

Licenciatura en Ciencias del Ambiente:

Aportes para el diseño de restauración ecológica, ante la pérdida de vegetación leñosa, en el marco de la ley 14.888 de la provincia de Buenos Aires.



 **Universidad Nacional de Río Negro**
Sede Atlántica

AUTOR: Siguero, Juan Andrés

DIRECTORA: Torres Robles, Silvia

CO-DIRECTORA: Rodríguez, Laura Belén

2024

Agradecimientos

Quiero agradecer a mamá y papá por apoyarme siempre, por el amor, esfuerzo y dedicación en todos estos años que permitieron, a mis hermanos y a mí, desarrollarnos como personas y profesionales.

A mis directoras de tesis Silvia y Belén por la confianza, paciencia y guía que permitieron poder llevar a cabo este trabajo.

A todos los profesores de la Licenciatura en Ciencias del Ambiente por trabajar con dedicación y brindar educación de calidad.

A la Universidad Nacional de Río Negro por la educación pública y por brindarme la posibilidad de estudiar en el lugar donde vivo.

A cada uno de mis compañeros por compartir el día a día, el apoyo, los mates, las charlas y en muchos casos la amistad.

A el cuerpo de Guardas Ambientales de Punta Bermeja y Pozo Salado por los días compartidos, por su vocación y enseñanzas que en muchos casos me han servido de guía en mi desarrollo como profesional.

A Clara por elegir ser mi compañera de vida, quererme y apoyarme en todo.

Y a todos los que han estado presentes en estos años y formaron parte de este proceso.

¡MUCHAS GRACIAS!

Índice

1. Resumen.....	Pág. 1
2. Introducción.....	Pág. 2
3. Objetivos Particulares.....	Pág. 4
4. Hipótesis.....	Pág. 4
5. Metodología.....	Pág. 4
5.1. Área de Estudio.....	Pág. 5
5.2. Caracterización de la Vegetación.....	Pág. 9
5.3. Cuantificación de la superficie boscosa mediante técnicas de teledetección.....	Pág. 11
5.4. Propuesta de acciones de restauración ecológica.....	Pág. 14
6. Resultados.....	Pág. 15
6.1. Caracterización de la vegetación.....	Pág. 15
6.2. Cuantificación de la superficie boscosa mediante técnicas de teledetección.....	Pág. 18
6.3. Restauración ecológica.....	Pág. 22
7. Discusión.....	Pág. 25
8. Conclusiones.....	Pág. 27
9. Bibliografía.....	Pág. 28

1. Resumen

Ante la continua pérdida de bosque nativo en Argentina, surgen diferentes estrategias técnico científicas y regulaciones en el uso de la tierra como herramientas necesarias para revertir esta situación. En este sentido, la provincia de Buenos Aires, en el año 2017, sanciona la Ley 14.888, con la cual lleva a cabo su primer ordenamiento territorial de bosques nativos (OTBN) y los clasifica en tres categorías de conservación. El bosque de Caldenal y Monte es uno de los sistemas forestales nativos identificados para la provincia. Este ha sufrido grandes cambios y fraccionamientos a través del tiempo. Además, en los últimos años, se han incorporado los proyectos de producción de energía eólica como un nuevo factor de cambio de uso del suelo en la provincia. Ante estos cambios, la normativa provincial establece que las actividades antrópicas que hayan afectado áreas de bosque con categorías I y II de conservación, deberán presentar planes de restauración. En este contexto, esta tesina aborda un caso de cambio de uso de suelo con pérdida permanente de bosque de Caldenal y Monte incluido dentro de la categoría II del OTBN provincial. El cambio de uso de suelo fue a causa de la instalación de aerogeneradores dentro del predio del parque eólico “La Castellana”, al norte del partido Villarino, en la provincia de Buenos Aires. En este sentido, se realizó una caracterización de la comunidad leñosa de referencia y se evaluó la pérdida de vegetación leñosa en toda el área del OTBN del partido Villarino y del parque eólico, con la finalidad de establecer lineamientos de restauración para el predio del parque eólico. En total se relevaron 16 taxa leñosas nativas en los sitios de muestreo, donde seis especies resultaron las más importantes: *Neltuma caldenia*, *Neltuma flexuosa var. flexuosa*, *Geoffroea decorticans*, *Condalia microphylla*, *Lycium chilense* y *Prosopidastrum globosum*. La vegetación estuvo compuesta por dos estratos bien definidos, uno arbóreo y otro arbustivo. La densidad total de árboles fue alta, con 307 ind/ha, donde *N. flexuosa var. flexuosa* (137 ind/ha) y *N. caldenia* (131 ind/ha) fueron las especies más abundantes. También se encontraron ejemplares adultos de *G. decorticans* y *Schinus fasciculatus*, aunque no superaron los 10 cm de DAP. Para el partido Villarino, se cuantificó una pérdida total de superficie de cobertura leñosa de 14.702 ha entre los años 2016 y 2023. Para el predio de “La Castellana”, la superficie con cobertura boscosa disminuyó en 43 ha. El impacto directo de la instalación de la infraestructura del parque eólico afectó de forma permanente a 27 ha del predio. Se identificaron tres situaciones con distintos grados de degradación, para las cuales se propone un plan con diferentes herramientas de restauración ecológica. Esta tesina aporta herramientas útiles para diagramar estrategias que faciliten la aplicación de la normativa de bosques vigente, tanto en la caracterización del estado de la vegetación, como también para identificar estrategias de restauración en los Bosques de Caldenal y Monte. Los resultados obtenidos también podrían servir como línea de base para abordar estudios de áreas degradadas dentro de la zonificación del OTBN.

2. Introducción

La pérdida de bosques ha sido enmarcada como un problema grave a escala mundial. Entre los años 2000 y 2020 se redujeron en un 2,4%, lo que significó la pérdida de 1 millón de km² de superficie boscosa en el mundo. Sudamérica es la región más afectada ya que perdió el 5% de sus bosques en ese período, en un total de 0,44 millones de km² (Potapov et al. 2022).

Las regulaciones en el uso de la tierra, acompañadas de estrategias claras que faciliten y promuevan el manejo de los bosques de forma sostenible, se establecen como un factor clave para revertir esta situación (Stickler et al. 2013).

En Argentina, la Legislación Nacional desde el año 2007 establece presupuestos mínimos para la conservación y zonificación de los bosques nativos (Ley Nacional 26.331). En línea con la normativa nacional, todas las provincias han formado su marco normativo para el ordenamiento territorial de sus bosques nativos (OTBN). De igual manera, la Provincia de Buenos Aires aprueba en el año 2017 la Ley 14.888, a través de la cual, en su Artículo 5°, define a los bosques nativos como “Ecosistemas forestales naturales compuestos por especies arbóreas y/o arbustivas nativas, con diversas especies de flora y fauna asociadas, en conjunto con el medio que las rodea (suelo, subsuelo, atmósfera, clima, recursos hídricos), conformando una trama interdependiente con características propias y múltiples funciones...”. En base a esta definición y en conformidad con los criterios de sustentabilidad de la Ley Nacional 26.331, la provincia realiza su primer OTBN donde identifica cinco tipos de bosque nativos y los clasifica en tres categorías de conservación:

- Categoría I (rojo): Áreas de muy alto valor de conservación que no deben transformarse.
- Categoría II (amarillo): Áreas de mediano valor de conservación, que pueden estar degradadas pero que, a juicio de la Autoridad de Aplicación, con la implementación de actividades de restauración pueden tener un valor alto de conservación.
- Categoría III (verde): Áreas de bajo valor de conservación que pueden transformarse parcialmente o en su totalidad, aunque dentro de los criterios de la presente ley.

El bosque de Caldenal y Monte es uno de cinco tipos de bosques nativos protegidos dentro de la provincia de Buenos Aires. Se encuentran al Suroeste (SO) del territorio, en una zona de transición entre las provincias fitogeográficas Espinal y Monte (Torres Robles y Rodríguez 2023). El Caldenal y Monte representa un área importante por su extensión, forma un gran ecotono que se extiende por los Partidos de Adolfo Alsina, Púan, Tornquist, Bahía Blanca, Villarino y Patagones, esto le confiere un carácter de alta oferta de hábitat para la vida silvestre y como corredor biológico (Torres Robles et al. 2015; Oyarzabal et al. 2018; Torres Robles y Rodríguez 2023). También, presenta gran importancia económica por su estrato herbáceo, que es utilizado como

forraje para ganadería, y por el aporte de leña de alta calidad (Esterlich et al. 2005; Lini 2008). Además, cumple un rol clave en la captura y almacenamiento de Carbono, en los ciclos de agua y en la preservación de los suelos (Rodríguez et al. 2021). Es por ello, que mantener la estructura de la vegetación de estos bosques es importante para reducir los efectos adversos del cambio climático (Gaitán et al. 2014; Gonzalez-Roglich et al. 2015).

En las últimas décadas, el Caldenal y Monte ha sufrido grandes cambios y fraccionamientos. Los aprovechamientos madereros de carácter extractivo, la introducción de especies exóticas, la interrupción de los ciclos naturales de fuego y el continuo avance de la frontera agropecuaria han sido las principales causas de pérdida de vegetación (Arturi 2006; Gonzalez-Roglich et al. 2015). Sumado a esto, en los últimos años se han incorporado los proyectos de producción de energía eólica como un nuevo factor de cambio de uso del suelo en el SO bonaerense. Estos proyectos se dan en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 (ODS-2030) de la Organización de las Naciones Unidas. En este sentido, según los lineamientos del Objetivo 7 de los ODS-2030, Argentina se compromete a una transición en su matriz energética, basada principalmente en el uso de hidrocarburos, a una con mayor uso de energías renovables (Decreto Nacional 499/17).

Ante estos cambios, la Ley Provincial 14.888 establece que las actividades antrópicas que hayan afectado áreas de bosque con categorías I y II de conservación deberán presentar planes de restauración.

En el año 2017 la empresa “Central Puerto S.A.U” instaló un parque eólico en un predio de 1500 ha, ubicado al norte del partido Villarino, de las cuales 520 ha pertenecen a la categoría II de conservación. Desde el inicio de la obra la empresa se vinculó con la Universidad Nacional de Río Negro para realizar un estudio de base de la vegetación, estimar la superficie de pérdida permanente de bosque nativo y confeccionar un plan de restauración. En este sentido, esta tesina se enmarca en el convenio realizado entre ambas partes.

Si bien la normativa vigente fomenta los proyectos de restauración a través de partidas presupuestarias desde Nación hacia las provincias (Ley Nacional 26.331), son pocas las experiencias de restauración ecológica llevadas a cabo en el Espinal y en el Monte (Zeberio 2018; Torres Robles y Zeberio 2018; Zeberio y Pérez 2020). Por lo tanto, es importante seguir aportando herramientas orientadas a estudiar las tendencias en la superficie de bosque de Caldenal y Monte y también a recuperar sectores degradados. Para ello, es necesario conocer la estructura y composición de las comunidades vegetales de referencia, como también, cuantificar y monitorear los cambios en la cobertura vegetal a lo largo del tiempo (Aronson et al. 1993; Choi et al. 2008; Navarro Cano et al. 2017).

Las técnicas de teledetección, a través de sensores remotos, surgen como una herramienta que permite el estudio de los cambios en la cobertura vegetal a lo largo del tiempo, ya que ofrece una visión sinóptica de los eventos que ocurrieron y ocurren sobre la superficie terrestre (Dengsheng 2006; Baumann

et al. 2018). Existen diversos antecedentes de estudios que cuantifican los cambios en el Caldenal y Monte mediante estas técnicas (Winschel y Pezzola 2018; Zeberio 2012; Rodriguez et al. 2021). Las distintas respuestas espectrales de los distintos elementos de la superficie son las que permiten diferenciar a los elementos entre sí para su clasificación y monitoreo de cambio en el tiempo (Chuvienco et al. 2006).

En este contexto, se propone como Objetivo General evaluar la pérdida de vegetación leñosa para la zona de bosque nativo categoría II de conservación en el parque eólico “La Castellana”, con la finalidad de establecer lineamientos de restauración, en el marco de la Ley 14.888 de Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos de la Provincia de Buenos Aires.

3. Objetivos Particulares

1. Caracterizar y mapear la comunidad leñosa de referencia del parque eólico “La Castellana”.
2. Evaluar la pérdida de vegetación leñosa tanto en el partido de Villarino como en el parque eólico “La Castellana” mediante técnicas de teledetección.
3. Proponer un diseño de acciones de restauración con la finalidad de compensar la pérdida de vegetación en el parque eólico.

4. Hipótesis

Las intervenciones antrópicas y los disturbios naturales provocan cambios en la estructura de la vegetación a lo largo del tiempo. Las intervenciones, como la instalación de aerogeneradores, provocan una pérdida permanente de la cobertura leñosa, la cual se puede cuantificar mediante técnicas de teledetección. El análisis cuantitativo de la pérdida permanente de vegetación ante un disturbio servirá de base para establecer el área a restaurar.

5. Metodología

Este trabajo aborda un caso particular de cambio de uso de suelo en el parque eólico “La Castellana”, el cual presenta relictos de bosque nativo de Caldenal y Monte bajo categoría II de conservación. Para cuantificar y evaluar la pérdida permanente de vegetación leñosa, en primer lugar, se realizó una caracterización de la comunidad de referencia de la vegetación leñosa del partido de Villarino. En segundo lugar, mediante técnicas de teledetección, se cuantificó la pérdida de bosque nativo en el partido Villarino y la pérdida permanente de bosque nativo por la instalación de los aerogeneradores en el predio de “La Castellana”. Por último, a partir de esta información se realizaron recomendaciones sobre acciones de restauración ecológica para el predio en el marco de la Ley 14.888.

