

LAS GEOTECNOLOGÍAS EN EL DESARROLLO SOSTENIBLE

GEOTECNOLOGIAS NO DESENVOLVIMIENTO SUSTENTÁVEL

ISBN: 978-9915-9495-2-9



unesp



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO

UNR

Universidad
Nacional
de Rosario

EDITORES:

**Néstor C. Di Leo
David L. Rosalen**

EL FUNCIONAMIENTO ECOSISTÉMICO DE LOS HÁBITATS DE VILLARINO Y PATAGONES A PARTIR DE PRODUCTOS MODIS

Leandro Palmeyro¹; Alejandra Geraldi¹²; Federico Barragán¹

¹*Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina*

³*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.*

ageraldi@criba.edu.ar

Resumen

El presente trabajo caracteriza funcionalmente los hábitats naturales de los partidos de Villarino y Patagones que actúan como reservorios de carbono. Debido a que estos hábitats se encuentran propensos al desmonte, causado principalmente por el avance de la frontera agropecuaria, el propósito de este trabajo es analizar el funcionamiento ecosistémico de los hábitats que permita la planificación de dichos cambios en los usos y coberturas del suelo en pos de la estabilidad funcional y estructural de los ecosistemas del área y su consecuente provisión de Servicios Ecosistémicos.

El área de estudio se caracteriza por presentar una marcada variación interanual entre periodos secos y húmedos que le otorgan cierta inestabilidad ambiental. Dentro de las consecuencias reconocidas se puede nombrar la pérdida de biodiversidad, intensificación de eventos meteorológicos perjudiciales para los grupos humanos de la región o procesos de desertificación. Primar la conservación de los ecosistemas que brinden una mayor cantidad de servicios ecosistémicos, principalmente vinculados a la regulación, daría la posibilidad de menguar dichas consecuencias y aumentar la resiliencia ambiental del área de estudio.

Teniendo en cuenta el avance inminente de la frontera agropecuaria sobre dichos reservorios, se procedió a caracterizar funcionalmente estos hábitats para distinguir a aquellos que presenten un mejor funcionamiento ecosistémico y, por lo tanto, una mayor provisión de servicios ecosistémicos de interés. Para esto se utilizaron como variables el promedio anual y la variabilidad anual del fPAR presentado por cada parcela correspondiente a los hábitats analizados. Por último, se clasificaron los resultados en 3 clases y se sumaron ambas variables para lograr la caracterización funcional de cada parcela.

Palabras clave: *usos y coberturas del suelo, servicios ecosistémicos, funcionamiento ecosistémico*

Introducción

El hombre transforma el paisaje para obtener alimentos, fibras, combustibles y otros bienes que brindan los ecosistemas (Baeza & Paruelo, 2014). A través del tiempo la humanidad fue modificando la distribución de las cubiertas naturales de los distintos territorios, con el fin de satisfacer diversas necesidades. Dichas intervenciones fueron aumentando en cantidad e intensidad durante los últimos siglos, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XX, producto de distintos avances técnicos y tecnológicos. Estas alteraciones desembocan, en mayor o menor medida, en consecuencias funcionales y estructurales para los ecosistemas, por lo que “el estudio de la dinámica espacial a través de la dimensión temporal constituye una tarea de gran importancia en la investigación científica” (Humacata & Buzai, 2018: 1001).

El uso y cobertura del suelo es una preocupación de importancia nacional e internacional. Cambios experimentados en bosques, tierras de cultivo y cursos de agua están siendo impulsados por prácticas basadas en la extracción intensiva de recursos naturales para obtener beneficios en el corto plazo. En este escenario, “nos enfrentamos al desafío de gestionar las compensaciones entre las necesidades humanas inmediatas y mantener la capacidad de la biosfera para proporcionar bienes y servicios a largo plazo” (Foley, 2005: 570). La mayoría de los ecosistemas actuales están intervenidos directamente por la humanidad y ningún ecosistema de la superficie terrestre está libre de la influencia humana generalizada (Vitousek, Mooney, Lubchenco, & Melillo, 1997). Esta interacción constante entre los seres humanos y el medio físico altera las características y funcionalidades naturales de los ecosistemas. En palabras de Meyer & li (1992: 39): “El cambio en el uso del suelo contribuye (...) a cambios sistémicos como la acumulación de gases traza y a impactos acumulativos o en mosaico como la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo y el cambio hidrológico”. El bienestar y sustento de vida de las sociedades dependen del equilibrio de los ecosistemas planetarios, tanto de aquellos naturales como de los manejados por el ser humano. Es así, que entender el funcionamiento de estos sistemas y los servicios que nos brindan vehiculiza un manejo sostenible, que favorece tanto la demanda económica como la social y cultural, promueve la resiliencia y adaptación de los territorios ante las variaciones espaciales y permite estar en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Estos objetivos, también conocidos como Objetivos Globales, fueron adoptados por las Naciones Unidas en 2015 como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad. Los 17 ODS están integrados: reconocen que la acción en un área afectará los resultados en otras áreas y que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental. Los países se han comprometido a priorizar el progreso de los más rezagados. Dentro de estos objetivos se encuentran por ejemplo los vinculados a la acción por el clima, que buscan abordar las necesidades de los países en desarrollo en cuanto a adaptación al cambio climático e inversión en el desarrollo bajo en carbono, así como también objetivos vinculados a la vida de los ecosistemas terrestres, para reducir la pérdida de hábitats naturales y biodiversidad que forman parte de nuestro patrimonio común.

