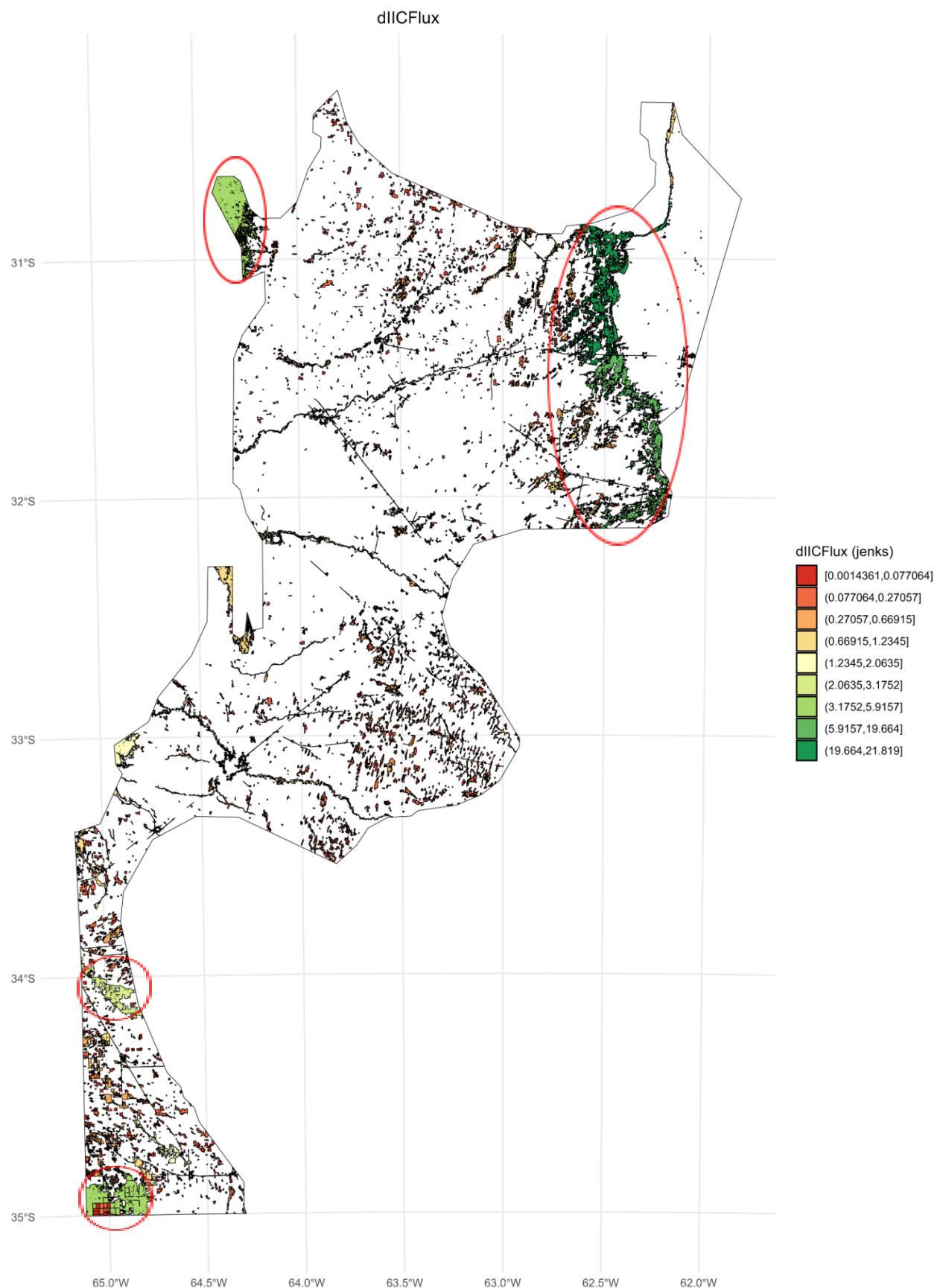


Figura 5. Mapa representando la fracción "Flux" del IIC con los intervalos de Jenks para los parches de vegetación natural.