5.1. Área de estudio

El área de estudio comprende la superficie del partido Villarino incluida en el OTBN, al SO de la provincia de Buenos Aires, en Argentina (Figura 1). Para este partido, la provincia incluyó 335.000 ha de Bosque Nativo de Caldenal y Monte con distintos grados de conservación, de los cuales 21.600 ha pertenecen a la categoría I, 198.000 ha a la categoría II y 115.400 ha a la categoría III (Figura 1).

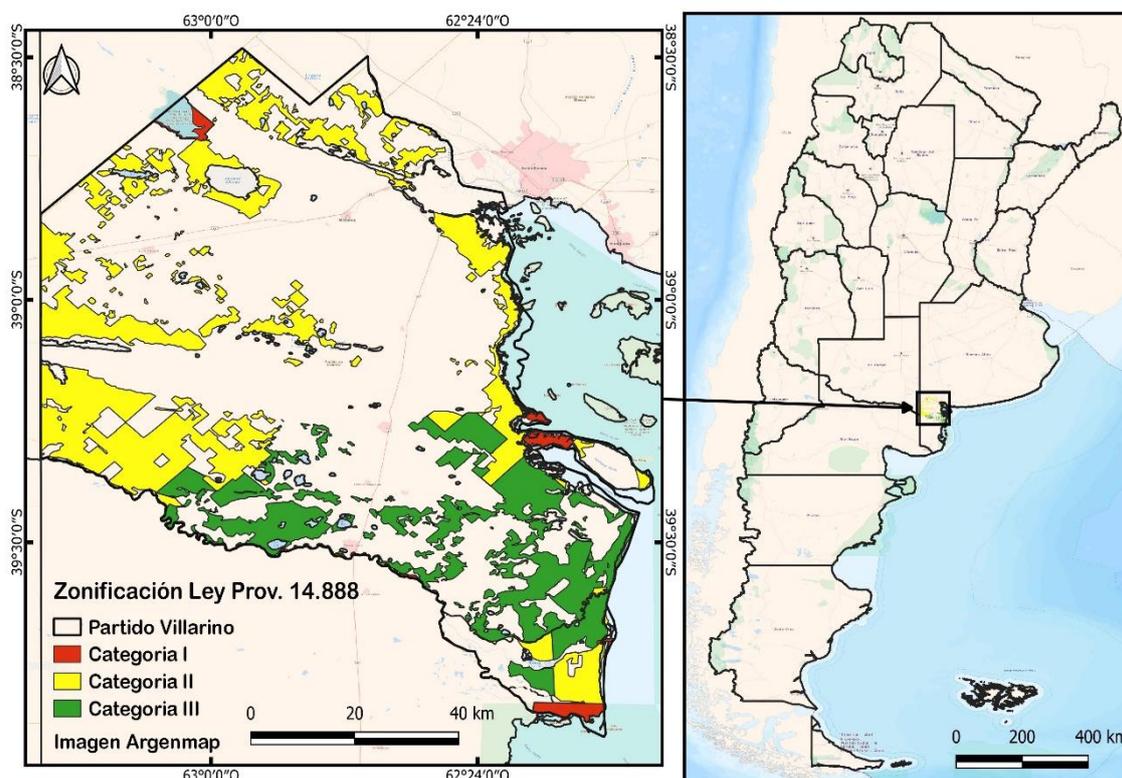


Figura 1. Área de estudio. Partido Villarino con la zonificación del bosque nativo según el OTBN de la provincia de Buenos Aires. Elaboración propia a partir de datos obtenidos del Instituto Geográfico Nacional 2017.

El parque eólico “La Castellana” fue construido en el año 2017 por la empresa “Central Puerto S.A.U” y presenta una extensión de 1.500 ha ubicadas en el Norte del partido Villarino (Figura 2). El predio del parque contiene 520 ha con relictos de bosque nativo de Caldenal y Monte, protegidos bajo la categoría II de conservación por Ley Provincial 14.888. La ubicación central de este sector del bosque se encuentra en las coordenadas 38°39'7" S y 62°43'13" O (Figura 2). Hasta el momento de la construcción del parque eólico, la principal actividad económica en el predio era la cría extensiva de ganado vacuno. Luego, a partir del año 2017, se llevó a cabo la instalación de 32 aerogeneradores, caminos, playones, transformadores y demás infraestructura del parque. En la zona categoría II se instalaron nueve aerogeneradores, lo cual implicó un cambio de uso de suelo permanente, movimientos de suelos y remoción de la cobertura boscosa tanto en los sectores donde se instalaron los aerogeneradores como en sectores utilizados de forma temporal durante la etapa de construcción: caminos temporales, puestas de cañerías, obradores y tendidos eléctricos

subterráneos (CP. Renovables 2016). Una vez concluidos los trabajos de construcción, los sectores utilizados de forma temporal fueron rellenados y nivelados. En la actualidad, el parque eólico se encuentra en pleno funcionamiento y junto con la cría extensiva de ganado, son las únicas actividades que se desarrollan dentro del predio.

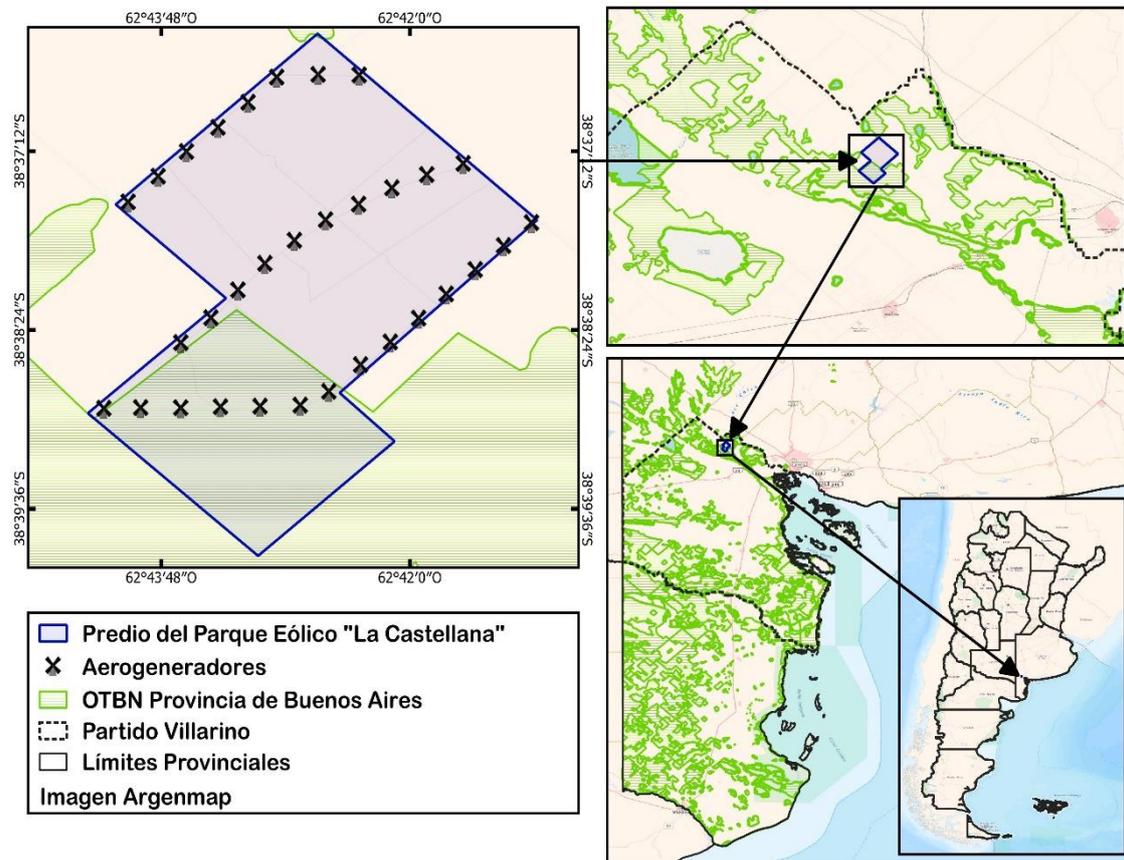


Figura 2. Área de estudio. Sección de Bosque Nativo categorizado como amarillo dentro del Parque Eólico "La Castellana" según la Ley provincial 14.888. Elaboración propia.

La vegetación del partido Villarino pertenece a las unidades de vegetación Caldenal y Monte Oriental o de Transición, según Oyarzabal et al. (2018). En este sector, el Caldenal es un bosque abierto de esclerófilas con dominancia de *Neltuma caldenia* acompañado de *Neltuma flexuosa var flexuosa*, *Geoffroea decorticans* y *Jodina rhombifolia* (Oyarzabal et al. 2018). La fisonomía del Monte Oriental o de Transición se presenta como un matorral más o menos denso, de cobertura entre 50 y 80%, con alturas de entre 1,5 y 3 m y densidad mayor que la descrita para el resto del Monte. Se compone por *Larrea divaricata*, *L. cuneifolia* y *Monttea aphylla*, con abundantes isletas de *G. decorticans* e individuos aislados de *N. flexuosa*. Se agrega *Capparis atamisquea* y se hacen muy abundantes *Chuquiraga erinacea* y *Condalia microphylla* (Morello et al. 2012; Oyarzabal et al. 2018).

El clima del partido presenta temperaturas medias anuales de 18,25 °C (Figura 3.a), con temperaturas máximas medias de 21,75 °C (Figura 3.b) y temperaturas mínimas medias de 8,25 °C (Figura 3.c). Las precipitaciones medias anuales (Pp) promedian los 495 mm (Figura 3.d). El índice de aridez (IA= Pp / Evapotranspiración Potencial) varía entre 0,35 y 0,56, por lo cual, según la UNESCO (2006) el territorio del partido Villarino se clasifica en zonas Subhúmedas-secas (IA= 0,65-0,5) y Semiáridas (IA= 0,5-0,2) (Figura 3.e). Respecto a los vientos, promedian los 18 km/h para todo el año, con una predominancia marcada de los vientos provenientes del Norte y Oeste (Figura 3.f) (Morello et al. 2012).

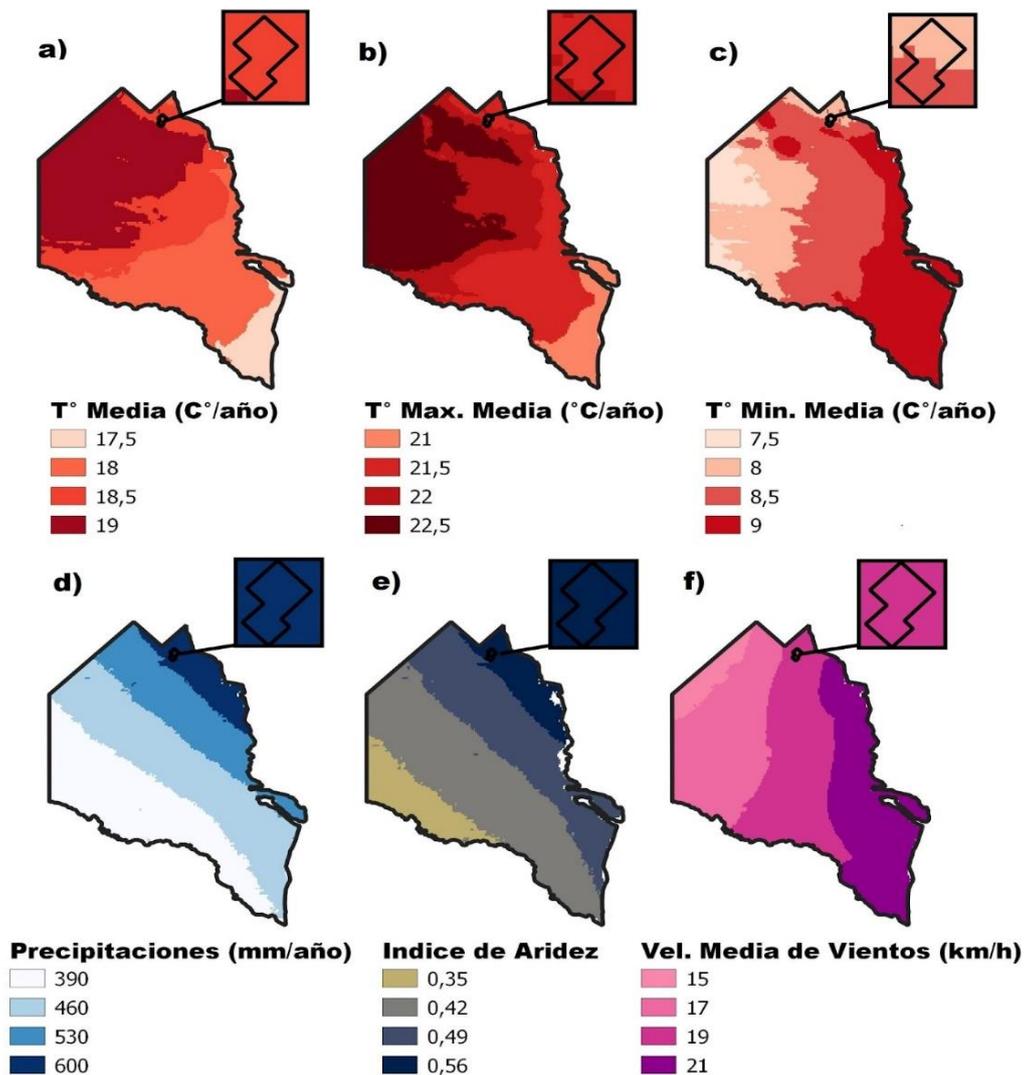


Figura 3. Condiciones climáticas del partido Villarino. **a)** Temperaturas medias en grados centígrados. **b)** Temperaturas máximas medias en grados centígrados. **c)** Temperaturas mínimas medias en grados centígrados. **d)** Precipitación media anual en milímetros. **e)** Índice de Aridez. **f)** Velocidad media de vientos en kilómetros por hora. Elaboración propia a partir de datos de worldclim.org para las series de años 1970-2000.