Los ecosistemas han alcanzado niveles de alto deterioro, encontrando los cambios más importantes e intensos durante los últimos 50 años (Metzger, Rounsevell, & Acosta-michlik, 2006). Esto ha generado una gran necesidad de monitorear las estructuras y el funcionamiento de los ecosistemas a escala local y global, y de incorporar su valor dentro de los procesos de toma de decisiones (Daily, Ehrlich, Lubchenco, & Mooney, 1997). En todo el planeta las sociedades obtienen grandes beneficios de la naturaleza: suelos para cultivar, agua dulce, alimentos, materias primas, paisajes, entre otros. A estos provechos de la naturaleza recibidos por los humanos se los conoce como Servicios Ecosistémicos. Cuando ocurre un cambio o alteración en las coberturas de suelo, la integridad de las funciones ecosistémicas es afectada y en consecuencia, la capacidad de los sistemas para proveer servicios ecosistémicos se reduce. Cabe aclarar que, sin estos servicios el progreso y la supervivencia humana no serían posibles dado que la mayoría de individuos, familias, empresas e industrias dependen de ellos de alguna manera para su bienestar y crecimiento económico.

Argentina presenta una considerable variedad de ecosistemas como resultado de su extensión latitudinal y longitudinal. Cada uno de estos sistemas presentan diversas estructuras y funcionalidades que ofrecen oportunidades a los grupos humanos que los habitan. Los beneficios otorgados por los servicios ecosistémicos son particularmente importantes para territorios que presentan climas áridos y semiáridos, como ocurre con los partidos bonaerenses de Villarino y

Patagones. Estos climas generan una cierta fragilidad ambiental en sus territorios, caracterizados por la variabilidad climática que dan lugar a intensas sequías, las cuales han aumentado en ocurrencia e intensidad en las últimas décadas, tal como fue la sequía ocurrida en la región para los años 2008-2009 (Figura 1).

