

Caracterización y distribución de las comunidades leñosas del ecotono sur Espinal-Monte, Argentina

SILVIA S. TORRES ROBLES¹ & LAURA B. RODRÍGUEZ^{1,2}✉

¹ Universidad Nacional de Río Negro, Centro de Estudios Ambientales desde la Norpatagonia, Sede Atlántica, Río Negro, Argentina. ² Becaria del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

RESUMEN. La vegetación leñosa del ecotono sur Espinal-Monte provee servicios ecosistémicos clave como proteger el suelo de los procesos de erosión. Para las poblaciones humanas de la Patagonia representa un recurso leñoso no valorado económicamente en el circuito comercial forestal. La región ecotonal incluye tres provincias diferentes con distintos criterios de protección y manejo de bosques, lo cual dificulta contar con información cuantitativa y cualitativa del recurso forestal para establecer lineamientos de manejo integral. En este trabajo se buscó describir la variación estructural y composicional en un gradiente geográfico-climático (NE-SO) según una clasificación de cobertura abierta y densa, y realizar un mapa de la distribución de las clases de cobertura. Los sitios ubicados al noreste se asociaron a situaciones boscosas, con mayor frecuencia de especies arbóreas representativas del Espinal. Si bien en todo el gradiente geográfico se encontraron situaciones de cobertura densa, las situaciones densas se concentraron hacia el NE de la región y las situaciones abiertas se concentraron hacia el SO. Las situaciones densas del NE se diferenciaron significativamente de las situaciones densas del SO por presentar mayor cobertura y altura promedio de los estratos arbóreo y arbustivo. Las situaciones abiertas del NE se diferenciaron significativamente de las situaciones abiertas del SO por presentar mayores valores en cobertura arbórea y altura promedio del estrato arbustivo, mientras que la riqueza fue mayor en los sitios del SO con respecto a los sitios del NE. En el marco del ordenamiento territorial de la transición sur Espinal-Monte, la caracterización y la realización de un mapa de la vegetación leñosa nos permite conocer el estado de conservación de estas comunidades así como también el valor económico, comercial y ambiental de los recursos forestales.

[Palabras clave: cobertura leñosa, composición, estructura, recursos forestales, sensores remotos]

ABSTRACT. Characterization and distribution of woody communities in southern Espinal-Monte ecotone, Argentina. Woody vegetation in southern Espinal-Monte ecotone plays key roles in the system, such as protecting soil against erosion processes. They are also a source of firewood for the human populations of Patagonia, whose economic value in the commercial forestry circuit is not considered. The ecotonal region includes three different provinces with different forest protection and management criteria, making it difficult to have quantitative and qualitative information on the forest resource to establish comprehensive management guidelines. In this work, our objective is to characterize woody vegetation according to a cover classification (open and dense) to describe the structural and compositional variation in a geographic-climatic gradient and to map the distribution of cover classes. The sites located to the northeast were associated with wooded situations, with a higher frequency of tree species representative of the Espinal. Although dense cover situations were found throughout the geographical gradient, dense situations were concentrated towards the NE of the region, and open situations were concentrated towards the SW. The dense situations of the NE differed significantly from the dense situations of the SW by presenting greater coverage and the average height of the tree and shrub strata. The open situations of the NE differed significantly from the open situations of the SW by presenting higher values in tree cover and the average height of the shrub layer, while the richness was higher in the SW sites with respect to the NE sites. The characterization and mapping of woody vegetation allows us to know the state of conservation of these communities as well as the economic, commercial, and environmental value of forest resources, within the framework of the territorial planning of the Monte-Espinal transition in northeastern Patagonia.

[Keywords: composition, forest resources, remote sensing, structure, woody cover]

INTRODUCCIÓN

Las regiones áridas y semiáridas comprenden ~41% de la superficie mundial y, en general, se caracterizan por un balance hídrico negativo casi todo el año (Martínez Carretero 2013). En la Argentina, el 75% de su superficie se corresponde con zonas áridas, semiáridas y subhúmedas con períodos secos, conocida como la Diagonal Árida Argentina (Bruniard 1982; Martínez Carretero 2013). Estos ecosistemas se caracterizan por una baja cobertura arbórea o por una dominancia de cobertura arbustiva. Dentro de estos ambientes se encuentra el ecotono sur del Espinal con el Monte.

El ecotono sur del Espinal con el Monte ocupa ~60000 km² desde el SE de La Pampa, el SO de Buenos Aires hasta el NE de Río Negro. La vegetación varía entre situaciones boscosas a situaciones más abiertas con dominancia de especies arbustivas (Torres Robles et al. 2015; Zeberio et al. 2018). En estas áreas existe un reemplazo creciente de la vegetación nativa por pastos y cultivos (Gaspari et al. 2021). La situación promueve que estos ecosistemas se vuelvan más vulnerables a la degradación y a la pérdida de servicios ecosistémicos. En este sentido, en la región existen evidencias que demuestran los efectos negativos del desmonte (e.g., erosión de los suelos, cosechas magras y disminución de la receptividad ganadera, con pérdidas económicas importantes) ocasionados por la combinación de un período de sequía extraordinario con una amplia superficie sin cobertura vegetal relacionada con el desmonte (Arturi et al. 2011; Gabella et al. 2013).

En la Argentina, el uso de los sistemas forestales está regularizado solo para los bosques nativos, protegidos por leyes nacionales y provinciales que prevén la extracción de madera mediante planes de manejo. Sin embargo, debido al bajo potencial maderero, las comunidades leñosas de ambientes áridos-semiáridos han sido descuidadas en cuanto a su protección, administración y manejo (Gabella 2014). En este sentido, es difícil contar con información sobre el estado de conservación de estas comunidades leñosas y sobre sus lineamientos de uso.

En el ecotono sur del Espinal con el Monte, el único producto forestal maderero que se reconoce es la leña proveniente del desmonte relacionado con el establecimiento de áreas

agrícolas, para el cultivo de pasturas, el mantenimiento de vías de circulación del ganado, el mantenimiento de alambrados y de cortafuegos (Gaspari et al. 2021). La leña presenta un alto valor social con demanda local y desde áreas distantes. La producción de leña es el resultado del mantenimiento de áreas con baja cobertura leñosa, eliminación de arbustos, y no como producto de un aprovechamiento forestal (Gaspari et al. 2021).

Para manejar de manera adecuada las comunidades leñosas se necesitan datos cualitativos y cuantitativos del recurso forestal. En la transición Espinal-Monte, la leña comercializada es, sobre todo, de *Condalia microphylla* Cav. (piquillín) y de *Geoffroea decorticans* (Gillies ex Hook. and Arn.) Burkart (chañar), mientras que, en menor medida, se comercializa *Neltuma caldenia* C. E. Hughes and G.P. Lewis (caldén) proveniente de podas (Pérez 2020; Gaspari 2021). Para el Espinal y el Monte se indicaron valores de incremento de la biomasa entre 0.63 (chañar) y 0.8 (caldén) Mg.ha⁻¹.año⁻¹. Además, se estableció un rendimiento promedio de 15 t/ha y un tiempo de recuperación de entre 15 y 20 años (Gaspari et al. 2021). Teniendo en cuenta el alto valor social de la leña en la zona y la dependencia de muchas familias de este recurso, se justifica analizar la posibilidad de manejarlo de manera sustentable.

Para construir de forma objetiva estrategias de manejo que contribuyan a tomar decisiones políticas y para evaluar el impacto directo del uso de los recursos naturales se realizaron mapas de cobertura o biomasa de leñosas por medio de la teledetección. Los sensores remotos pueden proveer información para evaluar la cobertura vegetal, como también los de cambios de la cobertura en grandes extensiones (Brosofske et al. 2014; Baumann et al. 2018). En este sentido, en zonas semiáridas se desarrollaron modelaciones y mapas de la vegetación leñosa asociadas a las bandas espectrales y a los índices verdes obtenidos de los sensores remotos (Chen et al. 2018; Rodríguez et al. 2021).