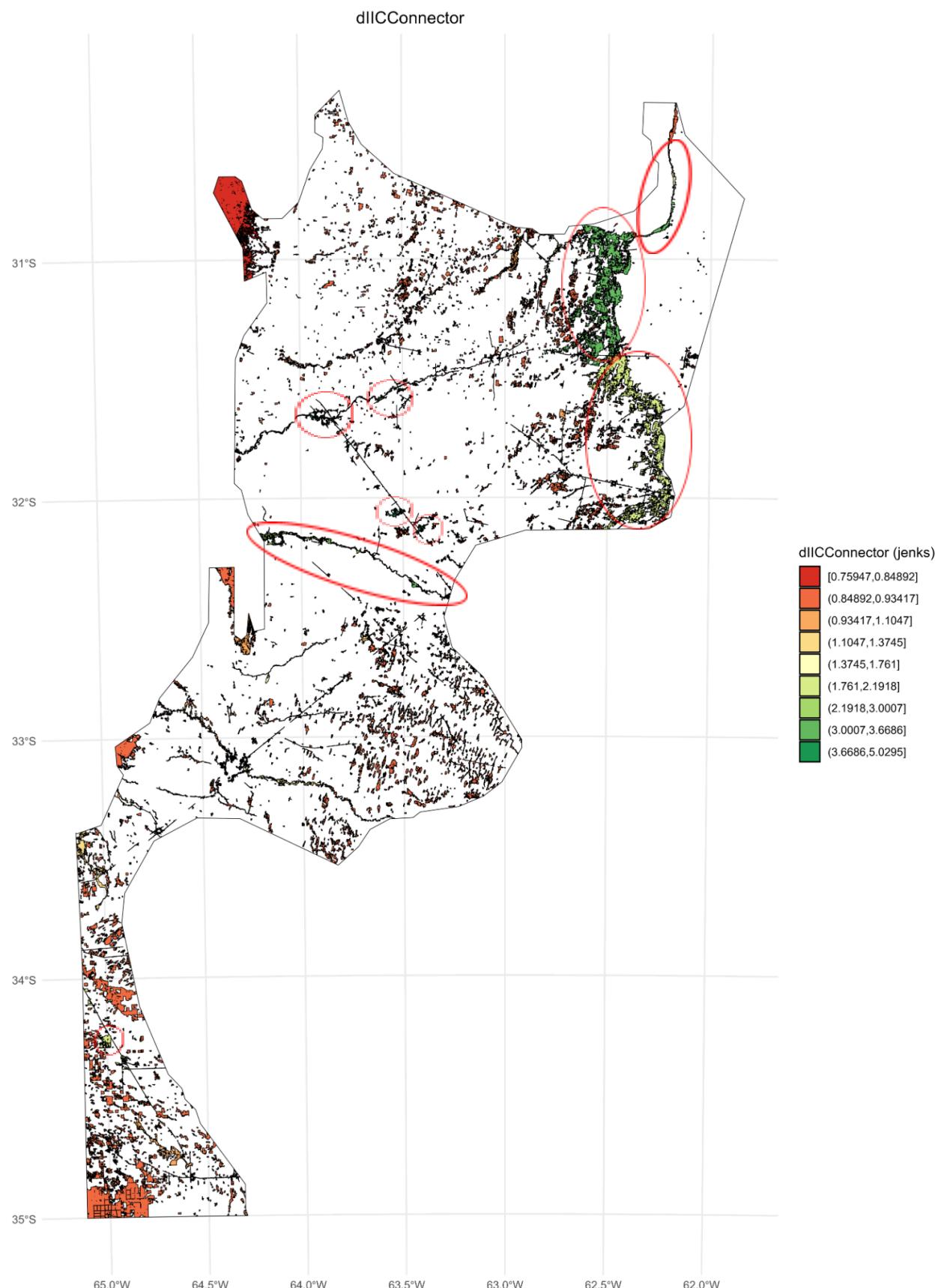


Figura 6. Mapa representando la fracción "Connector" del IIC con los intervalos de Jenks para los parches de vegetación natural.