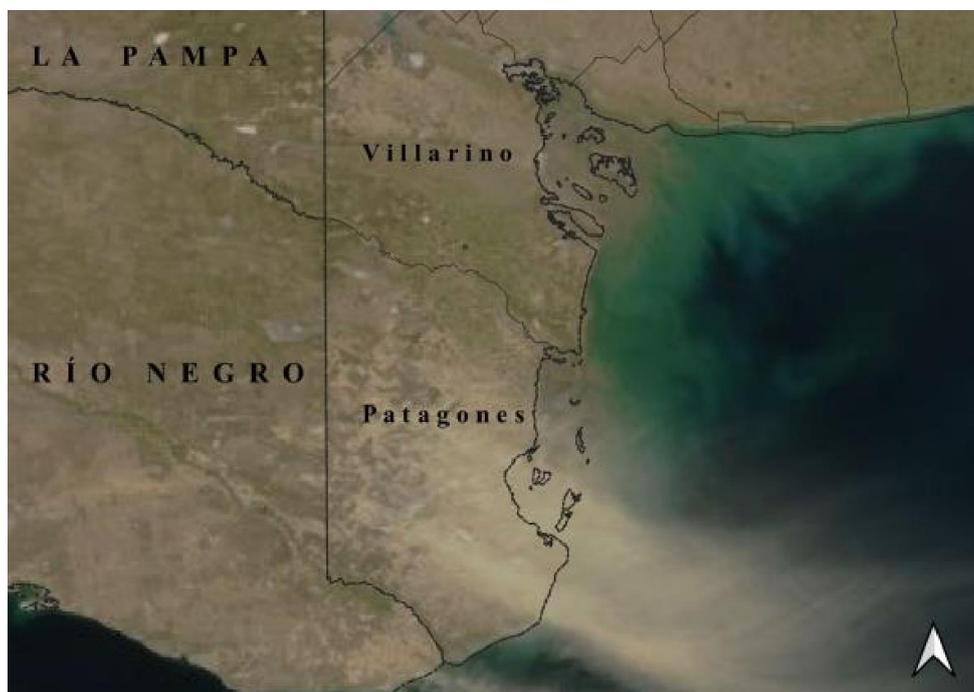


Figura 1: Voladura de suelos en Villarino y Patagones durante la sequía del 2008-2009. Fuente: Palmeyro, L. 2021, sobre la base de NASA, 2009

Los partidos de Villarino y Patagones se encuentran en el extremo sur de la provincia de Buenos Aires y presentan un clima semiárido que se manifiesta con mayor intensidad de norte a sur y de este a oeste. El río Colorado atraviesa la región oficiando de límite político-administrativo entre los dos municipios y generando una zona de riego que abarca el sur de Villarino y el norte de Patagones: el Valle Bonaerense del río Colorado. Los territorios de cada partido fuera del área de riego conforman el secano de Villarino y Patagones. En las últimas décadas extensas áreas del monte y los arbustales de la región fueron desmontados y transformados para abrir espacio a la agricultura, modificando la estructura original de los ecosistemas.

“... a medida que varían los atributos del suelo, principalmente en zonas que presentan característica de fragilidad como las zonas con climas áridos, semiáridos y subhúmedos, este se comienza a degradar quedando reducido en nutrientes y materia orgánica. Esto resulta en un suelo cada vez menos productivo, siendo la consecuencia inmediata la aparición de áreas desértificadas...”(Winschel, 2017: 23).

Durante los últimos 20 años, esta región acumuló la mayor cantidad de días con emergencia agropecuaria por la alta recurrencia de sequía meteorológica, agrícola e hídrica (Ochiuzzi, 2011). Ambos partidos son considerados “como de alta fragilidad ambiental, con gran exposición climática, excesivo refinamiento de los suelos producto de una agricultura anual con inadecuada mecanización y una alta tasa de desmonte de la vegetación natural” (Sanchez, 2011: 371). Teniendo en cuenta esta situación de vulnerabilidad, la planificación y gestión de políticas públicas municipal, provincial y nacional orientada al desarrollo sustentable de los espacios son una herramienta clave para evitar o menguar las consecuencias ya mencionadas. Lograr una sostenibilidad ambiental permite mantener los ecosistemas en equilibrio y garantizar así los beneficios que éstos brindan a los grupos humanos y a los mismos ecosistemas. A esos beneficios ofrecidos por los ecosistemas se los conoce como Servicios Ecosistémicos (SSEE). La implementación del concepto de sostenibilidad y sustentabilidad ambiental en las políticas públicas se ve facilitada con la consideración de la provisión sostenida de SSEE como principio

integrador de los múltiples beneficios que ofrecen los ecosistemas a la sociedad (Cork & Proctor, 2005). El concepto de SSEE proporciona un marco clave para evaluar los impactos humanos en la naturaleza (Staiano, Camba, Baldassini, Gallego, & Texeira, 2021).

“El no considerar el valor del capital natural, como tampoco tenerlo en cuenta en la toma de decisiones políticas y económicas relacionadas a la planificación, ha desembocado en varias ocasiones en la degradación de los ecosistemas y la pérdida de la biodiversidad como resultado de este proceso (...) Factores como el cambio climático y un número creciente de desastres naturales están empeorando el escenario. Además, el aumento en la demanda de costosas tecnologías de avanzada y los caros esfuerzos por restaurar los paisajes degradados, demostraron en muchos casos, las ventajas económicas de las soluciones basadas en la gestión sostenible de los ecosistemas. El uso pleno de los servicios ecosistémicos y la consideración de los valores de la biodiversidad para hacer frente a desafíos globales como el cambio climático, no solo tiene sentido desde el punto de vista ecológico, sino también económico. Por lo tanto, es de vital importancia asegurar que se incorporen los servicios ecosistémicos en la planificación y en las medidas para el desarrollo en todos los sectores” (Kosmus et al., 2012: iv).