Este trabajo pretende contribuir al conocimiento de los recursos forestales del ecotono sur del Espinal con el Monte para su planificación territorial. Se presenta un enfoque que integra datos de relevamiento a campo de la estructura y la composición de la vegetación leñosa con datos de sensores remotos satelitales. El objetivo es describir la variación de la estructura y la composición de

la vegetación leñosa según una clasificación de cobertura abierta y densa, a lo largo de un gradiente geográfico-climático, y realizar un mapa de la distribución de esas clases de cobertura leñosa en la región transicional entre el Monte y el Espinal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se ubica en el sector de la transición entre el sur de la ecorregión Espinal con el Monte (Morello et al. 2012). La vegetación varía desde un matorral de Zigofiláceas a bosques xerófilos con dominancia de especies de los géneros *Neltuma* y *Geoffroea* (Torres Robles et al. 2015; Oyarzabal et al. 2018). La estepa arbustiva zonal está compuesta por la comunidad de *Larrea divaricata* Cav, *L. cuneifolia* Cav. y *Monttea aphylla* (Miers) Benth. and Hook. var. *aphylla* (León et al. 1998), que pueden tener mayor altura (1.5 a 3 m), cobertura (50 a 80%) y densidad que la Provincia Fitogeográfica de Monte (Oyarzabal et al. 2018). El área transicional se distribuye a lo largo de un gradiente latitudinal noreste (NE) y sudoeste (SO) que se corresponde con un gradiente de precipitaciones, aproximadamente de 590 a 300 mm anuales, respectivamente, con máximos en otoño y primavera y una variabilidad alta entre años (Godagnone and Bran 2009).

El área de estudio está representada por tres provincias administrativas diferentes en las que se encuentran los departamentos Caleu Caleu y Hucal en la provincia de La Pampa, los partidos Puan, Villarino y Patagones en la provincia de Buenos Aires, y los departamentos Pichi Mahuida, General Conesa y Adolfo Alsina en la provincia de Río Negro (Figura 1). La distribución del gradiente geográfico en tres provincias diferentes implica que las decisiones de manejo forestal a menudo no coinciden, lo cual determina diferentes historias de usos. Por lo tanto, la descripción de las variaciones en la estructura y la composición en todo el gradiente de análisis se debe realizar considerando tanto la ubicación geográfica en el gradiente NE-SO como la localidad a la que pertenece. De esta manera, la información generada puede ayudar a los responsables de gestionar el recurso forestal y promover un uso más eficiente y sustentable de las comunidades leñosas.

Variación de la composición y la estructura

Sobre la base de un análisis visual de imágenes de muy alta resolución en la plataforma Google Earth®, se seleccionaron 48 sitios (16 al 63; ver Figura 1) con diferente cobertura de vegetación leñosa, distribuidos a lo largo del gradiente latitudinal del sector sur de la transición entre el Espinal y el Monte. Los sitios ubicados en el NE del gradiente latitudinal se encuentran por encima de la isoyeta de 400 mm de precipitaciones medias anuales y se corresponden con las localidades Puan, Hucal, Villarino, Caleu Caleu, parte de Pichi Mahuida (sitios 32, 57 a 60) y parte de Patagones (sitios 61 y 63). Los sitios ubicados al SO se encuentran por debajo de la isoyeta de 400 mm de precipitaciones medias anuales y se corresponden con las localidades Adolfo Alsina, General Conesa, parte de Pichi Mahuida (sitios 31 y 56) y parte de Patagones (sitios 7 a 14, 33 a 35 y 62) (Figura 1). La cantidad de sitios para cada localidad se corresponde con el tamaño en superficie con cobertura leñosa registrada *a priori* en el análisis visual. A partir de la variación de la cobertura total leñosa y según los criterios de clasificación de la cobertura de la vegetación realizada por diferentes autores (Eiten 1968; Di Gregorio and Jansen 2000), se clasificaron los sitios en densos (con cobertura total mayor a 60%) y abiertos (con cobertura total entre 30 y 59%).

El muestreo de la composición y la estructura de la vegetación leñosa se realizó entre los años 2010 y 2020. Para caracterizar la composición de la vegetación leñosa de cada sitio de estudio se establecieron 5 parcelas de 10x10 m según un muestreo sistemático, separadas por una distancia de 30 m. Se calculó la frecuencia de cada especie en cada sitio como la proporción de parcelas en las que se registró su presencia (Mateucci and Colma 1982; Flores and Sánchez 2004). De esta manera, cada especie registrada en cada sitio tiene una frecuencia entre 0 y 5. Los nombres científicos de las especies y taxa infraespecíficas aceptados siguen la nomenclatura de la Flora Argentina y del Cono Sur (floraargentina.edu.ar).

La caracterización de la estructura de la vegetación leñosa se realizó en tres de las 5 parcelas establecidas en cada sitio, quedando separadas por una distancia no menor a 70 m. En las especies arbóreas se registraron, para cada individuo, la altura, el ancho máximo de la copa y la medida perpendicular a este. Con

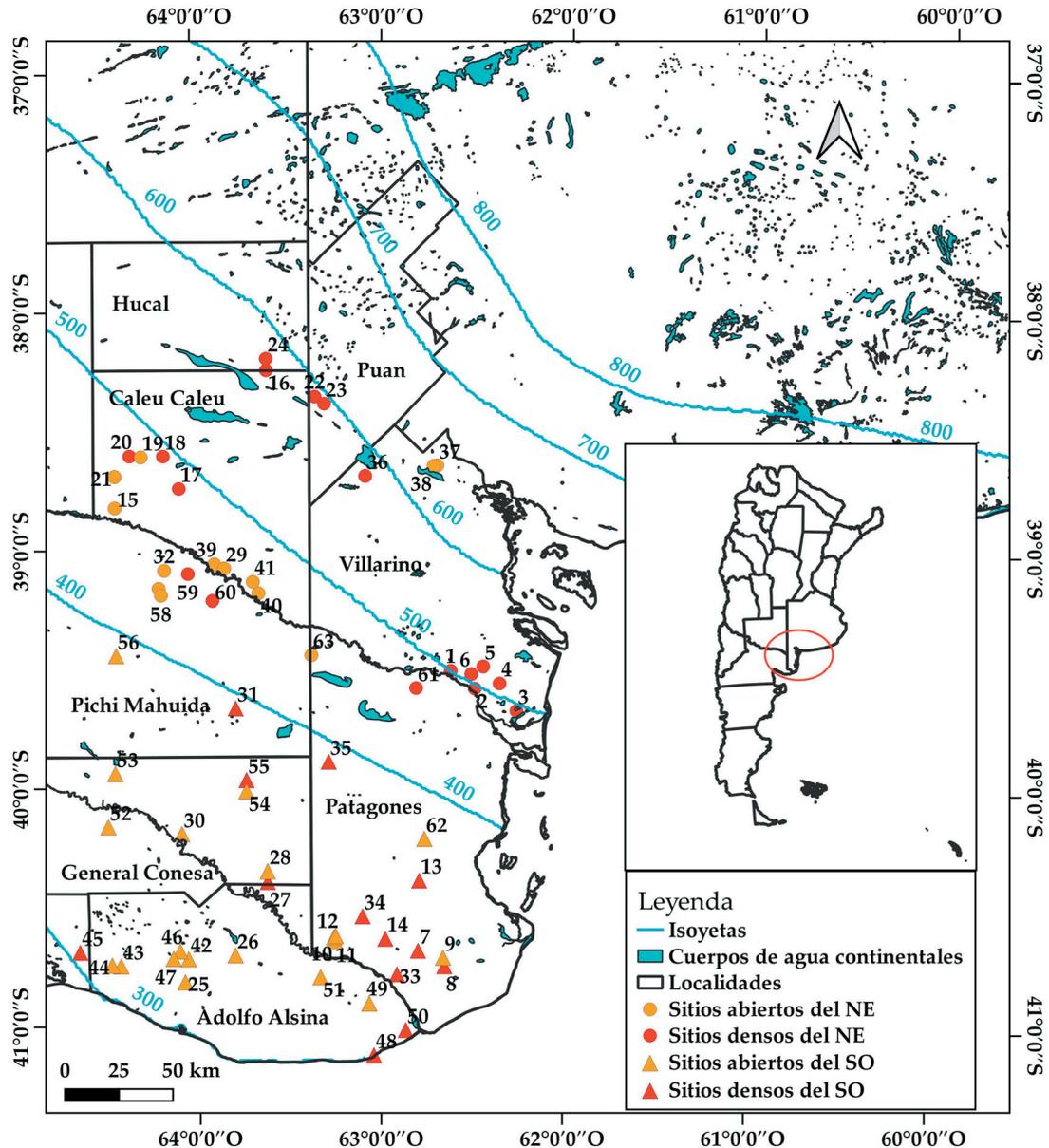


Figura 1. Área de estudio con las localidades de muestreo. Los sitios del 1 al 41 se utilizaron para construir el mapa de cobertura. Los sitios 16 al 63 se usaron para analizar la estructura y la composición.