Los suelos de Villarino en su mayoría son de textura franca o franca arenosa y pertenecen a los órdenes Aridisoles, Molisoles y Entisoles (Figura 4). En particular, el parque eólico “La Castellana” presenta suelos de textura franca y predomina el orden de los Entisoles (Figura 4), todo el partido está inserto en una serie de valles menores productos de la acción eólica y antigua acción fluvial, que forman una suave pendiente en gradiente NE-SO con una altura de 100 a 50 msnm descendiente hacia la depresión de Bahía Blanca (Morello et al. 2012; Gaspari et al. 2021).

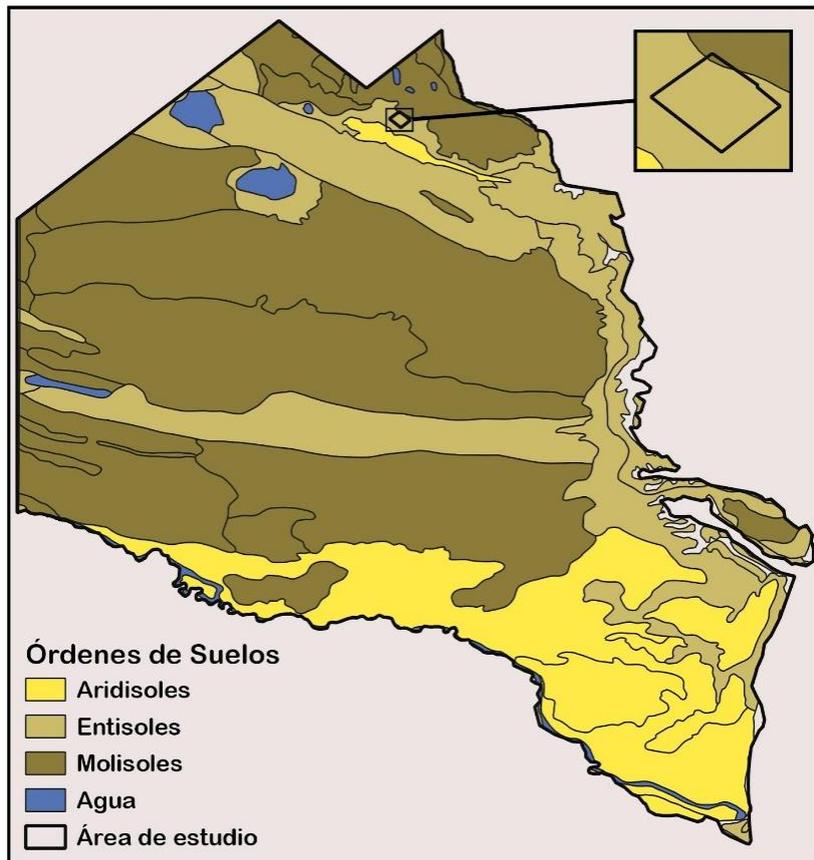


Figura 4. Órdenes de suelos para el partido Villarino y para el área de bosque nativo dentro del predio del parque eólico “La Castellana”. Elaboración propia a partir de datos obtenidos de INTA Digital GEO 2023.

La topografía del parque eólico “La Castellana”, en dirección N-S, en sus primeros 2.000 m presenta una pendiente compleja ligeramente ondulada con una diferencia de nivel del 2 al 5% cada 100 m, luego desde la mitad del área de estudio hasta el límite sur se forma una pendiente simple moderadamente inclinada con una diferencia de nivel del 3 al 8% cada 100 m (Figura 5).

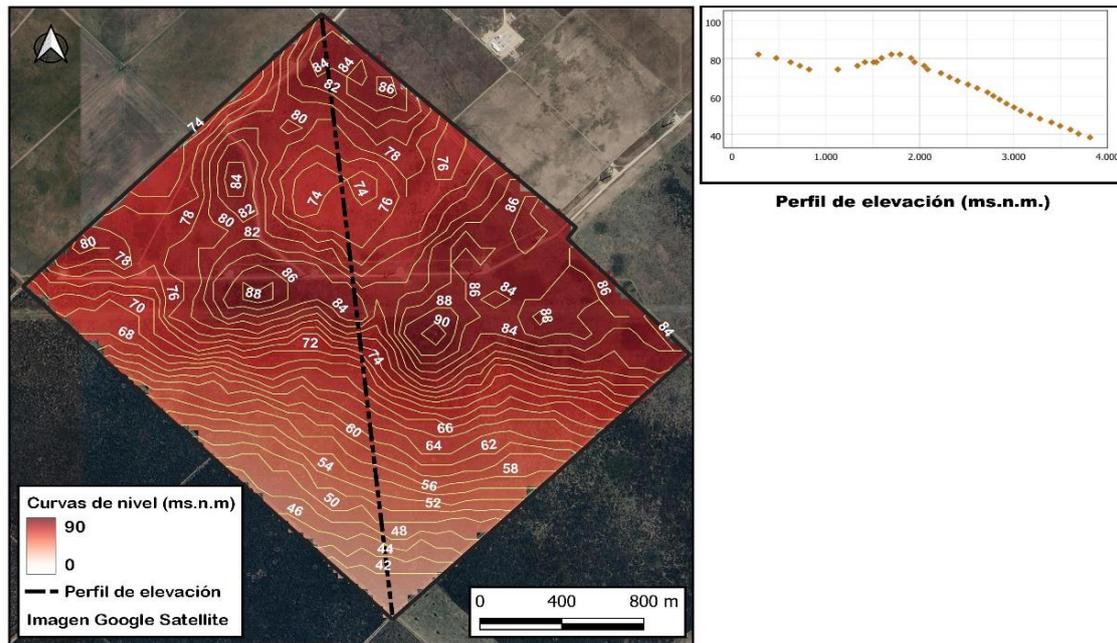


Figura 5. Topografía del Parque Eólico “La Castellana” y perfil de elevación. Elaboración propia, a partir de datos de curvas de nivel obtenidos de OpenTopography.org cada 2 ms.n.m.

5.2. Caracterización de la vegetación (Objetivo 1)

Sobre la base de un análisis visual de imágenes de muy alta resolución en la plataforma Google Earth, se seleccionaron 6 sitios (Figura 6), dentro de la zona de categoría II, distribuidos en el partido Villarino, provincia de Buenos Aires. El criterio de selección de sitios se adaptó de Di Gregorio y Jansen (2000) y de Arturi et al. (2011). Debido a la heterogeneidad espacial que presenta las comunidades vegetales del Monte y del Espinal (Lerner 2005; Bisigato et al. 2009). En cada sitio se establecieron tres parcelas de 10x10 m separadas a una distancia de 70 m entre sí, de acuerdo a lo propuesto por Arturi et al. (2011), quienes estimaron el área y el número de parcelas, según Matteucci y Colma (1982) y encontraron un error por debajo del 16% con respecto a la media para los valores de cobertura total obtenidos en tres parcelas con respecto a los obtenidos para cinco parcelas. Este error se considera satisfactorio para la realización de un inventario estructural y permite reducir el esfuerzo en un sitio dado y aumentar el número de sitios de muestreo.

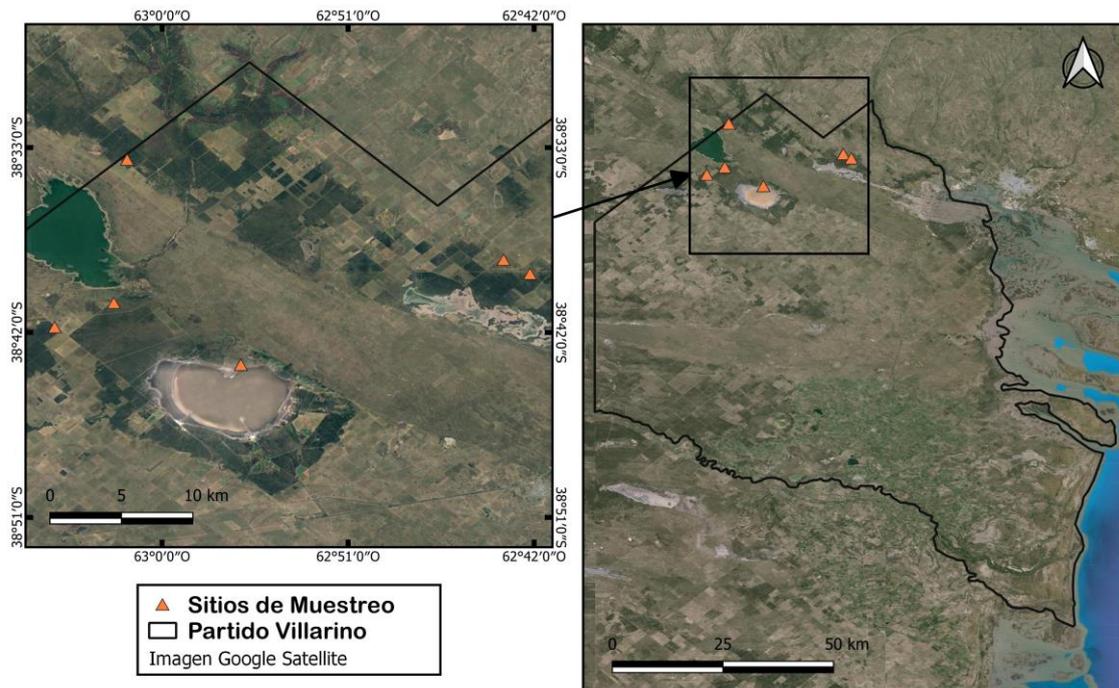


Figura 6. Sitios seleccionados para realizar el muestreo vegetacional. Elaboración propia

En cada parcela, se midió para las especies arbóreas, el número de individuos, la altura y se contó los individuos mayores a 5 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). La altura se midió con clinómetro y el DAP con forcípula. Además, se midió el ancho máximo de la copa y la medida perpendicular al mismo para calcular la cobertura como el área de un círculo con diámetro igual al promedio de las medidas de las copas registradas (Matteucci y Colma 1982).

Para medir los atributos estructurales de las especies arbustivas se consideró la conformación que presenta este grupo en la vegetación, la cual está dada por varios individuos de una especie o diferentes especies contactados por la copa, formando matas monoespecíficas o multiespecíficas. Para estas matas se registró la composición específica, se midió la altura, el ancho máximo de la copa y la medida perpendicular a ésta, con lo cual se calculó la cobertura como el área de un círculo con diámetro igual al promedio de las medidas de la copa registrada. La altura y diámetros de copa se midieron con cinta métrica.

Para realizar la caracterización de la comunidad de referencia, con los datos obtenidos se describió la composición específica, se estimó la altura y cobertura promedio para los estratos arbóreos y arbustivos y la densidad de especies arbóreas por clases diamétricas mayores a 5 cm. (Matteucci y Colma 1982).

Para cada especie presente en el partido Villarino se estimó el índice de valor de importancia (IVI), que es un descriptor de la importancia ecológica de una determinada especie dentro de una comunidad (Zeberio et al. 2018). Resulta de la sumatoria de la frecuencia, la abundancia y cobertura de cada especie,

por lo que es un predictor más robusto de la importancia de cada especie que sus parámetros evaluados individualmente (Mateucci y Colma 1982; Mostacedo y Fredericksen 2000). La frecuencia se estimó a partir del registro de presencia y ausencia promedio de cada especie en las parcelas de los seis sitios de muestreo, así la máxima frecuencia para cada especie fue de 3 y la mínima 0. La abundancia resulta del promedio de la cantidad de individuos de cada especie presente en los seis sitios de muestreo; y la cobertura del promedio de cada especie en los seis sitios de muestreo. Con estos datos se estimó el IVI según la fórmula:

$$IVI (\%) = (Frecuencia\ relativa (\%) + Abundancia\ relativa (\%) + Cobertura\ relativa (\%))/3$$

Donde:

$$Frecuencia\ Relativa (\%) = \frac{Frecuencia\ promedio\ de\ la\ Spi}{\sum Frecuencia\ promedio\ de\ todas\ las\ spp} * 100$$

$$Abundancia\ Relativa (\%) = \frac{Abundancia\ promedio\ de\ la\ Spi}{\sum Abundancia\ promedio\ de\ todas\ las\ spp} * 100$$

$$Cobertura\ Relativa (\%) = \frac{Cobertura\ promedio\ de\ la\ Spi}{\sum Cobertura\ promedio\ de\ todas\ las\ spp} * 100$$

El IVI puede fluctuar entre 0 y 300%. Al dividir el valor de importancia por 3 se obtiene una cifra que fluctúa entre 0 y 100%. Este valor se conoce como el porcentaje de importancia, que constituye un estimador global de la importancia de una especie en una comunidad determinada (Mateucci y Colma 1982; Acosta et al. 2006).

Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva (Tukey 1977).

Para los nombres científicos de las especies y taxa infraespecíficos aceptados se usó de referencia la nomenclatura de la Flora Argentina (Anton y Zuloaga 2024)

A partir de los datos obtenidos se pudo determinar la comunidad vegetal de referencia y se identificó las especies más relevantes que integran la comunidad a restaurar.

5.3. Cuantificación de la superficie boscosa mediante técnicas de teledetección (Objetivo 2)

La cuantificación de la superficie boscosa incluida en el OTBN vigente se realizó tanto para el partido de Villarino como para el predio “La Castellana”. Se evaluó, a través de imágenes satelitales, las tendencias de cambio del bosque nativo en las tres categorías para el partido Villarino y en categoría II para el predio de “La Castellana”. Para esto se emplearon mosaicos de imágenes Sentinel-2 (resolución del pixel 10 m²) de la estación de verano del año 2016 (previa a la instalación de los aerogeneradores) y del año 2023 (posterior a la instalación de los aerogeneradores). Se seleccionó la estación de verano por los resultados encontrados para la región en Rodríguez et al. (2021). Para cada

una de estas fechas, se aplicó la clasificación supervisada Random Forest (RF), una de las más utilizadas para la clasificación de bosques (Gonzalez-Roglich et al. 2015), utilizando las bandas 2, 3, 4, 8, 11 (Tabla 1) y diferentes índices de vegetación.

Tabla 1. Descripción de las bandas del satélite Sentinel-2 utilizadas en la clasificación supervisada Random Forest.

Bandas	Longitud de onda (micrones)	Zona del espectro	Resolución (metros)
B2	0,45-0,52	Luz visible, azul (B)	10
B3	0,54-0,57	Luz visible, verde (G)	10
B4	0,65-0,68	Luz visible, rojo (R)	10
B8	0,78-0,90	Infrarrojo cercano (NIR)	10
B11	1,56-1,65	Infrarrojo medio (SWIR 1)	10
B12	2,10-2,28	Infrarrojo medio (SWIR 2)	10

Los índices de vegetación que se calcularon fueron los siguientes: Índice de Vegetación Normalizado (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI), Índice de Vegetación Mejorado (EVI, por sus siglas en inglés) e Índice de Vegetación Ajustado con el Suelo (*Soil Adjusted Vegetation Index* - SAVI). El NDVI es un índice de vegetación comúnmente utilizado como indicador de características de la vegetación leñosa (árboles y arbustos), tales como biomasa aérea, biomasa verde y contenido de clorofila. Este índice se calcula como la diferencia normalizada entre la banda del rojo y del infrarrojo cercano (Rouse et al. 1973; Tucker 1979) según la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)}$$

Donde:

NDVI = índice de vegetación normalizado (NDVI por sus siglas en inglés).

NIR = banda del infrarrojo cercano, B8.

R = banda del rojo, B4.

El índice de vegetación mejorado incorpora coeficientes para corregir el índice normalizado, reduciendo los ruidos producto de la interferencia de la atmósfera, el canopeo y la saturación en relación con la cantidad de vegetación verde (Huete et al. 2002) según la siguiente ecuación:

$$EVI = \frac{(2,5*NIR-R)}{(NIR+ (C1*R)-(C2*B)+L)}$$

Donde:

EVI = índice de vegetación mejorado (EVI por sus siglas en inglés).

NIR = banda del infrarrojo cercano, B8.

R = banda del rojo, B4.

C = coeficiente de resistencia de la atmósfera (C1=6; C2=7,5).

B = valor correspondiente a la banda azul, B2.

L =valor para ajustar con relación al canopeo (L=1).

Por último, se usó el índice de vegetación ajustado al suelo, propuesto por Huete (1988), para minimizar la variación espectral debido al fondo del tipo de suelo, el cual incorpora el coeficiente L=0.5 para reducir el efecto del suelo para la vegetación de densidad intermedia, según la siguiente ecuación.

$$SAVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R+L)} * 1 + L$$

Donde:

SAVI = índice de vegetación ajustado con el suelo (SAVI por sus siglas en inglés).

NIR = banda del infrarrojo cercano, B8.

R = banda del rojo, B4.

L =valor para ajustar con relación al canopeo (L=0,5).

La clasificación RF requiere de la digitalización de las áreas de entrenamiento, para lo cual se utilizaron antecedentes del área con situaciones boscosas (Rodríguez et al. 2021; Torres Robles y Rodríguez 2023), imágenes de alta resolución e información de capas de coberturas del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Las clases de cobertura del terreno se aplicaron para el área del OTBN vigente de la provincia de Buenos Aires. Para esta superficie se identificaron las siguientes clases: *Bosque* (vegetación boscosa, árboles y arbustos, que ocupa más del 20% de cobertura del suelo) y *No Bosque* (vegetación boscosa que ocupa menos del 20% de la cobertura superficial, cuerpos de agua, pastizales, vegetación de humedales, médanos, cultivos, suelo desnudo y salitrales). Es importante aclarar que, al utilizar la superficie estimada para el ordenamiento de bosques de la provincia de Buenos Aires, uno espera encontrar que la clase *de No Bosque* esté asociada a coberturas a las que podrían variar una superficie boscosa (cobertura menor al 20% de leñosas, suelo desnudo, cultivos o pastizal). Sin embargo, se observaron coberturas como cuerpos de agua, intermareal, médanos y vegetación de humedal que puede estar asociados a errores de la clasificación que determinó la superficie del ordenamiento vigente de bosque nativos para Buenos Aires. Por lo tanto, estas zonas se tuvieron que identificar para las dos fechas analizadas como *No Bosque*.

Se realizaron dos clasificaciones RF mediante la plataforma Google Earth Engine (GEE), una para el año 2016 y otra para el año 2023. Para ambas fechas se determinó la matriz de error, la precisión de la clasificación y el estadístico Kappa (Jensen 2005) con el total de los puntos de entrenamientos *Bosque* y *No bosque*. Los productos provenientes de las clasificaciones fueron descargados de la plataforma GEE para procesarlos mediante el Software Qgis 3.28.4. Se aplicaron herramientas raster de Qgis, con las cuales se generaron mapas de la cobertura del bosque de Caldenal y Monte del partido de Villarino y de “La Castellana”, para el año 2016 y el año 2023. Mediante estas

cartografías, se cuantificó la cobertura en hectáreas (ha) del bosque nativo para todo el partido de Villarino y en particular para el parque eólico en cada año.

Para conocer las tendencias de variación se combinaron los mapas producidos y se identificaron aquellos píxeles que cambiaron de clase tanto para el partido de Villarino como para el predio “La Castellana”. Además, para “La Castellana” se identificó la infraestructura y caminos realizados para la colocación de los aerogeneradores y se estimó el área de pérdida de superficie boscosa permanente producto de dicha instalación.

Por último, se calculó la tasa anual de pérdida de bosque nativo a escala de partido y en el predio “La Castellana”. Para ello se utilizaron las fórmulas q y r , ambas son ampliamente usadas para este tipo de cálculos ya que permiten comparar tasas anuales entre diferentes estudios, aunque Puyravaud (2002) advierte que suele ocurrir una sobreestimación en la tasa q si se aplica en estudios a grandes escalas.

$$q = \left(\left(\frac{A2}{A1} \right)^{1/(t2 - t1)} \right) - 1$$
$$r = (1/(t2 - t1)) * \ln \left(\frac{A2}{A1} \right)$$

Donde:

A1 y A2: Superficies de bosque al inicio y al final del periodo de estudio.

t1 y t2: Año de inicio y año final del periodo de estudio.

5.4. Propuesta de acciones de restauración ecológica (Objetivo 3)

La restauración ecológica busca recuperar/mejorar algunas de las funciones ecológicas del ambiente degradado para facilitar los procesos de sucesión natural, esto permite en un mediano o largo plazo llevar el ambiente degradado a una situación similar a la original, recuperando en algún grado sus funciones y servicios ecosistémicos originales (Aronson et al. 1993; Choi et al. 2008; Navarro Cano et al. 2017).

La producción de árboles nativos o de especies pioneras dominantes y de importancia ecológica puede favorecer al proceso de sucesión vegetal y con el tiempo restaurar el ambiente degradado (Zeberio y Pérez 2020; Rodríguez Araujo 2021).

En este sentido, en base a la caracterización de la vegetación de referencia y la cuantificación de la pérdida de superficie de cobertura boscosa mediante herramientas de teledetección, se propone un plan de acción para restaurar el área de bosque nativo perdido dentro del predio del parque eólico que incluye la identificación de sectores con distintos grados de degradación y selección de especies a introducir. Además, se presentan recomendaciones sobre la base de bibliografía consultada sobre la producción de plantines, monitoreo de supervivencia temprana, reclutamiento de especies y acciones adaptativas de mejora.

6. Resultados

6.1. Caracterización de la vegetación

Se relevaron en total 16 taxa leñosas nativas en los sitios de muestreo, de las cuales 5 son árboles (*Neltuma caldenia*, *Neltuma flexuosa* var. *flexuosa*, *Geoffroea decorticans*, *Schinus fasciculatus* y *Jodina rhombifolia*) y el resto arbustos (Tabla 2), del total de especies relevadas, 3 son especies típicas de Espinal, 8 del Monte y 5 de ambas regiones fitogeográficas (Tabla 2).

Tabla 2. Composición específica en la formación Caldenal y Monte de los sitios relevados en el partido Villarino. Para cada especie se indica la forma de vida, el status y el origen fitogeográfico, en este caso se menciona, para las especies nativas, sólo la presencia en las provincias fitogeográficas Espinal y Monte.

Especie	Forma de vida	Status	Origen fitogeográfico
<i>Geoffroea decorticans</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart.	Árbol	Nativo	Monte
<i>Jodina rhombifolia</i> (Hook. & Arn.) Reissek subsp. <i>delasotae</i> Arana y Luna.	Árbol	Nativo	Espinal
<i>Neltuma Caldenia</i> (Burkart) C.E. Hughes & G.P. Lewis.	Árbol	Endémico de Argentina	Espinal
<i>Neltuma flexuosa</i> var. <i>flexuosa</i> (DC.) C.E. Hughes & G.P. Lewis.	Árbol	Nativo	Monte
<i>Schinus fasciculatus</i> (Griseb.) I.M. Johnst.	Árbol	Nativo	Espinal-Monte
<i>Aloysia gratissima</i> (Gillies & Hook. ex Hook.).	Arbusto	Nativo	Espinal-Monte
<i>Baccharis ulicina</i> Hook. & Arn.	Arbusto	Nativo	Monte
<i>Berberis ruscifolia</i> Lam.	Arbusto	Endémico de Argentina y Uruguay	Espinal
<i>Chuquiraga erinacea</i> D.Don.	Arbusto	Endémico de Argentina	Espinal-Monte
<i>Condalia microphylla</i> Cav.	Arbusto	Endémico de Argentina	Monte
<i>Ephedra triandra</i> Tul. emend. J.H. Hunz.	Arbusto	Nativo	Monte
<i>Larrea divaricata</i> Cav.	Arbusto	Nativo	Monte
<i>Lycium chilense</i> Miers.	Arbusto	Endémico de Argentina y Chile	Espinal-Monte
<i>Lycium tenuispinosum</i> Miers.	Arbusto	Endémico de Argentina y Paraguay	Espinal-Monte
<i>Prosopidastrum globosum</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart	Arbusto	Endémico de Argentina	Monte
<i>Schinus johnstonii</i> F.A. Barkley	Arbusto	Endémico de Argentina	Monte

La vegetación presentó dos estratos bien definidos, uno arbóreo, de 2,57 m de altura promedio, con individuos de 1 m hasta 6 m de altura y otro arbustivo, cuya altura promedio fue de 1,56 m, con individuos de 0,5 m hasta 3 m de altura (Tabla 3). La cobertura promedio fue similar en ambos estratos, sin embargo, los desvíos fueron más altos en el estrato arbóreo. En este sentido, la cobertura arbórea varió entre el 0% y 73%, mientras que, la cobertura arbustiva entre el 3,77% y 63,55% (Tabla 3).

Tabla 3. Valores medios de altura (m) y cobertura (%) de los estratos arbóreos y arbustivos. n: número de individuos de muestra para altura y número de parcelas de muestra para cobertura; D.E: desvío estándar; Mín.: valores mínimos para altura (m) y cobertura (%); Máx.: valores máximos para altura (m) y cobertura (%).

Estrato	n	Media	D.E.	Mín.	Máx.
Altura estrato arbóreo	154	2,57	0,98	1	6
Altura estrato arbustivo	160	1,56	0,55	0,5	3
Cobertura estrato arbóreo	18	25,94	25,35	0	73
Cobertura estrato arbustivo	18	27,8	17,25	3,77	63,55

La densidad total de árboles con DAP mayor a 5 cm fue de 305 ind/ha. Con respecto a la densidad según la especie y clases diamétricas, *N. flexuosa var flexuosa* fue la especie de mayor densidad, con 137 ind/ha (Figura 7). *N. caldenia* presentó una densidad similar a *N. flexuosa*, con 131 ind/ha y resultó ser la especie con individuos de mayor DAP (Figura 7). *G. decorticans* presentó una densidad menor a las especies del género *Neltuma*, con 34 ind/ha, los cuales no superaron los 10 cm de DAP. Por último, *S. fasciculatus* resultó la especie de menor densidad con solo 3 ind/ha con DAP entre 5 y 10 cm (Figura 7). No se encontraron individuos con DAP mayo a 5 cm de la especie *J. rhombifolia*.