Como afirma Carvajal (2010) la Geografía, desde su consolidación como disciplina científica, ha estudiado las relaciones sociedad-naturaleza considerando siempre que el entorno en el que se desenvuelven las distintas sociedades, es vital para entender la vida humana y la organización del espacio. En este contexto, analizar los cambios de usos y coberturas de los suelos de un territorio desde un enfoque ecosistémico se convierte en un campo de acción para el quehacer geográfico, como una forma de identificar los beneficios que obtiene la sociedad humana a partir de los diferentes procesos ecológicos desarrollados al interior de los ecosistemas, evidenciando de una u otra manera esa relación entre la sociedad y la naturaleza que tanto se ha preocupado por describir dicha disciplina.

El objetivo del presente capítulo es analizar los cambios en el uso y cobertura del suelo desde un enfoque ecosistémico que colabore en la planificación con el fin de preservar los hábitats presentes y los Servicios Ecosistémicos que estos brindan. Se pretende además, analizar procesos ecológicos de los reservorios de carbono del área a través de teledetección y SIG; y representar mediante productos informativos los resultados obtenidos como aporte a la toma de decisiones.

Área de estudio

El área de estudio de la presente investigación corresponde a los partidos de Villarino y Patagones (Figura 2), al sur de la Provincia de Buenos Aires. La misma limita al norte con el partido de Bahía Blanca (Pcia. de Buenos Aires), al oeste con las provincias de La Pampa y Río Negro y al este y sur con el Mar Argentino. Villarino (1.140.000 ha), con capital en la localidad de Médanos, y Patagones (1.360.000 ha), con capital en la ciudad de Carmen de Patagones, son los dos partidos más extensos de la provincia, con una superficie total de 2.500.000 ha. Está atravesada por el río Colorado, un río de régimen nival que nace en la cordillera de los Andes, por confluencia de los ríos Barrancas y Grande. El mismo oficia de límite entre los dos partidos y permite el desarrollo de un área de riego artificial hacia ambas márgenes del río que posibilita y potencia el perfil agropecuario del territorio.

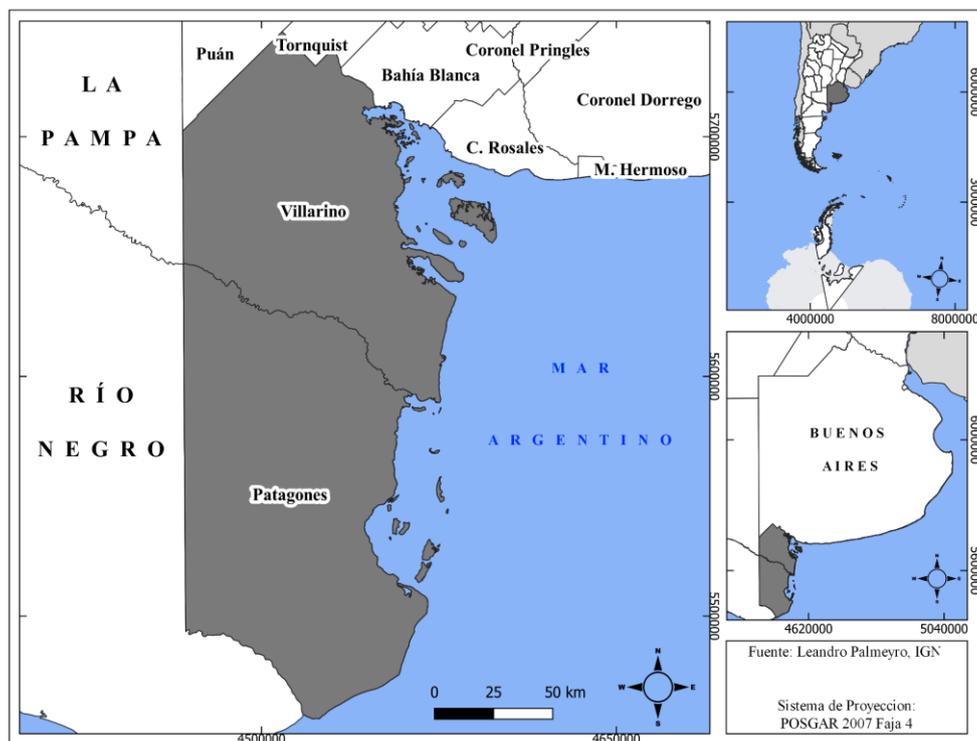


Figura 2: Localización del área de estudio. Fuente: Palmeyro, L. 2021

El área de riego (Figura 3) es administrada por la Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del Río Colorado (CORFO), un ente autárquico con capacidad de derecho público y privado creado por Ley Provincial 6245, el 3 de febrero de 1960. Según CORFO, el área de riego comprende una superficie de 516.641 ha, distribuidas hacia ambos márgenes del río Colorado; de los cuales 211.297 están en Patagones y 305.344 en Villarino y 137.145 se encuentran empadronadas para concesión de riego. Los sembradíos fuera del alcance de esta área corresponden a cultivos de secano y representan aproximadamente unas tres cuartas partes del total de los cultivos del área de estudio.