Discusión

El área correspondiente a la ecorregión del Espinal en la provincia de Córdoba presenta un muy alto grado de fragmentación, dado no solo por la escasa cantidad de remanentes de vegetación natural, sino porque estos además presentan áreas totales y áreas núcleo pequeñas (la mayoría menor a 100 km²). Solo un 10,5% del paisaje corresponde a hábitat natural y, sumado a esto, un área mínima de estos hábitats se encuentra protegida en áreas naturales (Lewis et al., 2006). Estos resultados coinciden con lo descrito en otros estudios realizados en la zona (Lewis et al., 2009), en los cuales también se destaca el mal estado de conservación en el que se encuentran los parches de bosques y pastizales remanentes (Lewis et al., 2009; Cabido et al., 2018).

En cuanto a la conectividad del paisaje, unos pocos parches son los que podrían estar aportando a la conectividad global y ser hábitats aptos por tener un mayor área. La mayoría de los parches se encuentran aislados y con escasa conexión con otros parches, pero existen varios parches distribuidos a lo largo de toda la región que podrían estar funcionando como stepping stones. Las consecuencias de esto dependerá del grado de sensibilidad de cada especie a la falta de conectividad entre los parches y su capacidad adaptativa frente a estas modificaciones (e.g. Dardanelli et al., 2006; Verga et al., 2017).

La pérdida de hábitat, fragmentación y baja conectividad del paisaje analizado afecta tanto a especies vegetales y animales de la ecorregión del Espinal como de ecorregiones circundantes que extienden su rango de dispersión hacia estos ambientes (e.g. aves y mamíferos del Chaco Seco, aves de la Pampa) (Horlent et al., 2003), o bien lo usan como corredor para llegar a otras regiones (Arturi, 2006). Por lo cual es urgente tomar medidas de conservación que incluyan: (1) proteger los parches con las áreas más grandes y restaurarlos si es necesario, (2) restaurar e incrementar el área de aquellos parches que están funcionando como stepping stones, (3) planificar corredores de vegetación natural que permitan conectar los parches aislados. En la figura 7 se señalan los parches que podrían ser candidatos para las acciones mencionadas.

Las principales limitaciones para ejecutar las medidas de conservación propuestas para los remanentes de hábitat natural en el Espinal de la provincia de Córdoba son de tanto del ámbito académico como político. Existe escasa información sobre las distancias de dispersión máximas de las especies que habitan estos ambientes, la sensibilidad de las especies a los efectos de borde, o los requerimientos de áreas mínimas para desarrollarse y reproducirse. A su vez, en relación a la información correspondiente al paisaje, no se cuenta con una matriz de resistencia que permitiera evaluar posibles corredores para conectar parches aislados o aquellos con alto poder de flujo de especies. En relación al ámbito político, no hay en la actualidad políticas públicas que garanticen el mantenimiento de bordes de cultivos conectados y diversos en las explotaciones agrícola-ganaderas, que regularicen la tala indiscriminada de árboles nativos o que generen planes de reforestación en las áreas afectadas por esta, como así tampoco se implementan correctamente los planes de manejo de las áreas protegidas (muchas de ellas están en terreno privados).