Figure 1. Study area with sampling locations. Sites 1 to 41 were used to construct the coverage map. Sites 16 to 63 were used to analyze structure and composition.

estos datos se calculó la cobertura como el área de un círculo con diámetro igual al promedio de las medidas de la copa registrada (Mateucci and Colma 1982; Flores and Sánchez 2004). Además, se registró el valor del diámetro a la altura del pecho (1.30 m) (DAP) para los individuos arbóreos con más de 10 cm de DAP. La altura se midió con clinómetro; el DAP, con forcípula y los diámetros de copa,

con cinta métrica. Esta información permitió estimar la densidad y el área basal por hectárea de individuos con DAP mayor a 10 cm. En las especies arbustivas se registró la altura de individuos o grupos multiespecíficos de individuos y se registraron las especies presentes. Se determinó la cobertura como la superficie de un círculo cuyo diámetro es el promedio del ancho máximo de la copa del

arbusto, o grupo de arbustos, y la medida perpendicular a este. Además, se contó la cantidad de troncos con diámetro a la base (DB) entre 5 y 10 cm, y la cantidad de troncos mayores a 10 cm a la base. La altura y la cobertura se determinaron con cinta métrica. Para considerar al estrato arbustivo bajo se registró el número de individuos —tanto de árboles como de arbustos— que presentaron una cobertura inferior a 1 m² y 0.5 m de altura.

Se estimó la riqueza de especies leñosas (i.e., número total de especies arbóreas y arbustivas registradas en cada sitio) y la diversidad de Shannon (Moreno 2001). Además, teniendo en cuenta la cantidad de individuos de especies arbóreas y arbustivas, se calculó la cobertura y la altura promedio de los estratos arbóreos y arbustivos en cada sitio, y la proporción de árboles y arbustos presentes en cada localidad del área de estudio.

Análisis de los datos

Se analizaron tendencias de variación de la composición y de la estructura entre sitios del área de estudio a lo largo de un gradiente geográfico (NE-SO) teniendo en cuenta el tipo de cobertura (abierto/denso); para ello se usaron métodos multivariados (Ter Braak 1995) a fin de analizar similitudes florístico-estructurales entre los sitios del área de estudio. Se realizaron dos análisis de componentes principales (ACP): uno, de composición, y otro, de estructura. En ambos casos se calcularon coeficientes de correlación por rangos de Spearman entre la posición de los sitios sobre los componentes del ACP y la posición latitudinal y longitudinal, previa proyección de las coordenadas geográficas de los sitios de muestreo a Gauss-Kruger. Estas correlaciones permitieron evaluar tendencias geográficas de la variación composicional y estructural.

El ACP de la composición de la vegetación leñosa con relación a los sitios estuvo basado en la frecuencia por especie, pero solo se incluyeron aquellas que se registraron en al menos 8 de los 48 sitios. Sus valores se transformaron por la raíz cuadrada para aproximar a una distribución normal y homogeneizar sus varianzas debido a que la distribución esperada de los datos expresados en frecuencia es binomial (Digby and Kempton 1987).

Para evaluar la existencia de diferencias en la composición entre sitios con diferente cobertura leñosa (abierto y denso) ubicados al NE y al SO del gradiente geográfico se realizó un análisis de la varianza multivariado con permutaciones (PERMANOVA) (Anderson 2001). Este análisis se realizó considerando de manera simultánea los grupos según la posición geográfica y el tipo de cobertura, comparando los sitios abiertos y los cerrados dentro de la misma posición geográfica (abierto NE *vs.* cerrado NE; abierto SO *vs.* cerrado SO), y comparando los sitios abiertos y los cerrados entre diferente posición geográfica (abierto/cerrado NE *vs.* abierto/cerrado SO), usando distancias euclidianas y 9999 permutaciones.

El ACP de la variación estructural con relación a los sitios estuvo basado en las variables cobertura arbórea (%), cobertura arbustiva (%), promedio de altura de árboles (m), promedio de altura de arbustos (m), densidad de individuos con DAP por hectárea, área basal (m²/ha), cantidad de troncos con DB entre 5 a 10 cm por hectárea (nro. de troncos/ha), cantidad de troncos con DB mayores a 10 cm por hectárea (nro. de troncos/ha), riqueza, diversidad de Shannon y cantidad de individuos con cobertura menor a 1 m² (nro. de individuos/ha). Este análisis se realizó sobre una matriz de correlación debido a las diferencias en las unidades de las variables (Digby and Kempton, 1987). También se evaluó si existen diferencias estructurales dentro de la misma posición geográfica y entre diferente posición geográfica mediante un análisis PERMANOVA, considerando simultáneamente los grupos según la posición geográfica y tipo de cobertura, usando distancias euclidianas y 9999 permutaciones. Una vez encontrado que existen diferencias significativas en al menos una variable estructural, se evaluaron las diferencias estructurales asociadas a la variación geográfica NE-SO entre grupos de situaciones de cobertura densa y cobertura abierta, teniendo en cuenta las variables cobertura según el estrato arbóreo y arbustivo, altura promedio de los estratos arbóreos y arbustivos, densidad de individuos con DAP mayor a 10 cm, área basal, cantidad de troncos según las clases diametrales a la base de 5 a 10 cm y mayores a 10 cm, riqueza y diversidad según Shannon. Cuando los datos cumplieron con el requisito de normalidad, se compararon las diferentes variables con la prueba t de Student (t), y cuando no se alcanzó el requisito (incluso

si los datos se transformaron), se utilizó la prueba de Wilcoxon (W). La unidad muestral considerada fue la parcela, por lo que las variables medidas fueron promediadas para la superficie de las tres parcelas del muestreo de estructura.

Los ACP se realizaron con el *software* Multi-Variate Statistical Package (MVSP, Versión 3.13b), y los análisis de PERMANOVA, con el *software* Past (Hammer et al. 2001). Los análisis de correlación por rangos de Spearman, las pruebas t de Student y de Wilcoxon se realizaron con el *software* Infostat (Di Rienzo 2018).

Mapeo y distribución de la cobertura

Con la finalidad de realizar un mapa de la cobertura leñosa actual de la región transicional Monte-Espinal mediante información satelital, entre los años 2019 y 2020 se actualizó el relevamiento de cobertura de la vegetación leñosa en 41 sitios (Figura 1), distribuidos a lo largo del gradiente latitudinal del área de estudio. El muestreo siguió la misma metodología realizada para la caracterización de la estructura y la composición. La cobertura se calculó como la superficie de un círculo cuyo diámetro es el promedio del ancho máximo de la copa del árbol, arbusto o grupo de arbustos, y la medida perpendicular a este (Mateucci and Colma 1982; Flores and Sánchez 2004).

Se emplearon imágenes suministradas por el United States Geological Survey (USGS) (www.usgs.gov) pertenecientes al sensor Landsat 8 OLI, del *path* 227-228 y del *row* 087-088, las cuales abarcan el área de estudio. Se trabajó con fechas coincidentes con los años de muestreo de cobertura 2019-2020 y se seleccionó la fecha de diciembre 2020, momento del año en el que las especies leñosas se encuentran en etapa de crecimiento, y las especies herbáceas, en etapa de senescencia. Esto permite encontrar mejor relación entre atributos biofísicos de la vegetación leñosa con información espectral derivado de los sensores remotos, de acuerdo con los resultados encontrados en Rodríguez et al. (2021). Por medio de regresiones se exploró la relación de la cobertura con las bandas del espectro visible (verde y rojo) y con el índice verde NDVI (según los mejores modelos encontrados por Rodríguez et al. [2021]). Para esto se calculó el promedio por bandas espectrales e índice NDVI para los tres píxeles correspondientes a la ubicación de cada parcela de estructura por sitio. Se seleccionó el modelo final basado

en el criterio de información de Akaike (AIC), que es una medida apropiada para comparar modelos con un número diferente de variables independientes (Burnham and Anderson 2002). También se indicaron los valores de P de la pendiente de las variables independientes y del coeficiente de determinación (R^2) para evaluar la bondad de ajuste de cada modelo.