Esta área forma parte de la Pampa seca, que junto con la Pampa húmeda conforman la Región Pampeana. Según la clasificación climática de Köppen el área de estudio se clasifica dentro del clima árido estepario. Se trata de una región ventosa (Sanchez, Pezzola & Cepeda, 1998) por lo que la predominancia de los suelos franco-arenosos de textura gruesa presentan un escenario propenso a la erosión eólica, intensificada en los períodos de sequía al disminuir la presencia de cobertura vegetal natural. Se estima que una velocidad de 13 Km/h es suficiente para provocar erosión en aquellos suelos cuya estructura está alterada, y si éstos están desprovistos de vegetación pueden producirse voladuras hasta con vientos de 5 Km/h. Debido al régimen pluviométrico escaso y variable de la región como uno de principales factores formadores de suelo, el desarrollo que han adquirido los mismos es relativamente escaso en términos de cantidad de horizontes o estratos componentes de un perfil, contenido de nutrientes y presencia abundante de carbonato de calcio, lo cual no sólo muestra una historia de la escasa precipitación, sino su temperatura promedio en la que fue concebido (Sanchez, 2011).

Desde el punto de vista fitogeográfico, el partido de Villarino está ubicado en la provincia del Espinal (distrito del Caldén) y Patagones en la provincia del Monte (Cabrera, 1951). En la provincia del Espinal se encuentran especies arbustivas xerófilas tales como la jarilla (*Larrea divaricata*), el chañar (*Geoffroea decorticans*), el caldén (*Prosopis caldenia*), el piquillín (*Caldenia microphylla*) y el algarrobo (*Prosopis flexuosa*). También es posible observar comunidades vegetales asociadas con las características edáficas, tal es el caso de las especies que se desarrollan en las zonas de salitres y salinas y las propias de los suelos arenosos que se adaptan a lo largo de los cordones de médanos (Cabrera, 1976). En la zona correspondiente a la provincia del Monte la vegetación es la estepa arbustiva xerófila y halófila. Es posible encontrar la

presencia de un estrato arbustivo compuesto por jarillas (*Larrea divaricata*) y piquillines (*Caldenia microphylla*) y un estrato herbáceo de escasa cobertura, con predominio de gramíneas bajas. Los límites entre estos dos territorios no se pueden determinar con exactitud debido a que existe entre ambos un amplio ecotono (Cabrera, 1976).