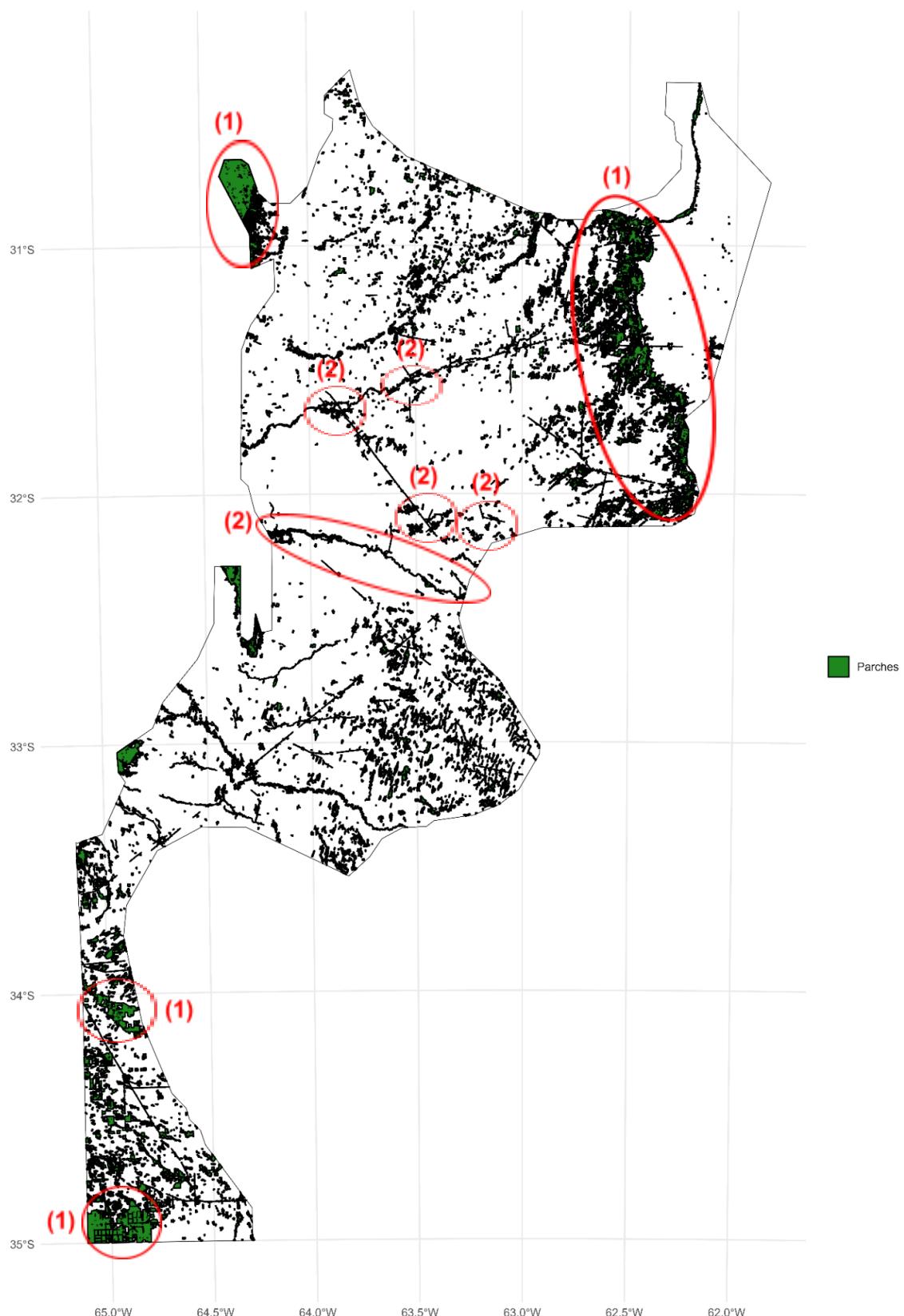


Figura 7. Mapa del área de estudio con los parches propuestos para (1) potencialidad para ser áreas protegidas por su aporte a la conectividad global y por tener áreas grandes; (2) restaurar e incrementar el área por estar funcionando como stepping stones entre parches aislados.

Conclusiones

El Espinal de Córdoba presenta un alto grado de fragmentación y escasa conectividad global: apenas el 10,5% del paisaje está constituido por hábitat natural y la mayoría de los remanentes presentan áreas totales y núcleo pequeñas y se encuentran aislados. Aun así, existen algunos parches con áreas grandes y una trama de stepping stones distribuida regionalmente, los cuales podrían potenciarse. Esta situación no solo afecta la fauna local del espinal sino la de ecorregiones vecinas y demanda acciones urgentes: proteger y (si es necesario) restaurar los parches más grandes, ampliar y restaurar los stepping stones estratégicos y diseñar corredores que conecten parches aislados. Para llevar a cabo estas medidas se requiere mejor información ecológica (capacidad de dispersión, sensibilidad a los bordes, matriz de resistencia) y mejor implementación de políticas públicas que garanticen la conectividad a través de la matriz agrícola y controlen la pérdida de vegetación nativa.