Las imágenes fueron corregidas y ajustadas geométrica y radiométricamente mediante el complemento de clasificación semiautomático (Congedo 2021), que convierte a los valores de radiancia de las imágenes Landsat a valores de reflectancia al tope de la atmósfera (TOA). Se realizó una cartografía del área de estudio, donde a cada píxel de la imagen con vegetación leñosa se le aplicó el modelo seleccionado. Se aplicaron máscaras de mapas para excluir áreas urbanas y agrícolas, así como dunas, cuerpos de agua y áreas rocosas. Las máscaras se definieron mediante mapas locales correspondiente al Instituto Geográfico Nacional (IGN). Además, mediante reclasificaciones o reasignación *raster*, se determinó la superficie de cobertura de leñosas clasificadas en abierta y densas de las localidades que componen el área de estudio. La reclasificación supone una modificación de los valores de una imagen, agrupando los valores que presenta la imagen de entrada en una clasificación de rangos definida, en este caso según la clasificación de cobertura total abierta (30-59%) y densa (60-100%). Para todos los procedimientos descritos se utilizó el *software* Qgis versión 2.16.3 (Versión libre).

Dado que los 41 sitios de muestreo se seleccionaron para representar el rango de variación observada de cobertura leñosa, estimamos el error del modelo entre la cobertura total estimada a campo y la información satelital mediante un procedimiento bootstrap (Kangas and Maltamo 2006; Gregoire and Salas 2009; Mageto and Motubwa 2018). Este procedimiento se repitió 1000 veces y se tomaron como límites de confianza del 95% los percentiles 5 y 95. El análisis se realizó con el *software* R.

RESULTADOS

Variación de la composición

El ordenamiento de los sitios según su ubicación en el gradiente geográfico NE-SO, con relación a la composición, reunió el 43% de la varianza acumulada (Figura 2). Las diferencias en la frecuencia de composición

florística reflejadas por el componente 1 se asociaron con la latitud ($r=-0.7$; $P<0.0001$) y, en menor medida, con la longitud ($r=-0.3$; $P<0.05$), lo cual refleja un gradiente NE-SO desde el extremo negativo hacia el positivo (Figura 2). El componente 2 presentó una baja asociación con la latitud ($r=0.3$; $P<0.05$) y no resultó significativa la asociación con la longitud. Las especies arbóreas que tendieron a aumentar en frecuencia hacia el extremo negativo del componente 1 son más representativas del Espinal, como *Neltuma caldenia*, *Neltuma flexuosa* (DC) C. E. Hughes and G. P. Lewis, *Schinus longifolia* (Lindl.) Sp. var. *longifolia* y *Jodina rhombifolia* (Hook. and Arn.) Reissek ssp. *rhombifolia*. En este extremo se ubicaron los sitios de las localidades del NE, que incluyen a Hucal, Puan, Villarino, Caleu-Caleu y los sitios del NE de Pichi Mahuida (Figura 2, Material Suplementario-Tabla S1). Mientras tanto, hacia el extremo positivo del componente 1 tendieron a ubicarse los sitios de las localidades distribuidas hacia el SO del área de estudio (i.e., Adolfo Alsina, General Conesa, Pichi Mahuida y Patagones), incluyendo algunos sitios del NE de Patagones y Pichi Mahuida. La representación de especies arbóreas para estas localidades está dada por *Geoffroea decorticans* (Figura 2, Material Suplementario-Tabla S1). En cuanto a la representación de especies arbustivas, los sitios de las localidades del SO se diferenciaron de los sitios del NE por su mayor representación de individuos de especies arbustivas (Figura 2, Material Suplementario-Tabla S1). Las especies *Condalia microphylla*, *Prosopidastrum globosum* (Gillies ex Hook. and Arn.) Burkart, *Brachyclados lycioides* D. Don y *Ephedra triandra* Tul. emend. J. H. Hunz. no presentaron una tendencia de distribución geográfica, sino que están presentes en todo el gradiente geográfico (Figura 2, Material Suplementario-Tabla S1). Por su parte, las especies típicas del Monte (e.g., *Acantholippia seriphuoides* (A. Gray) Moldenke, *Neltuma flexuosa* (DC) C. E. Hughes and G. P. Lewis var. *depressa* (F. A. Roig) C. E. Hughes and G. P. Lewis, *Schinus johnstonii* F. A. Barkley, *Monttea aphylla*, *Chuquiraga erinacea* D. Don ssp. *erinacea*, *Lycium chilensis* Miers ex Bertero, *Senna aphylla* (Cav.) H. S. Irwin and Barneby var. *aphylla* y *Larrea divaricata* [Figura 2, Material Suplementario-Tabla S1]) fueron más frecuentes en los sitios de las localidades del SO.

El análisis PERMANOVA que evaluó las diferencias composicionales simultáneamente entre los grupos según la posición geográfica

arrojó un pseudo F significativo ($pF=4.59$; $P=0.0001$). En la comparación por pares de grupos se puede observar que existen diferencias significativas entre la composición específica de los sitios del NE y SO, ya sea que presenten cobertura abierta o densa, pero no hay diferencias significativas entre grupos de sitios con cobertura densa o abierta ubicados en la misma posición geográfica (Tabla 1).

Tabla 1. PERMANOVA. Comparación por pares de grupos (valores de P corregidos por Bonferroni) utilizando distancias euclidianas y 9999 permutaciones, sobre la base de la composición florística.

Table 1. PERMANOVA. Pairwise comparison table of groups (Bonferroni-corrected P-values) using Euclidean distances and 9999 permutations, based on floristic composition.

	NE denso	NE abierto	SO abierto	SO denso
NE denso	-	1	0.0006	0.0018
NE abierto	1	-	0.0006	0.0024
SO abierto	0.0006	0.0006	-	1
SO denso	0.0018	0.0024	1	-

Variación de la estructura

El ordenamiento de los sitios según el gradiente geográfico NE-SO con relación a la estructura reunió el 65.7% de la varianza acumulada (Figura 3). Las diferencias en las variables estructurales reflejadas por el componente 1 se asociaron moderadamente tanto con la latitud ($r=0.5$; $P<0.05$) como con la longitud ($r=0.4$; $P<0.05$), lo que indica una tendencia de variación estructural SO-NE desde el extremo negativo hacia el positivo (Figura 3). El componente 2 no presentó correlación significativa con la latitud ni con la longitud. El componente 1 reflejó un gradiente creciente de cobertura arbórea, altura promedio de árboles y arbustos, densidad de individuos con DAP por hectárea y cantidad de individuos con troncos entre 5-10 y más de 10 cm de diámetro a la base por hectárea, desde el extremo negativo hacia el positivo. Si bien la mayoría de los sitios ubicados en el extremo positivo pertenecen a las localidades del NE (i.e., Hucal, Puan, Villarino, parte de Caleu Caleu, parte de Pichi Mahuida y parte de Patagones), también tendieron a ubicarse en este extremo sitios del SO de las localidades de Adolfo Alsina, General Conesa y Patagones (Figura 3). Los sitios que se ubicaron hacia el extremo negativo del componente 1 presentaron mayores valores de cobertura arbustiva, cantidad de individuos de cobertura menor a 1 m², riqueza y diversidad. Si bien la

mayoría de los sitios del SO se ubicaron hacia este extremo, también lo hicieron sitios del NE de Pichi Mahuida, Patagones y Caleu Caleu (Figura 3).

El PERMANOVA que evaluó las diferencias estructurales simultáneamente entre los grupos según la posición geográfica arrojó un pseudo F significativo ($pF=7.31$; $P=0.0001$). En la comparación por pares de grupos se puede observar que existen diferencias significativas

Tabla 2. PERMANOVA. Comparación por pares de grupos (valores de P corregidos por Bonferroni) utilizando distancias euclidianas y 9999 permutaciones, sobre la base de la estructura de la vegetación leñosa.

Table 2. PERMANOVA. Pairwise comparison table of groups (Bonferroni-corrected P-values) using Euclidean distances and 9999 permutations, based on woody vegetation structure.

	NE denso	NE abierto	SO abierto	SO denso
NE denso	-	0.0002	0.0001	0.0098
NE abierto	0.0002	-	0.0306	0.0021
SO abierto	0.0001	0.0306	-	0.0094
SO denso	0.0098	0.0021	0.0094	-

Tabla 3. Parámetros estructurales (promedio) de las comunidades leñosas según el gradiente latitudinal (NE y SO) para las clases de cobertura leñosa densa y cobertura leñosa abierta (se indica entre paréntesis el valor del error estándar del promedio). t: resultado de la prueba t. W: resultado de la prueba Wilcoxon. P-valor: los valores en negrita representan diferencias estadísticamente significativas ($P<0.05$). n NE: número de sitios con distribución NE para cada variable analizada. n SO: número de sitios con distribución SO para cada variable analizada. DAP: diámetro a la altura del pecho. DB: diámetro a la base.