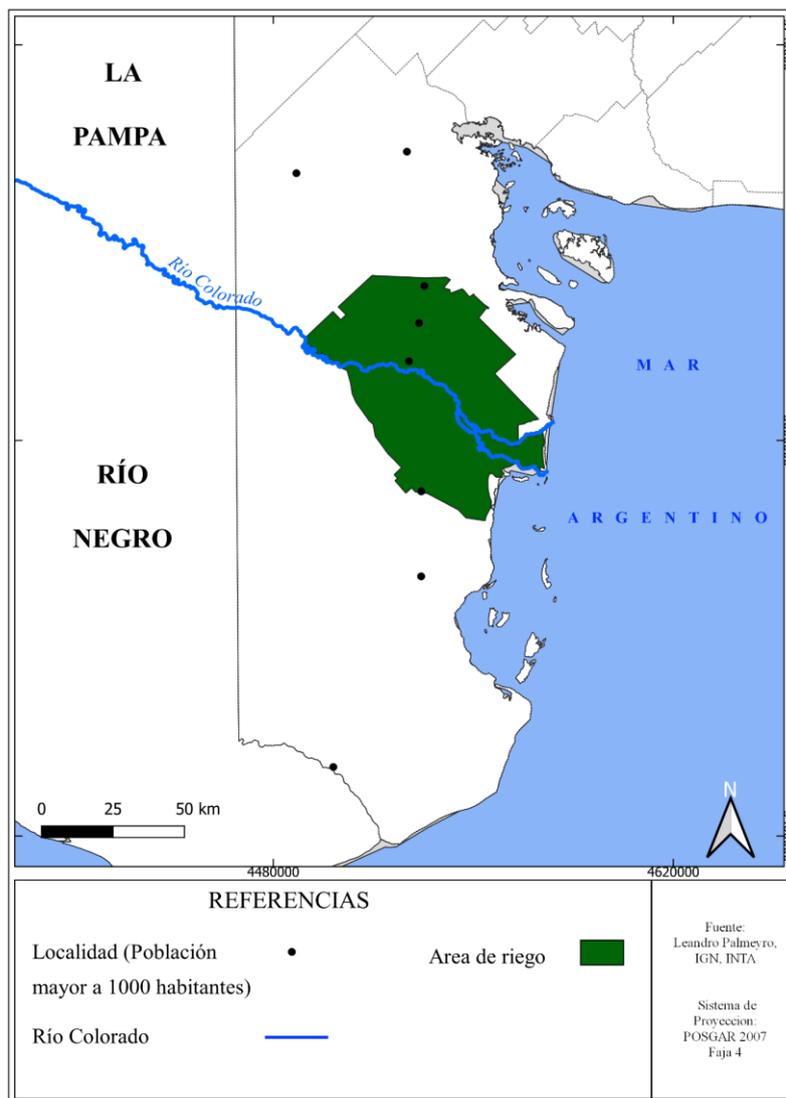


Figura 3: Área de riego del Valle Bonaerense del Río Colorado. Fuente: Palmeyro, L. 2021

La estructura socioeconómica de la región se caracteriza por ser un área dedicada a la agricultura y la ganadería tradicional concentrada en la producción de trigo y la explotación ganadera basada principalmente en verdes invernales. Dentro de los cultivos, predomina el trigo en el N de Villarino y en el E de Patagones. Este cultivo representa la mayor área cultivada en ambos partidos a pesar de su reducción constante desde los últimos años. Otra de las actividades importantes que se realizan en la zona es la ganadería vacuna. Dentro de los cultivos más significativos de la zona de riego del Valle Bonaerense del Río Colorado está el de la cebolla, que constituye una de las principales actividades económicas de la región. En menor medida, se practica además la apicultura y el cultivo de girasol y alfalfa. Los establecimientos rurales aumentan de tamaño, hacia la costa y hacia el SO, donde las condiciones físicas se tornan adversas para las prácticas agrícolas intensivas y las redes de comunicación son escasas. Estas regiones son las que se dedican principalmente a la ganadería extensiva (Dumrauf, 2008).

La región registra un grado de deterioro y degradación ambiental muy elevado debido al modelo de producción presente, orientado a la explotación de los recursos naturales. Esto se manifestó no

solo en la destrucción del medio físico y biológico sino también en la calidad de vida de sus habitantes (Gabella, Luorno y Campo, 2013). Dentro de los aspectos naturales, se evidencian frecuentes e intensos períodos de sequías, ocurrencia de fuertes heladas durante períodos prolongados e incremento de los vientos en épocas donde los suelos se encuentran sin cobertura. Si bien desde el punto de vista climático y edafológico se trata de una región transicional sujeta a una alta fragilidad, protagonizada por intensas sequías, heladas y fuertes vientos, se asocia a este escenario una actividad antrópica importante, dando origen a diversos conflictos dentro del territorio. Como dato ilustrativo, más del 70 % de la superficie con monte natural se ha perdido en los últimos 30 años realizando sobre esos suelos cultivos anuales con un alto grado de refinamiento y pulverización (Sánchez, 2008).