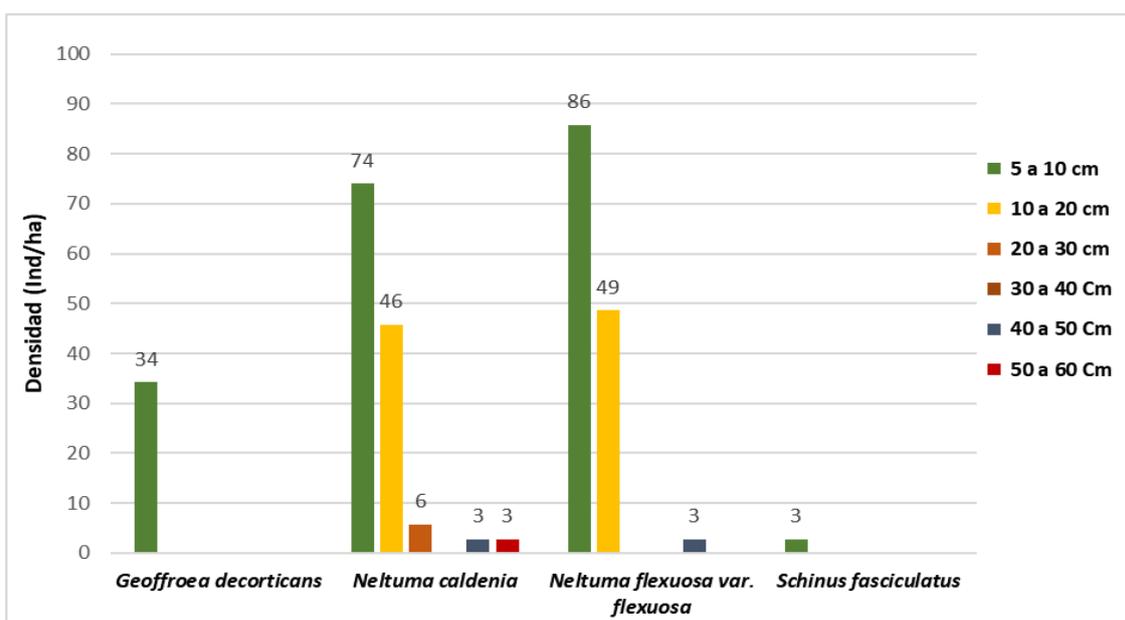


Figura 7. Densidad de especies arbóreas según clases diamétricas.

A partir del IVI se identificaron las especies arbóreas y arbustivas más relevantes, donde se destacaron *N. caldenia*, *N. flexuosa var. flexuosa* y *G. decorticans* entre las especies arbóreas, *C. microphylla*, *Lycium chilense* y *Prosopidastrum globosum* entre las arbustivas (Tabla 4). Estas 6 especies representan el 69% de importancia sobre el total de las 16 especies leñosas muestreadas, acumularon el 58% de la frecuencia relativa del total de las especies, aportan el 70% de la densidad relativa y el 79% de la cobertura relativa (Tabla 4). El resto de las especies presentaron valores de importancia entre el 7 % y el 0,6 % (Tabla 4).

Tabla 4. Índice de valor de importancia (IVI %) para especies leñosas estimado sobre la base de la frecuencia relativa (%), densidad relativa (%) y cobertura relativa (%).

Especie	Frecuencia	Densidad	Cobertura	IVI
<i>Condalia microphylla</i>	12,43	19,79	20,92	17,71
<i>Neltuma caldenia</i>	8,65	11,84	24,11	14,87
<i>Neltuma flexuosa var. flexuosa</i>	11,89	12,77	15,40	13,35
<i>Lycium chilense</i>	13,51	7,79	3,13	8,15
<i>Geoffroea decorticans</i>	3,78	9,66	9,56	7,67
<i>Prosopidastrum globosum</i>	8,65	8,10	6,16	7,64
<i>Larrea divaricata</i>	6,49	7,94	6,67	7,03
<i>Ephedra triandra</i>	7,57	5,61	3,31	5,50
<i>Aloysia gratissima</i>	6,49	6,85	2,93	5,42
<i>Schinus johnstonii</i>	6,49	2,49	1,78	3,59
<i>Schinus fasciculatus</i>	3,24	0,93	2,80	2,33
<i>Jodina rhombifolia</i>	3,78	1,71	0,75	2,08
<i>Chuquiraga erinacea spp. erinacea</i>	2,70	2,18	0,96	1,95
<i>Berberis ruscifolia</i>	2,16	1,25	0,42	1,28
<i>Lycium tenuispinosum</i>	1,08	0,78	0,63	0,83
<i>Baccharis ulicina</i>	1,08	0,31	0,47	0,62
TOTAL	100	100	100	100

6.2. Cuantificación de la superficie boscosa mediante técnicas de teledetección.

En el partido de Villarino la superficie con cobertura boscosa categorizada dentro del OTBN fue de 182.791 ha para el año 2016 y de 168.088 ha para el año 2023, con una diferencia de 14.703 ha entre ambos años (Figura 8; Tabla 5).

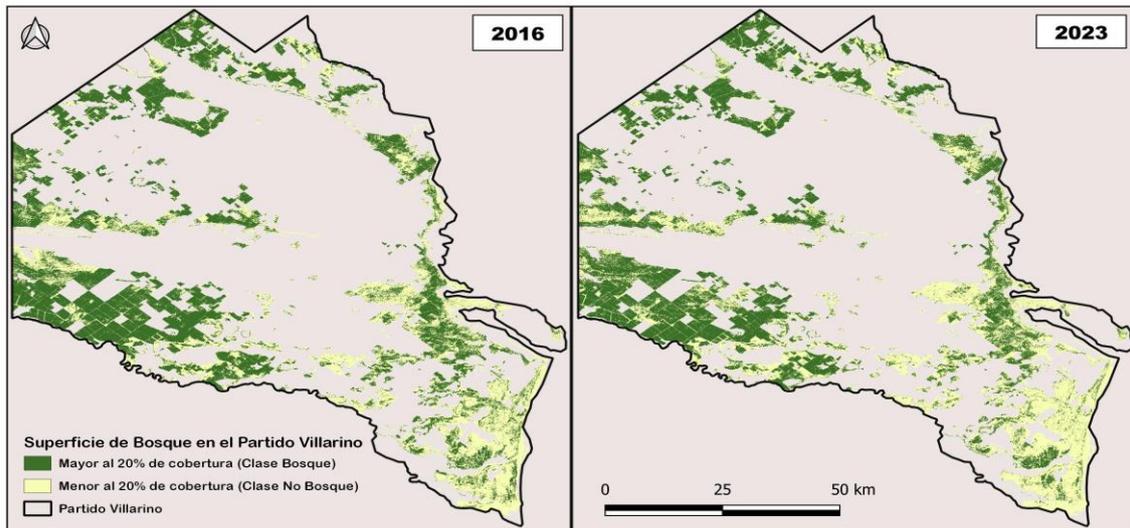


Figura 8. Superficie con cobertura boscosa del área categorizada según el OTBN en el partido Villarino para los años 2016 y 2023.

Tabla 5. Superficie (ha) con cobertura boscosa del área categorizada según el OTBN en el partido Villarino y en el Parque Eólico “La Castellana” en los años 2016 y 2023 y diferencia por pérdida de cobertura (ha) entre ambos años.

Área	Superficie boscosa Año 2016	Superficie boscosa Año 2023	Diferencia entre 2016 - 2023
Partido Villarino	182.791	168.088	14.703
Parque Eólico “La Castellana”	402	359	43

Las clasificaciones supervisadas de las clases *Bosque - No Bosque* del partido Villarino tuvieron una exactitud global del 95% para el año 2016 y del 96% para el año 2023. Para estas clasificaciones el grado de efectividad dado por el coeficiente kappa fue del 89% para el año 2016 y del 87% para el año 2023 (Tabla 6).

Tabla 6. Matriz de error para las clases Bosque y No Bosque para los años 2016 y 2023 en el partido Villarino.

AÑO 2016			AÑO 2023		
Matriz de error	Bosque	No Bosque	Matriz de error	Bosque	No Bosque
Bosque	470	6	Bosque	357	16
No Bosque	21	162	No Bosque	13	155
Puntos de Evaluación:	659		Puntos de Evaluación:	541	
Exactitud Global:	0,96		Exactitud Global:	0,95	
Coficiente Kappa:	0,89		Coficiente Kappa:	0,87	

En el predio del parque eólico la superficie con cobertura boscosa categorizada según el OTBN ocupó 402 ha en el año 2016 y 359 ha en el año 2023, con una diferencia de 43 ha entre ambos años (Figura 9; Tabla 5). Las clasificaciones supervisadas de las clases *Bosque - No bosque* tuvieron una exactitud del

100% en ambas fechas. El grado de efectividad del coeficiente kappa fue del 100% en ambos años (Tabla 7).

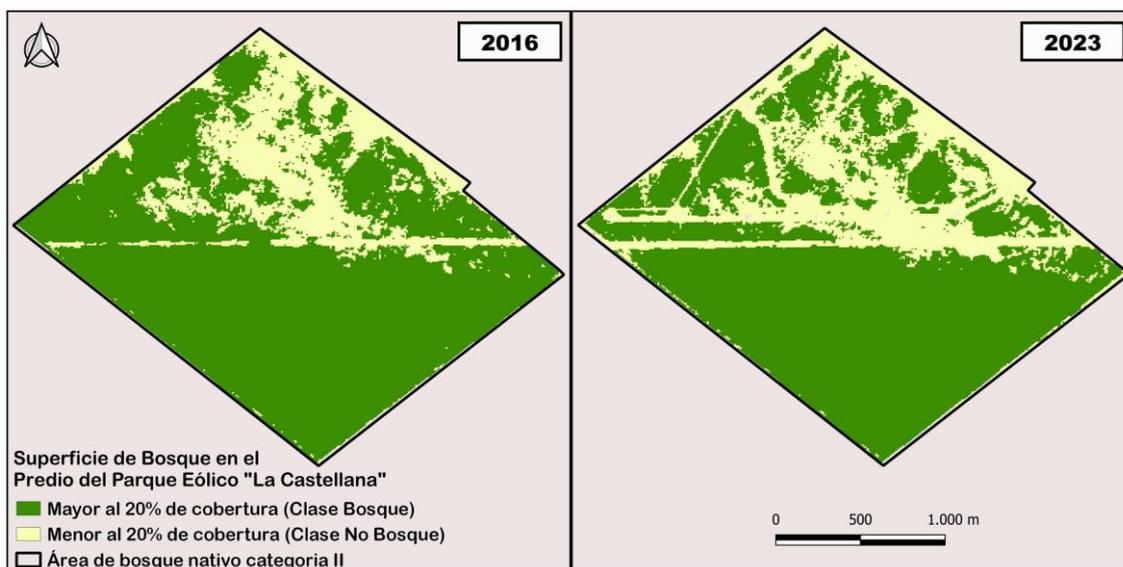


Figura 9. Superficie con cobertura boscosa del área categorizada según el OTBN dentro del parque eólico "La Castellana" para los años 2016 y 2023.

Tabla 7. Matriz de error para las clases Bosque y No Bosque para los años 2016 y 2023 en el parque eólico "La Castellana".

AÑO 2016			AÑO 2023		
Matriz de error	Bosque	No Bosque	Matriz de error	Bosque	No Bosque
Bosque	38	0	Bosque	29	0
No Bosque	0	18	No Bosque	0	17
Puntos de Evaluación:	56		Puntos de Evaluación:	46	
Exactitud Global:	1		Exactitud Global:	1	
Coeficiente Kappa:	1		Coeficiente Kappa:	1	

Respecto a la tendencia de variación de la superficie con cobertura boscosa en el partido Villarino, entre los años 2016 y 2023, se observó que el 12% de las áreas zonificadas con la clase *Bosque* pasaron a la clase *No Bosque* por pérdida de vegetación leñosa (tendencia negativa). El 8% de las áreas clasificadas como *No Bosque* en el año 2016 se clasificaron dentro de la clase *Bosque* en el año 2023 por aumento de la vegetación leñosa (tendencia positiva). El 80% de la superficie se mantuvo sin cambios en la cobertura entre ambos años de análisis (Figura 10).