Table 3. Structural parameters (mean) of the woody communities according to the latitudinal gradient (NE and SW) for dense woody cover and open woody cover classes (the value of the standard error of the mean is indicated in parentheses). t: t-test result. W: Wilcoxon test result. P-value: values in bold represent statistically significant differences ($P<0.05$). n NE: number of sites with NE distribution for each variable analyzed. n SO: number of sites with SO distribution for each variable analyzed. DAP: diameter at breast height. DB: diameter at base.

Variable	NE	SO	Estadístico	P-valor	n NE	n SO
Clase de cobertura leñosa densa						
Cobertura arbórea (%)	48.8(6.45)	23.79(7.1)	t=2.44	0.0253	13	7
Cobertura arbustiva (%)	34.2(5.35)	50.69(5.2)	t=-2.11	0.0473	13	9
Altura arboles (m)	3.1(0.33)	1.95(0.2)	t=2.48	0.0232	13	7
Altura arbustiva (m)	1.6(0.1)	1.16(0.05)	t=4.47	0.0003	13	9
Densidad de individuos con DAP >10 cm (individuos/ha)	312.8(75.9)	471.4(154.7)	t=-1.04	0.312	13	7
Área Basal (m ² /ha)	6.2(2.09)	7.05(5.02)	t=-0.17	0.9194	13	7
Cantidad de troncos con DB entre 5 y 10 cm (nro. de troncos/ha)	988.9(178.4)	554.2(130.6)	t=1.78	0.092	12	8
Cantidad de troncos con DB >10 cm (nro. de troncos/ha)	436.1(74.2)	647.6(365.2)	t=-0.01	0.9898	12	7
Riqueza	10.46(0.9)	11.44(1.04)	t=-0.71	0.4876	13	9
Diversidad de Shannon	1.92(0.1)	1.93(0.2)	t=-0.05	0.9598	13	9
Clase de cobertura leñosa abierta						
Cobertura arbórea (%)	17.1(2.3)	14.6(3.8)	t=0.5	0.0092	5	3
Cobertura arbustiva (%)	25.5(4.2)	38.6(2.6)	t=-2.8	0.5987	10	16
Altura arbórea (m)	2.02(0.1)	1.9(0.3)	t=0.6	0.588	5	3
Altura arbustiva (m)	1.36(0.1)	1.0(0.05)	t=3.2	0.0042	10	16
Densidad de individuos con DAP mayor a 10 cm (individuos/ha)	53.3(8.2)	144.4(67.6)	W=17.5	0.2269	5	3
Área Basal (m ² /ha)	2.0(1.0)	1.28(0.9)	t=0.5	0.6442	5	3
Cantidad de troncos con DB entre 5-10 cm (nro. de troncos/ha)	376.2(164.1)	472.7(140.9)	W=128.5	0.7276	7	11
Cantidad de troncos con DB >10 cm (nro. de troncos/ha)	116.6(47.9)	156.7(38.2)	W=139	0.8298	8	10
Riqueza	9.6(1.1)	12.6(0.8)	t=-2.2	0.0398	10	16
Diversidad de Shannon	1.9(0.1)	2.0(0.1)	t=-1.1	0.2626	10	16

Mapa de la vegetación leñosa

El modelo que mejor ajustó la relación entre la cobertura total obtenida a campo y la información satelital (bandas verde y roja y NDVI) fue el obtenido entre los valores transformados logarítmicamente (ln) de las bandas roja y verde de una imagen Landsat Oli, y la cobertura total del sitio ($R^2=0.75$; $P<0.001$) (Tabla 4). La predicción de este modelo espacial presentó un error medio absoluto en unidad de cobertura (%) de 9.8% (intervalo de confianza del 95% [7.76-11.9]). Con este modelo se clasificó la imagen para determinar las dos clases de cobertura: abierta,

con valores entre 30 a 59%, y densa, con valores de 60 a 100% (Figura 4).

El patrón espacial de variación de cobertura leñosa indicó que las clases densas se ubicaron en su mayoría hacia el noreste (NE) del área de estudio, con un 23% de superficie de cobertura densa y 77% de superficie de cobertura abierta. Mientras tanto, las clases abiertas se observaron en su mayoría hacia el suroeste (SO), con 96% de superficie de cobertura abierta y 4% de superficie de cobertura densa. (Figura 4, Tabla 5). Sin embargo, en todo el gradiente geográfico se observaron situaciones densas; incluso, hacia el SO se

Tabla 4. Modelos de regresión de cobertura total leñosa basados en datos espectrales.

Table 4. Total woody cover regression models based on spectral data.

Modelo	n	b ₀	b ₁	b ₂	R ²	AIC
$\log \text{Cob} = b_0 + b_1 * \log B3 + b_2 * \log B4$	41	1.78 ^{NS}	4.54 [*]	-5.71 ^{***}	0.75 ^{***}	-6.6
$\log \text{Cob} = b_0 + b_1 * \log \text{NDVI}$	41	6.07 ^{***}	1.67 ^{***}		0.60 ^{***}	11.01

B3: banda 3 (verde). B4: banda 4 (roja); NDVI: índice de vegetación normalizado; R²: coeficiente de determinación; AIC: criterio de información de Akaike; *** y *: niveles de significancia de 0.0001 y 0.05, respectivamente; NS: no significativo

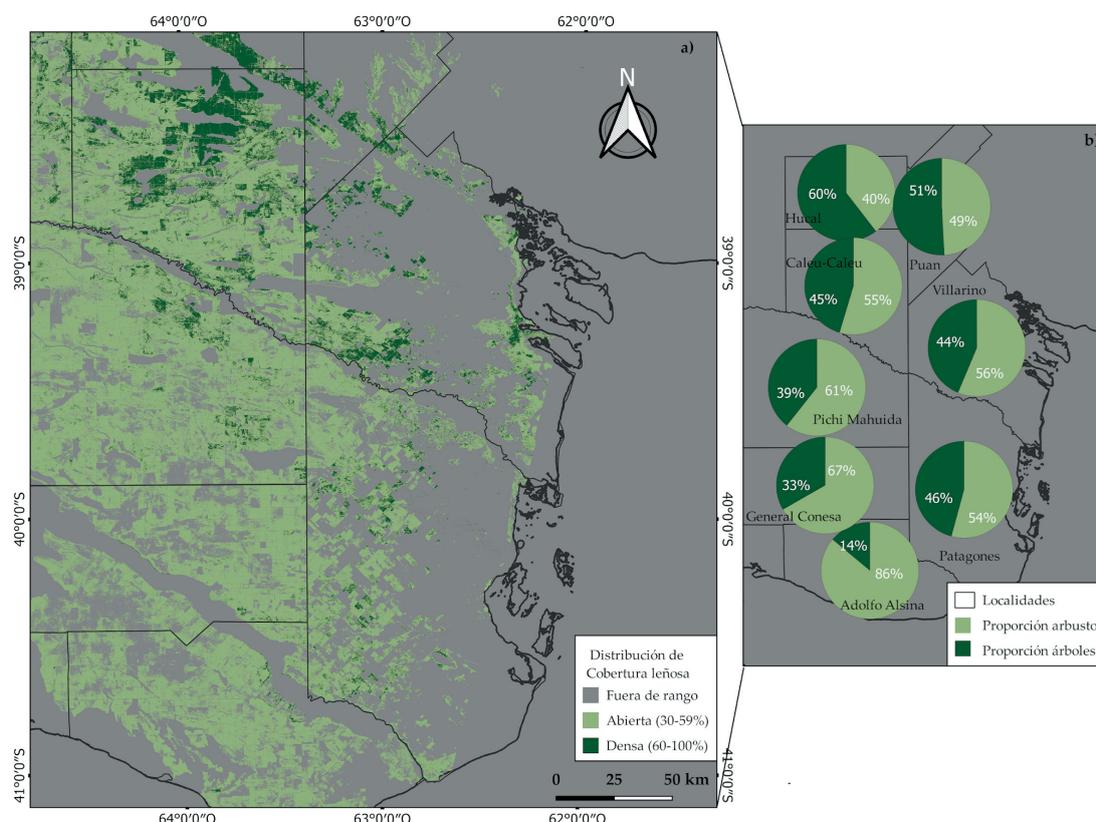


Figura 4. a) Distribución de cobertura vegetal de las comunidades leñosas de la región sur de la transición Monte-Espinal mediante el modelo de regresión entre cobertura total leñosa y bandas 3 y 4 Landsat OLI 8. b) Proporción de cantidad de individuos de especies arbóreas y de cantidad de individuos de especies arbustivas por localidad.