Para Gómez Orea (1994) existen 8 problemas derivados de los conflictos territoriales: 1. Desequilibrio territorial; 2. Impactos ecológicos y paisajísticos debidos a localizaciones incompatibles con el medio; 3. Despilfarro de recursos naturales tanto por falta como por exceso de actividad; 4. Ignorancia de los riesgos naturales en la localización de actividades; 5. Mezcla y superposición desordenada de usos; 6. Incoherencia entre la localización de residencia y empleo y déficit de infraestructuras y equipamientos colectivos; 7. Conflictos entre actividades y sectores; 8. Descoordinación entre organismos públicos. Los territorios rurales de los partidos de Villarino y Patagones son escenario de varias de estas situaciones, producto de los cambios en los usos y coberturas de los suelos experimentados en las últimas décadas. La ordenación territorial se presenta como un instrumento en la gestión de recursos naturales si lo que se busca es equilibrar los usos del suelo en función de su capacidad, prevenir impactos negativos y revertir los procesos de degradación actuales (Recalde & Zapata, 2007). Considerar lo que Gomez Orea (1994) define como “capacidad de acogida de los ecosistemas”. Una estrategia de ordenamiento territorial implica “prever con antelación los impactos en el ambiente que ocasionan las actividades humanas [...] de manera que se puedan tomar medidas de mitigación o evitarlos antes de que ocurran” (Gross, 1998:116). El Ordenamiento Territorial Rural (OTR) se presenta como una opción clave para mitigar o disminuir dichos conflictos en el área de estudio. Es un proceso político-técnico-administrativo que busca organizar, planificar y gestionar el uso y la ocupación del territorio rural, en función de las características biofísicas, culturales, socioeconómicas y político-institucionales. Este proceso debe fomentar el uso inteligente y justo del territorio, aprovechando oportunidades, reduciendo riesgos, protegiendo los recursos en el corto, mediano y largo plazo. Así debe asegurar que los futuros habitantes puedan disfrutar de los beneficios de los mismos.

Con el propósito de medir y visibilizar no sólo la extensión y estado actual de los ecosistemas, sino también entender cómo su funcionamiento afecta el bienestar humano, surge en la literatura de los últimos años, y en especial a partir de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA 2005), el concepto de Servicios Ecosistémicos que son la parte más importante del capital natural con que cuenta una comunidad (Ruth Martínez-Rodríguez, Viguera, Donatti & Harvey, 2017). Son esenciales para el ser humano y funcionan de una manera tan compleja e interconectada entre sí que no pueden ser reemplazados por la tecnología (Daily et al., 1997). A pesar de su importancia, su provisión se ve afectada por diversas presiones sobre dichos espacios. Un desafío clave para el ordenamiento territorial rural es disminuir dichas presiones con el objetivo de mantener los servicios brindados por los espacios rurales y naturales de los territorios.

Por lo anteriormente descrito es de vital importancia la caracterización funcional de los ecosistemas, complementaria a la estructural, debido a que presenta características particularmente atractivas en estudios ecológicos, especialmente a escala regional. Por un lado, permiten una valoración cuantitativa directa de los servicios ecosistémicos, en especial aquellos definidos como de soporte y de regulación, por otro, los atributos funcionales suelen responder más rápido a los cambios en las condiciones ambientales debido a la inercia en la respuesta de los atributos estructurales. El funcionamiento ecosistémico se refiere al intercambio de materia y energía entre la comunidad biótica y la atmósfera, por lo tanto, su caracterización involucra la medición de flujos (Paruelo, 2008). Estas funciones son el resultado de los procesos ecológicos y las estructuras de los ecosistemas y son de una enorme importancia para el bienestar humano. Una de las principales dificultades a la hora de incorporar indicadores funcionales en la caracterización de los ecosistemas es la cuantificación de propiedades involucradas en los flujos de materia y energía. Mientras que las clasificaciones estructurales se ayudan de elementos visibles (composición específica de comunidades vegetales, aspectos fisionómicos, etc.), las

propiedades funcionales son elementos “intangibles” más difíciles de percibir (Fernandez & Piñeiro, 2008). Este problema puede abordarse de manera efectiva mediante el uso de técnicas específicas de teledetección capaces de detectar flujos de energía entre la superficie terrestre y la atmósfera. La teledetección brinda la posibilidad de ir más allá de lo estructural y describir aspectos funcionales de los sistemas ecológicos, particularmente a nivel de ecosistemas (Cabello et al., 2008). Así, la respuesta espectral captada por sensores remotos proporciona información acerca de patrones de captación y reflexión óptica y térmica directamente relacionados con las propiedades funcionales ecosistémicas (Paruelo, 2008).

Metodología y técnicas

La metodología de trabajo utilizada en la presente investigación tiene su base en la Geografía Aplicada. Según Levi (1970), Stamp y Phlipponneau, autores de las primeras dos obras importantes sobre Geografía Aplicada, toman como tales a aquellas investigaciones geográficas que resuelvan los problemas que se presentan en beneficio de la sociedad, aquellas que han sido directamente pedidas por el usuario o son susceptibles de serlo. Considerando el avance de la frontera agrícola y el desmonte como un proceso inminente, se caracterizó funcionalmente los bosques mixtos, arbustos cerrados y arbustos abiertos del área de estudio, debido a que son los tres hábitats que actúan como reservorios de carbono del área y es sobre estos sistemas naturales que avanzan los dos procesos nombrados. Dicha caracterización consistió en calcular el promedio anual de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por la vegetación (fPAR) y su variabilidad anual para el año 2019 de cada parcela correspondiente a dichos hábitats. Estos son dos aspectos de la dinámica de la ganancia de carbono que muestran una relación estrecha con la provisión de servicios ecosistémicos.