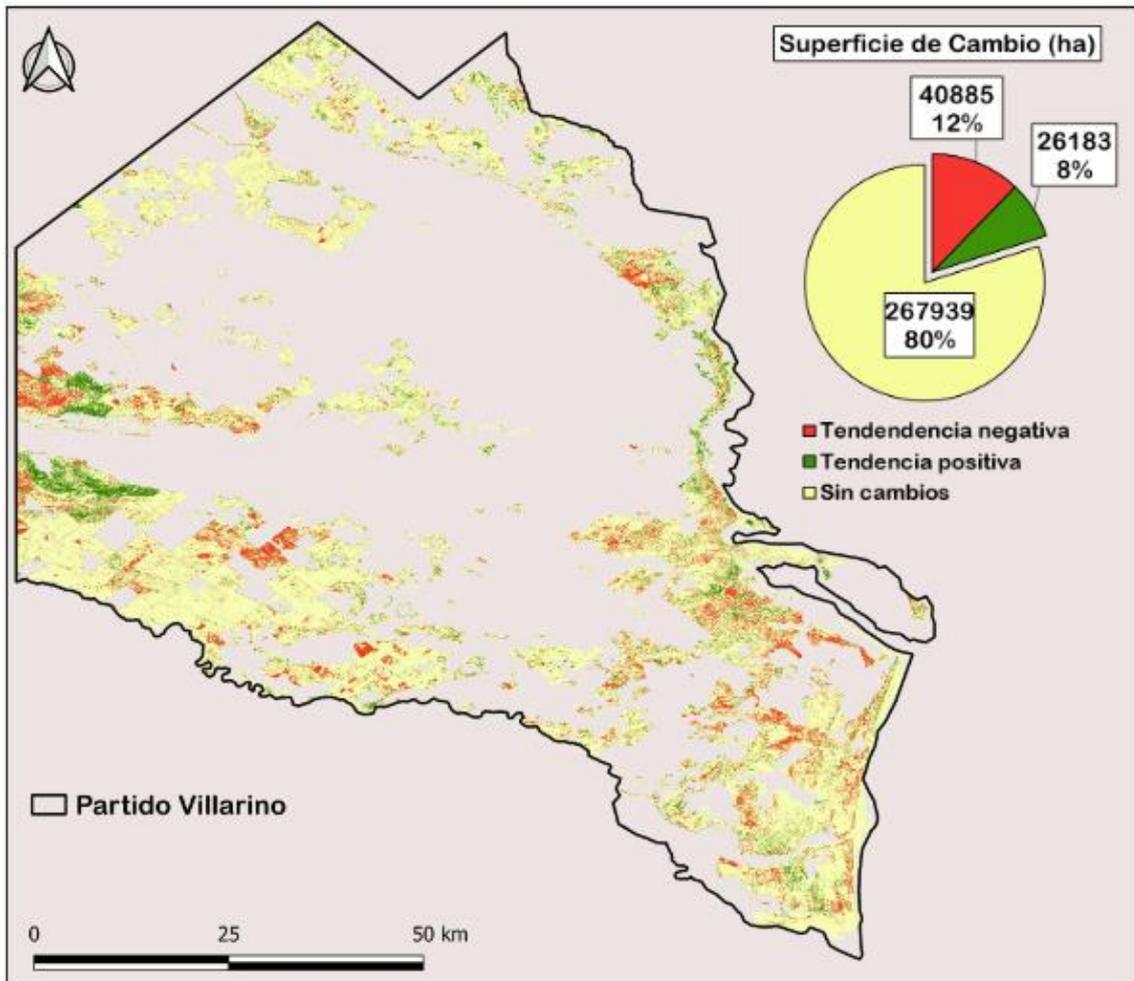


Figura 10. Tendencia de variación de la superficie con cobertura boscosa en el partido Villarino entre los años 2016 y 2023.

En cuanto la tendencia de variación de la superficie con cobertura boscosa en el predio de “La Castellana”, entre los años 2016 y 2023, se observó que el 11% de las áreas zonificadas con la clase *Bosque* pasaron a la clase *No Bosque* por pérdida de vegetación leñosa (tendencia negativa). Solo el 3% de las áreas clasificadas como *No Bosque* en el año 2016 se clasificaron dentro de la clase *Bosque* en el año 2023 por aumento de la vegetación leñosa (tendencia positiva). El 86% de la superficie se mantuvo sin cambios en la cobertura entre ambos años de análisis (Figura 11). En particular, el área identificada con pérdida permanente de cobertura leñosa por la instalación de los aerogeneradores fue de 27 ha y representa el 5% de la superficie total del área con bosque categoría II de conservación dentro del predio (Figura 11).

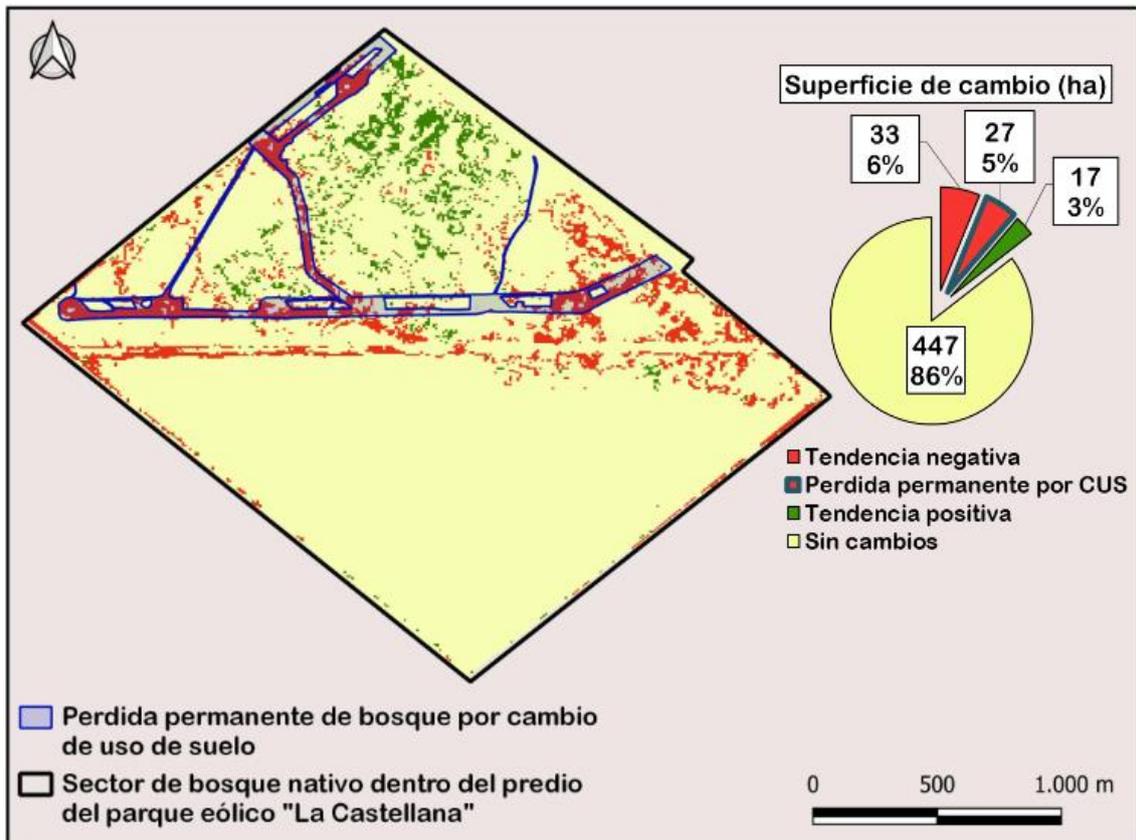


Figura 11. Tendencia de variación de la superficie con cobertura boscosa en el parque eólico "La Castellana" entre los años 2016 y 2023, y la superficie con pérdida permanente de cobertura boscosa por cambio de uso de suelo producto de la instalación de los aerogeneradores.

Con respecto a la tasa anual de pérdida de bosque, no se hallaron diferencias entre los resultados de los índices q y r para la superficie del partido Villarino y tampoco para el predio de "La Castellana". Según estos índices, la tasa de cambio en el parque eólico "La Castellana" fue del 0,23%, ligeramente mayor a la del partido Villarino, cuya tasa fue del 0,17% (Tabla 8).

Tabla 8. Tasas anuales (%) de pérdida de bosque nativo del área categorizada según el OTBN en el partido Villarino y en el Parque Eólico "La Castellana".

Sitio	Tasa anual de pérdida de bosque q	Tasa anual de pérdida de bosque r
Parque Eólico "La Castellana"	0,23	0,23
Partido Villarino	0,17	0,17

6.3. Restauración ecológica

Dado que la superficie de pérdida permanente de vegetación leñosa dentro del parque eólico “La castellana” entre los años 2016 y 2023 fue de 27 ha, se propone un plan de restauración ecológica tendiente a iniciar un proceso de sucesión vegetal para recuperar 27 ha de bosque nativo dentro del predio.

1. Sectores a restaurar:

En la selección de los sectores para los ensayos de restauración se tuvo en cuenta la disposición de los relictos de bosque en buen estado de conservación para generar una continuidad entre los parches de bosque, además, estos parches funcionan como dispersores de semillas para el reclutamiento de especies en los sitios a restaurar. A su vez, los sectores seleccionados se clasificaron según los siguientes criterios:

- A. Sectores alrededor de los aerogeneradores (Figura 12; Figura 13.A). Estos son los sectores con mayor degradación ya que sufrieron pérdida total de cobertura leñosa y movimientos de suelos.
- B. Sectores con cambio de uso de suelo temporal (Figura 12; Figura 13.B). Estos sectores sufrieron la pérdida total de la cobertura leñosa durante la etapa de construcción y fueron utilizados como caminos, para la puesta de obradores o para acopio de materiales, una vez finalizada la obra quedaron abandonados.
- C. Otros sectores degradados (Figura 12; Figura 13.C). Estos son grandes sectores que ya se encontraban degradados antes de la instalación del parque eólico y presentan muy bajo porcentaje de cobertura leñosa.

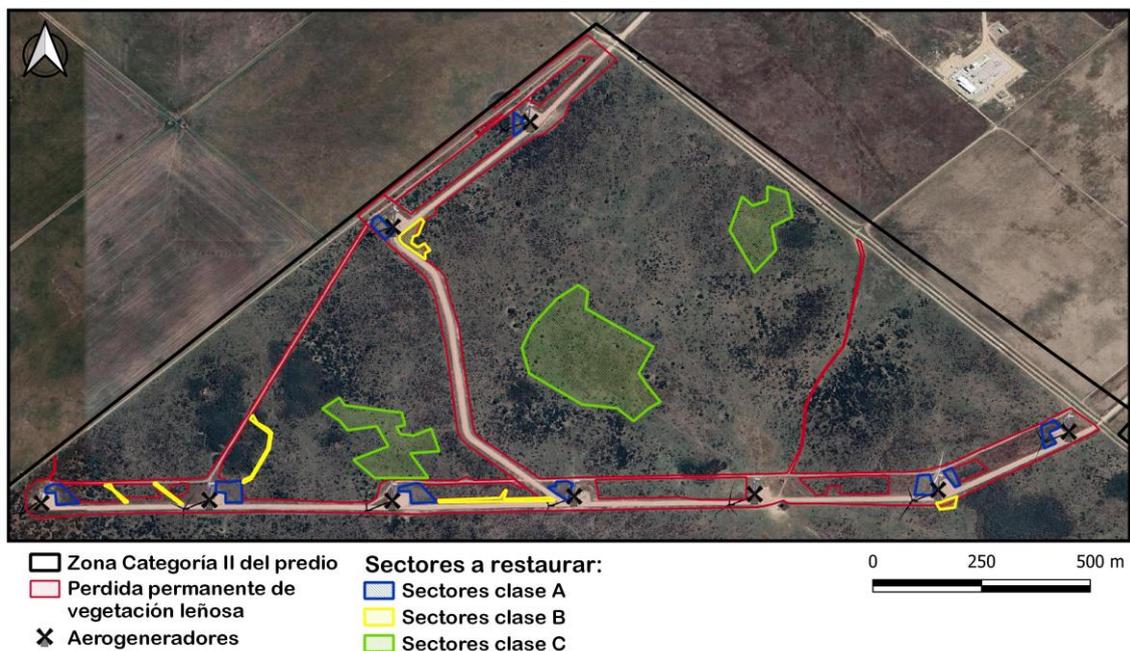


Figura 12. Sectores identificados para realizar acciones de restauración dentro del área categoría II en predio del parque eólico “La Castellana”.

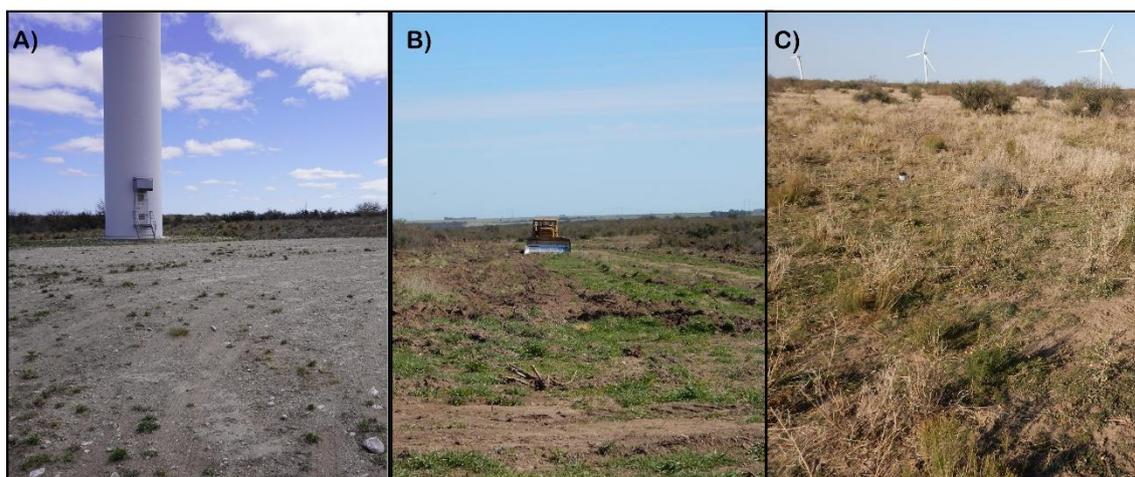


Figura 13. A) Ejemplo de sector clase A; B) Ejemplo de sector clase B; C) Ejemplo de sector clase C.