Figure 4. a) Plant cover distribution of woody communities in the southern region of the Monte-Espinal transition using the regression model between total woody cover and bands 3 and 4 Landsat OLI 8. b) Proportion of number of individuals tree species and the number of individuals of shrubby species by locality.

Tabla 5. Área ocupada según categorías de cobertura por localidad y para el sector NE y SO del gradiente geográfico.**Table 5.** Area according to coverage categories by locality and for the NE and SW sector of the geographic gradient.

Localidad	Superficie de cobertura abierta (ha)	Superficie de cobertura densa (ha)	Proporción de cobertura abierta con respecto a la superficie total leñosa (%)	Proporción de cobertura densa con respecto a la superficie total leñosa (%)	Proporción de cobertura leñosa con respecto a la superficie de la localidad (%)
Adolfo Alsina	403415.5	5004	98.8	1.2	46.3
General Conesa	403911.3	6941.4	98.3	1.7	42.1
Pichi Mahuida	1020026.8	50501.9	95.3	4.7	69.6
Caleu Caleu	452004.4	183096.8	71.2	28.8	70
Patagones	350508.9	45387.6	88.5	11.5	29.1
Villarino	184343	83901.4	68.7	31.3	23.5
Puan	46674.6	21458.5	68.5	31.5	10.7
Hucal*	52660.9	26996.7	66.1	33.9	13.2
Total área de estudio	2913545.4	423288.3	87	13	
Total NE	1339540.9	389703.9	77	23	
Total SO	1550888.4	58586.8	96	4	

*Los cálculos de superficies de cobertura leñosa se realizaron sobre la superficie contemplada en la escena Path 228 Row 087

observan parches de situaciones densas en una matriz de predominio de cobertura abierta (Figura 4).

En este contexto, las localidades ubicadas hacia el norte (Hucal y Puan) presentaron una proporción mayor de cantidad de individuos de especies arbóreas sobre la de cantidad de individuos de especies arbustivas. Esto condice con la distribución de la cobertura leñosa, en la que se observaron valores proporcionales altos de superficie de cobertura densa (Figura 4). Las localidades Caleu Caleu, Villarino y Patagones presentaron porcentajes similares de proporción de cantidad de individuos de especies arbóreas y de cantidad de individuos de especies arbustivas (Figura 4). Sin embargo, Caleu Caleu y Villarino presentaron mayor superficie de cobertura densa de las demás localidades. Por su parte, Patagones mostró una mayor superficie de cobertura abierta (Tabla 4). En las localidades ubicadas hacia el suroeste del gradiente transicional (i.e., Pichi Mahuida, General Conesa y Adolfo Alsina) se registró una mayor superficie de situaciones abiertas, con una representación baja de cobertura densa y mayor proporción de individuos de especies arbustivas que de individuos de especies arbóreas (Tabla 5; Figura 4). Cabe señalar que si bien Pichi Mahuida presentó un 4.7% de su superficie leñosa cubierta por vegetación densa, en términos de superficie cubierta (50500 ha) es aun mayor que la suma de la superficie con

cobertura densa de las localidades con mayor representación de este tipo de vegetación (Hucal y Puan). Además, Pichi Mahuida junto a Caleu Caleu fueron las localidades con mayor porcentaje de superficie con cubierta leñosa respecto a la superficie total de la localidad (~70% de la localidad) (Tabla 5).

DISCUSIÓN

En los análisis de componentes principales realizados para analizar la variación de la composición y la estructura de la vegetación leñosa en el sur del ecotono Espinal-Monte, el componente 1 correlacionó significativamente con la latitud y, en menor medida, con la longitud, lo cual indica una variación de la composición y la estructura, con mayor representación de la fisonomía boscosa hacia el NE. Esto coincide con un gradiente climático para el área de estudio que incide en la composición y la estructura; el gradiente presenta una precipitación media anual que oscila entre 500-600 mm/año en el N-NE y 300-400 mm/año en el S-SO (Torres Robles et al. 2015). Además, los análisis PERMANOVA indicaron que, internamente, los sectores abiertos y los densos de los sectores NE y SO no presentan diferencias significativas en composición florística, pero sí existen diferencias significativas entre los sitios del NE y los del SO. Más allá de las variaciones climáticas que determinan estas diferencias, internamente, cada sector presenta variaciones

en la estructura, que puede estar determinada por el uso. En todo el gradiente geográfico se encontraron especies arbóreas, pero la mayor proporción de estas con respecto a las arbustivas se encontraron en las localidades del NE. Además, la prueba t evidenció que las situaciones densas del NE se diferencian significativamente de las situaciones densas del SO ya que presentan mayor cobertura arbórea y mayores alturas promedio de los dos estratos leñosos.

En el ecotono sur del Espinal con el Monte, las situaciones encontradas de cobertura abierta y de cobertura densa presentan dos estratos leñosos bien definidos: uno, arbóreo, y otro, arbustivo. Sin embargo, las situaciones densas se diferencian de las abiertas por contar con mayor magnitud de todas las variables estructurales analizadas. Si bien estos resultados determinan una estructura compleja para las situaciones densas de la región ecotonal, al compararlo con otras fisonomías similares del Monte y del Espinal, los valores promedios de altura y de área basal son menores (Lell 2004; Álvarez et al. 2015; Villagra 2021). Sin embargo, en este estudio se encontraron individuos arbóreos con valores de densidad con cobertura densa y abierta (368 individuos/ha y 87.5 individuos/ha, respectivamente) más altos que los encontrados para bosques de *Neltuma flexuosa* (algarrobo) en la ecorregión del Monte y bosques de *Neltuma caldenia* (caldén) en la ecorregión del Espinal de la Argentina. Para los bosques de *N. flexuosa* se registraron variaciones de densidad de individuos adultos entre 59 y 114 individuos/ha en la provincia de Catamarca (Álvarez et al. 2015) y de 181 a 233 individuos/ha en la provincia de Mendoza (Álvarez et al. 2006). Mientras tanto, para los bosques de *N. caldenia* en situaciones densas se encontraron 290 individuos/ha, y para situaciones abiertas con arbustos, 98 individuos/ha (Menéndez and La Rocca 2007). Estas diferencias podrían deberse a que en la transición sur del Espinal con el Monte, la riqueza de especies arbóreas es mayor (i.e., se tuvieron en cuenta para estimar la densidad arbórea a las especies *N. caldenia*, *N. flexuosa*, *G. decorticans* y *Jodina rhombifolia*). Más recientemente, en el segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos (MAyDS 2020a; MAyDS 2020b), se registró, para los bosques mixtos de la región biogeográfica del Monte, valores de densidad de 343.2 individuos/ha, similares a los encontrados en este trabajo. En las situaciones boscosas de la región

transicional, la alta densidad arbórea podría deberse a que los bajos valores de alturas y de área basal hacen que estas situaciones sean poco atractivas para el aprovechamiento forestal, considerando que la extracción leñera es el recurso forestal principal como producto secundario del desmonte para agricultura y ganadería extensiva (Gaspari et al. 2021). En cambio, la historia de uso de la producción forestal de los algarrobales y de los caldenales es mucho más antigua como fuente maderera por las propiedades físicas muy valoradas, lo cual impacta en la estructura de estas formaciones boscosas (Pérez 2020; Szymański et al. 2022).

La región sur transicional entre el Espinal con el Monte abarca ~60000 km², de los cuales se detectaron 29135.5 km² de superficie con coberturas abiertas y 4232.9 km² de superficie con cobertura densa. Si bien se encontraron áreas con cobertura densa en todo el gradiente transicional, la mayor concentración de superficie se ubica hacia el NE del área de estudio (23% en el NE y 4% en el SO).