Referencias bibliográficas

- Arturi, M. (2006). Situación ambiental en la ecorregión Espinal. *La situación ambiental argentina, 2005*, 241-246.
- Brown, A. D., Acerbi, M., Arias, A., Corcuera, J., Adámoli, J. M., Aguiar, M. R., ... & Yapura, P. (2006). La situación ambiental argentina 2005.
- Cabido, M., Zeballos, S. R., Zak, M., Carranza, M. L., Giorgis, M. A., Cantero, J. J., & Acosta, A. T. (2018). Native woody vegetation in central Argentina: Classification of Chaco and Espinal forests. *Applied Vegetation Science, 21*(2), 298-311.
- Cabrera, A. L. (1971). Fitogeografía de la república Argentina.
- Dardanelli, S., Nores, M. L., & Nores, M. (2006). Minimum area requirements of breeding birds in fragmented woodland of Central Argentina. *Diversity and Distributions, 12*(6), 687-693.
- Equipo Posit. (2025). RStudio: Entorno de desarrollo integrado para R. Posit Software, PBC, Boston, MA. <http://www.posit.co/>
- Garachana Muñoz, D., Aragón, R., & Baldi, G. (2018). Estructura espacial de remanentes de bosque nativo en el Chaco Seco y el Espinal. *Ecología austral, 28*(3), 553-564.
- Godínez-Gómez, O., & Correa Ayram C.A. 2020. Makurhini: Analyzing landscape connectivity.
- Guida-Johnson, B., & Zuleta, G. A. (2013). Land-use land-cover change and ecosystem loss in the Espinal ecoregion, Argentina. *Agriculture, ecosystems & environment, 181*, 31-40.

Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., ... & Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science advances*, 1(2), e1500052.

Horlent, N., Juárez, M. C., & Arturi, M. (2003). Incidencia de la estructura del paisaje sobre la composición de especies de aves de los talares del noreste de la provincia de Buenos Aires. *Ecología austral*, 13(2), 173-182.

Jaeger, J. A. (2000). Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape ecology*, 15(2), 115-130.

Lewis, J. P., & Collantes, M. B. (1973). El espinal periestépico. *Ciencia e investigación*, 29(11-12), 360-377.

Lewis, J. P., Prado, D. E., & Barberis, I. M. (2006). Los remanentes de bosques del Espinal en la provincia de Córdoba. *Situación ambiental argentina*, 254-260.

Lewis, J. P., Noettinger, S., Prado, D. E., & Barberis, I. M. (2009). Woody vegetation structure and composition of the last relicts of Espinal vegetation in subtropical Argentina. *Biodiversity and conservation*, 18(13), 3615-3628.

Matteucci, S. D. (2018). Capítulo 11: Ecorregión espinal en Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. *Ecorregiones y Complejos Ecosistémicos argentinos*, 2nd edn. Buenos Aires, 349-390.

McGarigal K., Cushman S.A., & Neel M.C., En E. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Disponible en: www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html

Morello, J., Matteucci, S. D., Rodríguez, A. F., & Silva, M. (2018). Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. 2da. *Universidad de Buenos Aires, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Argentina*.

Pascual-Hortal, L., & Saura, S. (2006). Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape ecology*, 21(7), 959-967.

Parques Nacionales (s.f.). *Ecorregiones, Espinal*. Vicejefatura de Gabinete del Interior. <https://www.argentina.gob.ar/interior/ambiente/parquesnacionales/ecorregiones/espinal>

Proyecto MapBiomas Argentina Colección 1 de los Mapas Anuales de Cobertura y Uso del Suelo en Argentina, accedido en 28 de agosto de 2025 a través del enlace: https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/argentina/collection-1/coverage/argentina_coverage_2022.tif

QGIS.org. 2025. Sistema de Información Geográfica QGIS. Asociación QGIS. <http://www.qgis.org>

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.

Schneider, C. (2025). Situación de las Áreas Naturales Protegidas de la Provincia de Córdoba. Plataforma de Seguimiento de Políticas Públicas en Áreas Protegidas. Disponible en: www.map.org.ar.

Sistema de Información de Biodiversidad (SIB). (s.f.). *Ecorregiones de Argentina*. <https://sib.gob.ar/ecorregiones>.

Verga, E. G., Sánchez Hümöller, H. L., Peluc, S. I., & Galetto, L. (2017). Forest fragmentation negatively affects common bird species in subtropical fragmented forests. *Emu-Austral Ornithology*, 117(4), 359-369.

Verga, E. G., Hümoller, H. L. S., Vergara-Tabares, D. L., Galetto, L., & Peluc, S. I. (2019). Importancia para la conservación de las aves de un relicto de bosque en la región fitogeográfica del Espinal, Argentina. *Neotropical Biology and Conservation*, 14(2), 241-256.