2. Especies a utilizar:

Según el IVI las especies más importantes son *N. caldenia*, *N. flexuosa* var. *flexuosa* y *G. decorticans* entre las arbóreas y *C. microphylla*, *L. chilense* y *P. globosum* entre las arbustivas. La recomendación es producir individuos de estas especies dependiendo de las características reproductivas, disponibilidad de semillas y del porcentaje de germinación de cada una (Zeberio y Calabrese 2013). En este sentido, Cortina et al. (2006) mencionan que algunas especies del área de estudio aumentan los porcentajes de germinación con tratamientos pre-germinativos como escarificaciones físicas y químicas. Estos autores también mencionan que es deseable utilizar material genético de la zona a restaurar, ya que se encuentra adaptado a las condiciones del ambiente y esto aumenta las probabilidades de supervivencia de las especies una vez trasplantadas.

Para la producción de los plantines Peña (2024) comparó el desarrollo de plantines con relación a diferentes sustratos y tipos de recipientes, a partir de este estudio recomienda el uso de macetas de polietileno de aproximadamente 500 cc y sustrato compuesto por 50% suelo del área, 40% compost comercial y 10% turba, lo cual permitiría obtener un plantel de individuos con un grado de desarrollo similar y con un buen estado sanitario.

Zeberio y Pérez (2020) recomiendan que antes del trasplante a campo se realice un proceso de rustificación de los plantines para aclimatarlos a las condiciones ambientales del sitio a restaurar, además, la elección de la época de trasplante se debe realizar teniendo en cuenta la etapa de latencia que presentan las plantas vasculares en el período invernal. En esta época del año, las plantas detienen su crecimiento y destinan la mayor parte de sus recursos a desarrollar su sistema radicular, por lo que el trasplante aseguraría mayores niveles de supervivencia.

Todo el proceso de producción de plantines, desde la colecta de semillas hasta el trasplante a campo, se realiza en un periodo de aproximadamente 1 año. El

número de plantines a producir por año dependerá de la infraestructura y la capacidad operativa del equipo de trabajo.

3. Propuesta de diseño de los núcleos de restauración:

Considerando el IVI de cada una de las especies se propone una estructura de núcleos de restauración base, disponiendo a los individuos de las diferentes especies para la reintroducción de manera tal que represente la importancia de cada especie en la comunidad (Figura 14). El número de núcleos a instalarse dependerá de las características particulares de cada uno de los sitios dentro de los tres tipos de sectores mencionados en la sección 6.3.1, aumentando el número de núcleos en los sitios más degradados.

Como complemento, se recomienda la puesta de cartelera informativa, referente a la prohibición de la circulación vehicular sobre los sectores a restaurar para evitar la compactación del suelo y pérdida de ejemplares implantados. Para evitar las pisadas del ganado y el pastoreo en las zonas a restaurar, se recomienda colocar clausuras de alambrado que protejan los núcleos de restauración.

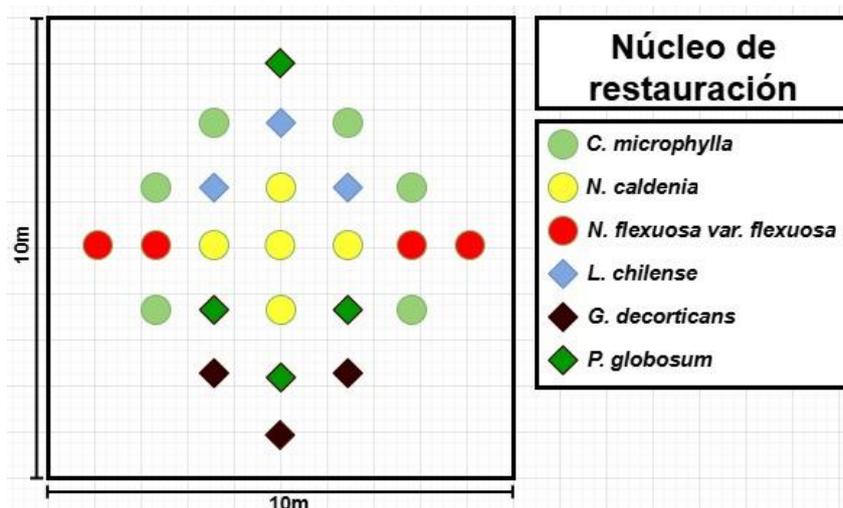


Figura 14. Diseño de núcleo de restauración base de 100 m². La distancia entre plantines es menor a 1,5 m. La cantidad de individuos de cada especie representa la importancia de cada una según el IVI de la comunidad.

4. Monitoreo de supervivencia temprana y reclutamiento de especies:

Para evaluar el éxito del plan de acción, se proponen dos monitoreos anuales en los dos años siguientes al trasplante de los plantines, uno al inicio de la primavera y otro en otoño. Donde se registre la mortandad de plantines, cómo también la riqueza, densidad y cobertura de especies herbáceas y leñosas dentro de los núcleos de restauración, con el objetivo de evaluar el éxito en la supervivencia temprana de los individuos trasplantados y el reclutamiento de especies herbáceas y leñosas que indiquen el inicio de una sucesión vegetal (Zeberio 2018).

5. Acciones adaptativas de mejora:

A partir de los monitoreos, se identifican posibles acciones correctivas del plan de acción tendientes a optimizar el proceso de restauración de los sitios

seleccionados. Algunas de ellas pueden ser la reposición de individuos muertos, la aplicación de abonos al momento de reemplazo de plantines o el mantenimiento de las clausuras, entre otras.

7. Discusión

Los resultados de la caracterización de la comunidad de referencia determinaron una estructura compleja para este sector del Bosque de Caldenal y Monte. La vegetación estuvo compuesta por dos estratos bien definidos, uno arbóreo y otro arbustivo. Ambos estratos presentaron una gran variación en la cobertura, esto se puede deber a la heterogeneidad de distribución espacial de las comunidades leñosas del Espinal y Monte (Arturi 2006; Torres Robles et al. 2015; Rodríguez 2024). Esta complejidad también es mencionada por diversos autores que, para estas comunidades, describen situaciones de bosque denso y situaciones de bosque abierto (Álvarez et al. 2006; Álvarez et al. 2015; Villagra 2021; Torres Robles y Rodríguez 2023).

En general, el estrato arbóreo, presentó valores de altura y de DAP promedio bajos en comparación a otras situaciones similares de Bosque de Monte y Espinal (Álvarez et al. 2006; Álvarez et al. 2015; Villagra 2021; Torres Robles y Rodríguez 2023). La densidad total de árboles adultos presentó valores de 305 ind/ha, siendo las especies del género *Neltuma* las más abundantes. En este sentido, la densidad de *N. flexuosa* var. *flexuosa* fue de 137 ind/ha, más alta que la registrada en bosques de *N. flexuosa* var. *flexuosa* en la provincia de Catamarca (114 ind/ha en Álvarez et al. 2015), pero más baja a la registrada para las formaciones boscosas de la provincia de Mendoza (181 ind/ha en Álvarez et al. 2006). Para la especie *N. caldenia*, la densidad fue de 131 ind/ha, este valor es más bajo en comparación a los bosques densos de Caldén donde se registraron 290 ind/ha (Menéndez y La Rocca 2007), pero más alta a la registrada en bosques abiertos de Caldén con arbustos, donde se registraron 98 ind/ha (Menéndez y La Rocca 2007).

Respecto a la superficie que ocupa el bosque nativo del OTBN en el partido Villarino, entre los años 2016 y 2023, 40.885 ha tuvieron tendencias negativas (pérdida de cobertura leñosa) y 26.183 ha tendencias positivas (ganancia de cobertura leñosa). En total se cuantificaron 14.703 ha menos de superficie con cobertura boscosa dentro del área del OTBN, esto significa una pérdida del 4% de superficie de bosque nativo entre los años 2016 y 2023. La tasa anual de pérdida de bosque (r) fue de 0,17%, este valor está en el límite inferior de lo registrado como tasas de pérdida anual publicadas por la Dirección Nacional de Bosques (2022), donde entre el período 2007 y 2022 los valores oscilaron entre el 0,2% y el 0,9% para todo el Espinal. En estos sistemas, las tendencias de cambio en la superficie de cobertura boscosa, en gran parte están dadas por la dinámica de los fuegos y por cambios de uso de suelo (Medina 2007; Rodríguez 2017; Delegido et al. 2018; Gaspari et al. 2021). En particular, los Bosques de Caldén son resilientes ante los regímenes de fuegos y tienden a

rebrotar luego del disturbio (Medina 2007), esto podría explicar algunas de las tendencias positivas y negativas en distintos sectores del bosque nativo de Villarino, aunque hace falta estudios más exhaustivos en la zona para poder afirmarlo.

En el parque eólico “La Castellana”, durante el mismo período de análisis que en el partido Villarino, la superficie de bosque nativo perteneciente a la categoría II del OTBN, tuvo tendencias de cambio negativas en 60 ha y tendencias de cambio positivas en 17 ha, por lo cual, la superficie de bosque nativo disminuyó un 8% (43 ha) entre los años 2016 y 2023, esto es un 4% mayor al porcentaje de pérdida de bosque calculado para el partido Villarino. Esta diferencia también se ve reflejada en la tasa de pérdida anual de bosque, ya que el r fue de 0,23%, ligeramente mayor al r calculado para Villarino (0,17%). Estas diferencias entre las tendencias de cambio se podrían explicar en gran parte por el impacto directo de la instalación de la infraestructura del parque eólico, que afectó de forma permanente a aproximadamente 27 ha del predio, lo que significó el 45% de la pérdida total de superficie con cobertura de leñosas en el periodo 2016-2023. Además, el impacto indirecto en la etapa de construcción por voladuras de material, compactación por pisadas de vehículos y maquinarias o roturas de ramas, entre otros, sobre las secciones de bosque cercanas a las obras, puede haber contribuido con la pérdida de superficie de bosque (CP Renovables 2016). Por otro lado, es probable que la ganadería extensiva del predio sea un factor de cambio de la estructura del bosque nativo, como lo indican diferentes estudios de la zona (Zeberio 2012; Gonzalez-Roglizh et al. 2014; Zeberio et al. 2018). También es probable que la presencia de las obras haya desplazado al ganado, aumentando la carga animal en sectores puntuales del predio, aumentando la presión del pastoreo sobre el bosque nativo en esos sectores. Sin embargo, en esta tesina no se evaluó el efecto de la ganadería en el cambio de la cobertura leñosa por lo cual no es posible afirmar que las tendencias de variación se vinculan con la ganadería extensiva.

En el partido Villarino se observó que la pérdida de superficie de bosque no se da únicamente en sectores puntuales, sino que es una tendencia generalizada en toda la extensión del territorio, lo cual aumenta la presión sobre la superficie boscosa del Caldenal y Monte, lo que conlleva a una fragmentación y degradación de estos sistemas. Sumado a esto, Aguiar et al. (2018) advierten que en la confección de los OTBN provinciales no se han unificado criterios de zonificación, por lo cual, los sistemas boscosos pierden conectividad entre límites provinciales. Agravando la situación de Villarino, si se tiene en cuenta que el partido comparte la extensión del Caldenal y Monte con la provincia de La Pampa.

Si bien, la Ley Nacional define los criterios de sustentabilidad ambiental para el ordenamiento de los bosques, al no definir la importancia de cada uno, las provincias han variado la prioridad de estos criterios en la elaboración de sus

OTBN. De hecho, en muchos sectores se han definido las categorías de conservación en base a la aptitud agrícola, por lo cual, las áreas con categoría I en su mayoría han quedado relegadas a aquellas tierras sin potencial agrícola y no se han elegido en función de su importancia ecológica (Guinzburg y Torrella 2022). Por ello, es necesario que los organismos provinciales y nacionales creen mecanismos de coordinación que unifiquen criterios metodológicos en la confección de los OTBN.

Otro factor relevante es recuperar la conectividad entre parches de bosques degradados, para ello, es necesario contar con herramientas que permitan desarrollar planes de restauración ecológica. En este sentido, esta tesina permitió identificar lineamientos de restauración de manera tal que el largo proceso que implica la recuperación de la estructura, composición y servicios ambientales sea más eficiente y contribuya a la conectividad entre los parches de bosque a nivel de paisaje.

Si bien los objetivos de esta tesina no se centraron en las acciones de restauración, la misma se realizó en el marco de un convenio de vinculación entre la empresa “Central Puerto S.A.U” y la Universidad Nacional de Río Negro para llevar adelante el plan de restauración. Por lo cual, se destaca el compromiso de “Central Puerto S.A.U” en llevar adelante estas tareas y marca un precedente importante en el cumplimiento de la normativa de bosques vigente para la provincia de Buenos Aires.