Por otro lado, las localidades del NE (Hucal, Puan y Villarino) presentan mayor porcentaje de superficie de cobertura densa con respecto a las demás localidades. Sin embargo, en términos de superficie cubierta con relación al tamaño de cada localidad, estos porcentajes de cobertura son bajos. Estos porcentajes bajos de cubierta leñosa son esperables, ya que diferentes estudios señalan que esta región (sur del Espinal) resultó muy afectada por el avance de la frontera agropecuaria (Arturi 2006; Dussart et al. 2015; González-Roglich et al. 2015; Galetto et al. 2021). Las localidades del SO (i.e., Adolfo Alsina, General Conesa y Pichi Mahuida) mostraron más del 40% de superficie cubierta de leñosas con respecto al tamaño de la localidad, pero esta cobertura es mayoritariamente de situaciones abiertas. Los porcentajes altos de cubierta leñosa abierta se pueden deber a que la principal actividad productiva del NE rionegrino es la ganadería extensiva en monte (Zeberio et al. 2018).

Las comunidades leñosas son un recurso leñero importante para las poblaciones humanas, sobre todo de la Patagonia argentina (Gaspari et al. 2021). Para el manejo sustentable, además de los parámetros estructurales y composicionales, es necesario contar con valores de biomasa aérea y de productividad anual de las especies leñosas. En este sentido, para la región transicional

sur del Espinal con el Monte se encontraron valores medios de biomasa de leñosas de 12 Mg/ha, con variaciones entre 5 y 70 Mg/ha (Rodríguez et al. 2021). Por otro lado, Gaspari et al. (2021) registraron que el rendimiento del recurso leñero es de 15 Mg/ha de biomasa de leñosas, con un tiempo de renovación de esa biomasa de 12 a 15 años. En este sentido, sería conveniente utilizar técnicas dendrocronológicas que permitan obtener datos de tasas de crecimiento radial de las especies forestales, principalmente *Condalia microphylla* y *Geoffroea decorticans*, que son más usadas para el aprovechamiento leñero (Gaspari et al. 2021).

Conocer la distribución de la cobertura leñosa y la variación de la composición y la estructura son aspectos clave para planificar y manejar la vegetación leñosa. El manejo sustentable de la cobertura vegetal leñosa debe estar regulado por los entes nacionales y provinciales. En este sentido, en el año 2007 se sancionó la Ley Nacional 26331, que establece los presupuestos mínimos de protección ambiental y manejo sostenible de los bosques nativos. Sin embargo, la definición de bosque se refiere a las situaciones boscosas definidas por la presencia de especies arbóreas de un determinado porte, excluyendo a otras situaciones de cobertura leñosa. El primer Inventario Nacional de Bosques Nativos de Argentina (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación 2007) se realizó sobre la definición de provincias fitogeográficas de Cabrera (1976), que para la región fitogeográfica del Monte no contemplaba regiones forestales de bosque nativos. Mientras tanto, para la región fitogeográfica del sur del Espinal, ciertas áreas fueron registradas como tierras forestales asociadas a los bosques nativos. En la actualización del Inventario Nacional de Bosques Nativos (MAyDS 2020a; MAyDS 2020b) se incluyen para la región del Monte situaciones de tierras forestales que coinciden con las superficies densas encontradas en este trabajo. Además, para la región del Espinal, se ampliaron las áreas forestales que también coinciden con las situaciones densas encontradas en este trabajo. Sin embargo, debemos resaltar que lo mencionado como "otras tierras forestales" en el segundo inventario forestal, para el sector del ecotono sur del Espinal con el Monte coinciden con las situaciones abiertas encontradas en este trabajo, las que también presentan cobertura arbórea, aunque en menor medida que las

situaciones densas. En este sentido, Hansen et al. (2013) registraron la cobertura arbórea a nivel global con imágenes de alta resolución; en ese trabajo se puede observar, para el área de estudio, tanto para las situaciones abiertas como densas, valores de cobertura arbórea similares a los encontrados en este trabajo (entre 5 y 40%). Esto refuerza la importancia de incorporar situaciones con cobertura leñosa con distinto grado de cobertura arbórea a los inventarios forestales.

El Inventario Nacional de Bosques Nativos es un instrumento que permite brindar información general actualizada de los bosques nativos de la Argentina y brinda un nivel de detalle consecuente a la escala. Para aplicar normas de manejo en bosques nativos es preciso contar con inventarios forestales a menor escala, con más detalle. En este contexto, la Ley 26331 establece que cada provincia debe realizar un ordenamiento de sus bosques nativos. Para el área de estudio, la provincia de La Pampa promulgó la Ley Provincial de Bosques en el año 2011 (Ley Provincial 2624), en la que la mayoría de la cobertura leñosa del SE de La Pampa aparece en categoría amarilla, por lo que se requiere planes de manejo para su intervención. De la misma manera, el SO bonaerense presenta una vasta superficie en esta categoría, que incluye no solo a las comunidades boscosas, sino a sus ecosistemas leñosos circundantes. Sin embargo, en este caso, la Ley de Protección de Bosques Nativos de la Provincia de Buenos Aires (Ley Provincial 14888) se promulgó en el año 2017, 10 años después de promulgada la Ley nacional. Río Negro fue la primera de estas provincias en promulgar una Ley provincial para proteger los bosques nativos (Ley Provincial 4366, año 2010), pero no incluyó en el ordenamiento a las comunidades leñosas del sector transicional entre el Espinal y el Monte ubicado hacia el NE de la provincia. Estas diferencias temporales y de alcance que tienen las distintas provincias administrativas sobre una misma unidad de vegetación, definidas por Morello et al. (2012), Torres Robles et al. (2015) y Oyarzabal et al. (2018), determinaron que las comunidades leñosas hayan estado y continúen expuestas a diferentes niveles de degradación debido a la falta de protección o a una protección tardía.

Dado que las unidades de vegetación no responden a los límites administrativos, es urgente discutir y consensuar los alcances de las leyes de bosques entre los sectores

provinciales para favorecer el ordenamiento de los ecosistemas leñosos y conservar y proteger los recursos del ecosistema con sus bienes y servicios asociados. Esto representaría un avance importante en el lineamiento de manejo de las comunidades leñosas para que puedan ser aprovechadas de manera sustentable y ser fuente de trabajo permanente para los pobladores rurales.

AGRADECIMIENTOS. Este trabajo fue financiado por el proyecto de investigación de la Universidad Nacional de Río Negro 40-C-874. Es parte del doctorado de Laura B. Rodríguez, tesis apoyada por una beca del CONICET, Argentina. Agradecemos a los revisores anónimos por sus sugerencias y comentarios que permitieron mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS

- Anderson, M. J. 2001. A new method for nonparametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26:32-46. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2001.01070.x>.
- Álvarez, J. A., P. E. Villagra, M. A. Cony, E. M. Cesca, and J. A. Boninsegna. 2006. Estructura y estado de conservación de los bosques de *Prosopis flexuosa* D.C. en el Noreste de Mendoza, Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural* 79:75-87. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2006000100007>.
- Álvarez, J. A., P. E. Villagra, E. M. Cesca, F. Rojas, and S. Delgado. 2015. Estructura, distribución y estado de conservación de los bosques de *Prosopis Flexuosa* del Bolsón de Fiambalá (Catamarca). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 50(2):193-208. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v50.n2.11663>.
- Arturi, M. F. 2006. Situación Ambiental en la Ecorregión Espinal. Pp. 241-246 en A. Brown, U. Martínez Ortiz, M. Acerbi and J. Corcuera (eds.). *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires. Pp. 587.
- Arturi, M., S. S. Torres Robles, R. Herrera Santángelo, UNLP, FCAyF, and CFI. 2011. Proceso de ordenación territorial de los recursos naturales renovables del Monte y Espinal de la provincia de Río Negro. Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires, Argentina. Pp. 307, 8v, 1 cd, 1 mapa. N° de inventario: 48845, reg: 10272.
- Baumann, M., C. Levers, L. Macchi, H. Bluhm, B. Waske, N. I. Gasparri, and T. Kuemmerle. 2018. Mapping continuous fields of tree and shrub cover across the Gran Chaco using Landsat 8 and Sentinel-1 data. *Remote Sensing of Environment* 216:201-211. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.044>.
- Brosfoske, K. D., R. E. Froese, M. J. Falkowski, and A. Banskota. 2014. A review of methods for mapping and prediction of inventory attributes for operational forest management. *Forest Science* (60):733-756. <https://doi.org/10.5849/forsci.12-134>.
- Bruniard, J. 1982. La Diagonal árida Argentina: Un límite climático real. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. *Revista Geográfica* 95:5-20.
- Burnham, K. P., and D. R. Anderson. 2002. *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. Springer, New York, United States. Pp. 488.
- Cabrera, A. L. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. 2° ed. Enc. Arg. Agricultura y Jardinería. Ed. ACME, S.A.I.C., Buenos Aires. Pp. 85.
- Chen, W., J. Zhao, C. Cao, and H. Tian. 2018. Shrub biomass estimation in semi-arid sandland ecosystem based on remote sensing technology. *Global Ecology and Conservation* 16:e00479 <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00479>.
- Congedo, L. 2021. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software* 6(64):3172. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>.
- Digby, P. G. N., Kempton, R. A. 1987. *Multivariate analysis of ecological communities*. Chapman and Hall, London. Pp. 203. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-3133-6>.
- Di Gregorio, A., and L. J. M. Jansen. 2000. *Land-Cover Classification System (LCCS): classification concepts and user manual*. FAO/UNEP/Cooperazione Italiana, Rome, Italy. Pp. 177.
- Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. González, M. Tablada and C. W. Robledo. 2018. *InfoStat versión 2018*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dussart, E., A. Medina, and S. Bogino. 2015. Dendroecología en la pampa Argentina: investigaciones actuales, pasadas y futuros desafíos. *Ecosistemas* 24(2):51-59. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-2.08>
- Eiten, G. 1968. Vegetation forms. a classification of stands of vegetation based on structure, growth form of the components, and vegetative periodicity. *Boletim do Instituto de Botanica* (4). São Paulo. Pp. 88.
- Flores, J. S., and J. A. Sánchez. 2004. Flora y vegetación. Pp. 303-327 en B. Zúñiga (ed.). *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. Universidad Autónoma de México, Universidad Autónoma de Yucatán, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Instituto Nacional de Ecología. México. Pp. 509.
- Gabella, J. I. 2014. *Gestión territorial y deterioro ambiental en áreas rurales de la diagonal árida templada Argentina*. Partido de Patagones, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral en Geografía. Universidad Nacional del Sur, Buenos Aires, Argentina. Pp. 233.
- Gabella, J. I., M. V. Iuorno, and A. M. Campo. 2013. Análisis integral de un sistema territorial degradado. El caso del partido de Patagones, Buenos Aires, Argentina. *Proyección* 14(8):68-91.
- Galetto, L., I. Barberis, N. Calamari, S. Dardanelli, G. Gavier-Pizarro, R. Iglesias, L. Lezana, C. Torres, and J. Vesprini. 2021. Región del Espinal. Pp. 543-605 en Peri P. L., G. Martínez Pastur and T. Schlichter (eds.). *Uso sostenible del*

- bosque: Aportes desde la Silvicultura Argentina. 1a edición especial, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Pp. 889.
- Gaspari F. J., J. Goya, M. Arturi, S. Burns, L. de Antueno, and S. Torres Robles. 2021. Diagnóstico ambiental y socio económico de cuencas forestales: Cuenca Forestal Puan-Villarino-Patagones, Provincia de Buenos Aires. Informe Final de Consultoría. Proyecto: Fondo Cooperativo de Preparación para el Carbono de los Bosques (FCPF) - Donación N° TF019086. Dirección Nacional de Bosques, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Fundación Innova-T, CONICET. Pp. 83.
- Godagnone, R. E., and D. E. Bran (eds.). 2009. Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de Río Negro. Geología, hidrogeología, geomorfología, suelos, vegetación y fauna. Ediciones INTA, Buenos Aires. Pp. 392.
- González-Roglich, M., J. Swenson, D. Villarreal, E. Jobbágy, and R. Jackson. 2015. Woody Plant-Cover Dynamics in Argentine Savannas from the 1880s to 2000s: The Interplay of Encroachment and Agriculture Conversion at Varying Scales. *Ecosystems* 17:139-147. <https://doi.org/10.1007/s10021-015-9841-5>.
- Gregoire, T. G., and C. Salas. 2009. Ratio estimation with measurement error in the auxiliary variate. *Biometrics* 65(2): 590-598. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0420.2008.01110.x>.
- Hammer, O. D., A.T. Harper, and P. D. Ryan. 2001. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1):9.
- Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342:850-853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>.
- Kangas, A., and M. Maltamo. 2006. *Forest Inventory: Methodology and Applications*. Springer, Berlin, Germany. Pp. 357. <https://doi.org/10.1007/1-4020-4381-3>.
- Lell, J. D., 2004. El caldenal: una visión panorámica del mismo enfatizando en su uso. Pp. 18 *en* M. F. Arturi, J. L. Frangi and J. F. Goya (eds.). *Ecología y manejo de los bosques de Argentina*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- León, R. J. C., D. Bran, M. Collantes, J. M. Paruelo, and A. Soriano. 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extraandina. *Ecología Austral* 8:125-144.
- Mageto, T., and J. Motubwa. 2018. Bootstrap confidence interval for model based sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics* 7(4):147-155. <https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20180704.13>.
- Martínez Carretero, E. 2013. La diagonal árida Argentina: entidad bio-climática. Pp. 14-31 *en* D. R. Pérez, M. E. Rodríguez Araujo and A. E. Rovere (eds.). *Restauración ecológica en la diagonal árida de la Argentina*. Buenos Aires. 1 ed. Vázquez Mazzini editores, Buenos Aires, Argentina. Pp. 520.
- Mateucci, S. D., and A. Colma. 1982. *Metodología para el estudio de la vegetación*. Monografía n° 22, Serie Biología. Secretaría General de la OEA. Washington D.C. Estados Unidos. Pp. 168.
- MAyDS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2020a. Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos: informe Monte Buenos Aires: primera revisión. Buenos Aires: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Pp. 98.
- MAyDS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2020b. Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos: informe Espinal y Delta e Islas del río Paraná: primera revisión. Buenos Aires: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Pp. 145.
- Menéndez, J. L., and S. M. La Rocca. 2007. Primer inventario nacional de bosques nativos. Informe Regional Espinal, Segunda Parte. Primera edición. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Buenos Aires, Argentina. Pp. 154.
- Morello, J., S. D. Mateucci, A. F. Rodríguez, and M. E. Silva. 2012. *Ecoregiones y complejos ecosistémicos argentinos*. 1a ed., Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. Pp. 719.
- Moreno, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. MyT-Manuales y Tesis SEA, Zaragoza, España (1). Pp. 84.
- Oyarzabal, M., J. Clavijo, L. Oakley, F. Biganzoli, P. Tognetti, I. Barberis, H. M. Maturo, R. Aragón, P. I. Campanello, D. Prado, M. Oesterheld, and R. J. C. León. 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral* 28:40-63. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.399>.
- Pérez, S. A. 2020. Sistema comercial del complejo de productos forestales nativos de la provincia de La Pampa, Argentina. *Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação* 2(1):73-81. <https://doi.org/10.33871/26747170.2020.2.1.3251>.
- Rodríguez, L. B., S. S. Torres Robles, M. F. Arturi, J. M. Zeberio, A. C. H. Grand, and N. I. Gasparri. 2021. Plant cover as an estimator of local and regional-level above-ground biomass in semiarid woody vegetation in NE Patagonia, Argentina. *Journal of Arid Land* 13(9):918-933. <https://doi.org/10.1007/s40333-021-0083-4>.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2007. Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos: Informe Regional Espinal. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Segunda parte. 1ra. Edición. Buenos Aires. Pp. 154.
- Szymański, C., P. E. Villagra, V. Aschero, and J. A. Álvarez. 2022. Interactive effects of chronic anthropogenic disturbances on *Prosopis* woodland structure in the Central Monte, Argentina. *Ecología Austral* 32:108-121. <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.1.0.1800>.
- Ter Braak, C. J. F. 1995. Ordination. Pp. 91-173 *en* R. H. G. Jongman, C. J. F. Ter Braak and O. F. R. Van Tongeren (eds.). *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511525575.007>.
- Torres Robles, S. S., M. Arturi, C. Contreras, G. Peter, and J. M. Zeberio. 2015. Variaciones geográficas de la estructura y

- composición de la vegetación leñosa en el límite entre el espinal y el Monte en el Noreste de la Patagonia (Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 50(2):209-215. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v50.n2.11664>.
- Villagra, P. 2021. Bosques de la región del Monte. Pp. 443-507 *en* P. L. Peri, G. Martínez Pastur and T. Schlichter (eds.). *Uso sostenible del bosque: Aportes desde la Silvicultura Argentina*. 1a edición especial, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Pp. 889.
- Zeberio, J. M., S. S. Torres Robles, and G. Calabrese. 2018. Uso del suelo y estado de conservación de la vegetación leñosa del monte en el noreste patagónico. *Ecología Austral* 28:543-552. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.3.0.471>.