8. Conclusiones

- Los sistemas de información geográfica (GIS) resultaron una herramienta muy importante para esta tesina. Permitieron caracterizar el área de estudio, cuantificar las tendencias de cambio de superficie boscosa a nivel partido y a nivel predio, como también, identificar posibles sectores para restaurar.
- En el parque eólico “La Castellana” se pudo cuantificar la pérdida permanente de superficie boscosa producto de la instalación de los aerogeneradores e identificar tres situaciones con distintos grados de degradación, para las cuales, además se propone un plan de restauración con diferentes herramientas de restauración ecológica.
- Esta tesina aporta herramientas útiles para diagramar estrategias que faciliten la aplicación de la normativa de bosques vigente, tanto en la caracterización del estado de la vegetación, cómo también para identificar estrategias de restauración en los Bosques de Caldenal y Monte.
- Los resultados obtenidos podrían servir cómo línea de base para abordar estudios de áreas degradadas dentro de la zonificación del OTBN.

9. Bibliografía

Acosta, V., Araujo P., Iturre M. 2006. Caracteres Estructurales de las Masas. Serie didáctica N° 22. FCF- UNSE. Pp. 35

Aguiar S., Mastrangelo M.E., García Collazo M.A., Camba Sans G.H., Mosso C.E., Ciuffoli L., Schmidt M., Vallejos M. 2018. ¿Cuál es la situación de la Ley de Bosques en la Región Chaqueña a Diez Años de su Sanción? Revisar su Pasado Para Discutir su Futuro. Asociación de Ecología Argentina. *Ecología Austral* 28:400-417. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.2.0.677>

Álvarez J.A., Villagra P.E., Cony M.A., Cesca E.M., Boninsegna J.A. 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., Villagra P.E., Cesca E.M., Rojas F., Delgado S. 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>

Anton A.M. y Zuloaga F.O. 2024. Flora Argentina. En: <http://www.floraargentina.edu.ar> Consultado el 7/8/2024.

Arturi M.F. 2006. Situación Ambiental en la Ecorregión Espinal: 241-246. En: A. Brown, U. Martinez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera (Ed.) *La situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre, Argentina, Buenos Aires. 587 pp.

Arturi M.F., Torres Robles S.S., Herrera Santángelo R. 2011. Proceso de ordenación territorial de los recursos naturales renovables del Monte y Espinal de la provincia de Río Negro. N° de inventario: 48845, reg: 10272. Consejo Federal de Inversiones (CFI), Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Aronson J., Floret C., Floch E., Ovalle C., Pontanier R. 1993. Restoration and Rehabilitation of Degraded Ecosystems in Arid and Semi-arid Lands. I. A view from the South. *Restoration Ecology*. 1, 8–17.

Baumann M., Levers C., Macchi L., Bluhm H., Waske B., Gasparri N. I., Kuemmerle T. 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>

Bisigato A.J., Villagra P.E., Ares J.O, Rossi B.E. 2009. Vegetation heterogeneity in Monte Desert ecosystems: A multi-scale approach linking patterns and processes. *Journal of Arid Environments* 73(2):182-191.

Choi P., Temperton V., Allen E., Grootjans A., Hobbs R.J., Naeth M.A., Torok K. 2008. Ecological Restoration for Future Sustainability in a Changing Environment. *Ecoscience*. 15 (1). 53-64.

Chuvieco E., Riaño D., Danson F.M., Martín P. 2006. Use of a Radiative Transfer Model to Simulate the Postfire Spectral Response to Burn Severity, *J. Geophys. Res.*, 111, G04S09, [doi:10.1029/2005JG000143](https://doi.org/10.1029/2005JG000143).

Cortina J, Maestre F, Vallejo R, et al. 2006. Ecosystem structure, function, and restoration success: Are they related? *Journal for Nature Conservation*, 14(3): 152–160.

CP Renovables SA. 2016. Estudio de Impacto Ambiental Parque Eólico La Castellana, Provincia de Buenos Aires. Ambiental, Estudio y Servicios Ambientales SRL

Delegido J., Pezzola A., Casella A., Winschel C., Urrego E.P., Jiménez J.C., Soria G., Sobrino J.A., Moreno J. 2018. Fire severity estimation in southern of the Buenos Aires province, Argentina, using Sentinel-2 and its comparison with Landsat-8. *Revista de Teledetección*, 51, 47-60. <https://doi.org/10.4995/raet.2018.8934>.

Dengsheng L. 2006. The Potential and Challenge of Remote Sensing-based Biomass Estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (7): 1297-1328.

Di Gregorio A., Jansen L.J.M. 2000. Land-Cover Classification System (LCCS): classification concepts and user manual. FAO/UNEP/Cooperazione Italiana, Rome, 177 pp.

Dirección Nacional de Bosques. 2022. Monitoreo de la Superficie de Bosque Nativo de la República Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Argentina. Tomo 1 - Informe.

Esterlich H.D., Chirino C.C., Morici E.F., Fernández B. 2005. Dinámica de Áreas Naturales Cubiertas por Bosque y Pastizal en la Región Semiárida Central de la Argentina. Modelo conceptual. Cátedra de Ecología Vegetal, Facultad de Agronomía UNLPam. CC 300 Santa Rosa. La Pampa

Gaitán J.J., Bran D., Oliva G., Maestre F., Aguiar M.R., Jobbágy E.G., et al. 2014. Vegetation Structure is as Important as Climate for Explaining Ecosystem Function Across Patagonian Rangelands. *Journal of Ecology* 102:1419-1428.

Gaspari F.J., Goya J., Arturi M., Burns S., Antueno L., Torres Robles S. 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. 83 p

Guinzburg R.G., Torrella S.A. 2022. Impacto de la ley nacional de bosques nativos sobre su conservación Provincias de Chaco, Formosa, Salta y Santiago del Estero. *Estudios geográficos y de ordenamiento territorial*. Vol. XVI, (31). ISSN 1852 - 0006, pp.127-158. Instituto CIFOT, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.

González-Roglich M.G, Swenson J., Villarreal D., Jobbágy E.G., Jackson R.B. 2015. Woody Plant-Cover Dynamics in Argentine Savannas from the 1880s to 2000s: The Interplay of Encroachment and Agriculture Conversion at Varying Scales. *Ecosystems*. DOI: 10.1007/s10021-015-9841-5.

Jensen, J.R. 2005. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Upper Sanddel River, Pearson, Prentice Hall. Pp. 526.

Lerner P.D. 2004. El caldenal: dinámica de poblaciones de Caldén y procesos de expansión de leñosas en pastizales. En: Arturi M.F., Frangi J.L. y Goya J.F. (Eds.).

Ecología y manejo de los bosques de Argentina. Publicación multimedia, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.

Ley N° 26.331. 2007. Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos, Ley N° 26.331. Congreso de la Nación Argentina. Boletín Nacional 26/12/16. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-26331-136125>.

Ley N°14.888. 2017. Conservación y Manejo Sostenible de los Bosques Nativos. Legislatura de la Provincia de Buenos Aires, Ciudad de la Plata.

Lini R.M. 2008. Evaluación del Avance del Desmonte Para Uso Agrícola en el Noreste Rionegrino, Mediante la Utilización de Sistemas de Información Geográfica. Servicio Forestal Zonas Áridas, Dirección de Bosques, Ministerio de Producción, Provincia de Río Negro.

- Morello, J., Mateucci S.D., Rodríguez A.F. y Silvia M.E. 2012. Ecorregiones y Complejos Ecosistémicos Argentinos. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires. 752 pp.

Matteucci, S.D., Colma A. 1982. Metodología Para el Estudio de la Vegetación. Monografía n° 22, Serie Biología. Secretaría General de la OEA. Washington D.C. 168 pp.

Medina A.A. 2007. Reconstrucción de los Regímenes de Fuego en un Bosque de *Prosopis caldenia*, Provincia de La Pampa, Argentina. Revista Bosque 28(3): 234-240

Menéndez J.L., La Rocca S.M. 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.

Mostacedo, B., Fredericksen T. 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. 1º ed. Santa Cruz de la Sierra.

Navarro Cano J.A., Goberna Estellés M., González Barberá G., Castillo Sánchez V.M., Verdú del Campo M. 2017. Restauración Ecológica en Ambientes Semiáridos. Recuperar las Interacciones Biológicas y las Funciones Ecosistémicas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Gobierno de España.

Oyarzabal M., Clavijo J., Oakley L., Biganzoli F., Tognetti P., Barberisz I., Maturo H.M., Aragón R., Campanello P.I., Prado D., Oesterheld M., León R.J.C. 2018. Unidades de Vegetación de la Argentina. Ecología Austral. 28: 040-063.

Peña M.L. 2024. Evaluación de sustratos para la producción de *Neltuma caldenia*– (Burkart) C.E. Hughes y G.P. Lewis (Caldén) para rehabilitar áreas degradadas del Monte y Espinal del NE de la Patagonia. Tesina de grado. Universidad Nacional de Río Negro.

Poder Ejecutivo de la Nación Argentina. 2017. Agenda 2030 Para el Desarrollo Sostenible – Implementación, Decreto 499/17. Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales.

Potapov P., Hansen M.C., Pickens A., Hernandez-Serna A., Tyukavina A., Turubanova S., Zalles V., Li X., Khan A., Stolle F., Harris N., Song X-P., Baggett A., Kommareddy I., Kommareddy A. 2022. The Global 2000-2020 Land Cover and Land

Use Change Dataset Derived From the Landsat Archive: First Results. *Front. Remote Sens.* 3:856903. doi:10.3389/frsen.2022.856903.

Puyravaud J.P. 2002. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management* 177 (2003) 593-596

Rodríguez L.B. 2017. Variación de la Vegetación Leñosa con Relación a la Historia de Uso en el SO Bonaerense y en el NE Rionegrino. Universidad Nacional de Río Negro.

Rodríguez L.B. 2024. Variación de la Vegetación Leñosa con Relación al Clima y Disturbios Naturales y Antrópicos en el Ecotono Sur Espinal-Monte. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. 154 Pp.

Rodríguez Araujo M.E. 2021. Restauración Ecológica de Sitios Degradados por Disturbios Severos en el Monte Austral Neuquino: Evaluación de la Siembra Directa con Especies Nativas. Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo.

Rodríguez L.B., Torres Robles S.S., Arturi M.F., Zeberio J.M., Grand A.C.H., Gaspari N.I. 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>

Rouse J.W., Haas R.H Schell J.A., Deering D.W. 1973. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). *Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium, Greenbelt, 10-14 December, SP-351, 309-317.*

Senado y Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires. 2017. Ley 14.888, Normas complementarias para la conservación y el manejo sostenible de los bosques nativos de la Provincia de Buenos Aires. *Boletín Oficial* 27.952

Stickler C.M., Nepstad D.C., Azevedo A.A., McGrath D.G. 2013. Defending Public Interests in Private Lands: Compliance, Costs and Potential Environmental Consequences of the Brazilian Forest Code in Mato Grosso. *Phil Trans R Soc B* 368: 20120160. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2012.0160>

Tukey J. W. 1977. *Exploratory Data Analysis*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.

Torres Robles S.S., Arturi M.F., Contreras C., Peter G., Zeberio J.M. 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. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 50: 209–215.

Torres Robles S.S., Rodríguez L.B. 2023. Caracterización y Distribución de las Comunidades Leñosas del Ecotono Sur Espinal-Monte, Argentina. *Ecología Austral*. 33: 641-657.

Torres Robles S.S., Zeberio J.M. 2018. Restauración del Monte Nativo en el Parque Eólico “La Castellana”, en el Marco del Proyecto de Plan de Manejo Sostenible de Bosques Nativos del Parque Eólico la Castellana. Villarino, Provincia de Buenos Aires. Servicio a terceros CEANPA UNRN - Central Puerto La Castellana SAU.

UNESCO., 2006. Guía Metodológica Para la Elaboración del Mapa de Zonas Áridas, Semi-Áridas y Sub-Húmedas Secas de América Latina y el Caribe. CAZALAC. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°3.

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.

Winschel, C. I. y Pezzola A. 2018. Avance de la Frontera Agrícola Sobre el Monte Batiwo en Villarino y Patagones, Provincia de Buenos Aires, 1975-2018. Informe técnico N° 60. Colección Investigación, Desarrollo e Innovación. Ediciones INTA. 34 Pp.

WorldClim Historical Climate Data: <https://worldclim.org/data/worldclim21.html>. Consultado el 10/05/2023.

Zeberio J.M. 2012. Avance de la Frontera Agropecuaria en el Noreste Patagónico y sus Consecuencias en los Procesos de Desertificación y Pérdida de Biodiversidad. En: Dos Santos y Torres Sanchez (Ed.) Ciencia y tecnología ambiental. Un enfoque integrador. Asociación Argentina para el progreso de la ciencia. Buenos Aires. 216-221.

Zeberio J.M. 2018. Estado de Conservación y Posibilidades de Restauración en Ecosistemas Semiáridos: el Caso del Monte en el Noreste de Río Negro. Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo.

Zeberio, J. M., Calabrese G. 2013. Tratamientos Pregerminativos en Tres Especies del Género Prosopis. Restauración y Rehabilitación en la Diagonal Árida Argentina

Zeberio, J. M., Pérez C.A. 2020. Rehabilitation of degraded areas in northeastern Patagonia, Argentina: Effects of environmental conditions and plant functional traits on performance of native woody species. Journal of Arid Lands. <https://doi.org/10.1007/s40333-020-0021-x>

Zeberio, J. M., Torres Robles S., Calabrese G. 2018. Uso del Suelo y Estado de Conservación de la Vegetación Leñosa del Monte en el Noreste Patagónico. Ecología Austral. 28: 543-552.