Para la construcción de las variables se descargaron 16 productos MODIS MDC15A2 (LAI/fPAR) de un servidor USGS en formato. HDF correspondientes a distintas fechas distribuidas a lo largo del año. Con el software HEGTools se extrajo archivo correspondiente a fPAR de cada producto y se convirtió a formato .TIFF para poder procesarlo en el software QGIS v.3.16. Una vez incorporados al QGIS, los rasters fueron combinados (el área de estudio corresponde a dos gránulos por fecha) y recortados con el vector del área de estudio descargado del IGN. Como los valores de fPAR varían entre 0 y 100, se eliminaron los valores superiores a 100, que corresponden a coberturas particulares determinadas por MODIS. Luego, se recortaron las capas rasters de modo que solamente queden en la matriz los valores correspondientes a las parcelas de los 3 hábitats analizados. Del análisis preliminar de los resultados obtenidos se detectaron valores atípicos que no mantenían una correspondencia espacial con los que lo rodean y fueron corregidos utilizando el plugin Serval de QGIS. Para la corrección de dichos píxeles con valores anómalos se aplicó un filtro de 3x3, asignándoles el valor promedio de los 8 que lo rodean. Luego de estos procesos quedan los ocho rasters en condiciones de ser integrados al modelo y de esta manera realizar los cálculos de las dos variables de interés.

Para calcular el *promedio anual de fPAR* se realizó la sumatoria de las capas y se dividió al resultado por 8. En el caso de la *variabilidad anual de fPAR* fue necesario calcular el coeficiente de variación de las capas (Desvío estándar/Promedio). Para esto, se obtuvo en primera medida el desvío estándar del conjunto de datos. A la capa resultante se la dividió por el promedio y se obtuvo el coeficiente de variación. A continuación, se calculó el valor promedio que cada parcela perteneciente a los hábitats analizados presenta respecto al *promedio anual de fPAR* y la *variabilidad anual de fPAR*. Luego las parcelas fueron reclasificadas por separado en 3 clases, con base en ambas variables. Dichas clases fueron obtenidas a partir del cálculo del histograma de los valores obtenidos en cada parcela para ambas variables y sus valores cuantiles. En el caso del promedio anual de fPAR, los valores anteriores al primer cuantil se los consideró de *clase 1*, entre el primer y segundo cuantil de *clase 2* y mayores al segundo cuantil de *clase 3*. Para el histograma de la variabilidad anual, los valores mayores al segundo cuantil se los consideró de *clase 1*, entre el primer y segundo cuantil de *clase 2* y menores al primer cuantil de *clase 3*. Por último, se sumaron las capas reclasificadas correspondientes a cada variable, generando la capa final de caracterización funcional de los hábitats analizados. Las parcelas que hayan dado como

resultado valores 6 o 5 se las considero de *mayor funcionamiento ecosistémico*, las de valor 4 como de *funcionamiento ecosistémico intermedio* y las de valor 3 o 2 como de *menor funcionamiento ecosistémico*.

Resultados y discusión

Para el caso de esta investigación la caracterización funcional se realizó a través de dos variables derivadas de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por la vegetación (fPAR). Dichas variables fueron el promedio anual de fPAR y la variabilidad anual de fPAR. El espacio funcional así identificado permite describir la variabilidad ecosistémica de un territorio, dado que las variables usadas están relacionadas con la respuesta que los ecosistemas muestran frente al gradiente ambiental completo de una región (Cabello et al., 2008). El fPAR define la cantidad de radiación solar que ingresa al sistema y que es absorbida por la cubierta vegetal. Es un parámetro utilizado en la detección remota y en el modelado de ecosistemas, dado que representa el intercambio de energía, vapor y CO₂ (Fang et al., 2005a en Vega-Araya & Alvarado-Barrantes, 2019).

En la figura 4 se presenta la media de valores de fPAR para el producto MCD15A3H.v6 para el año 2019. El fPAR de un lugar varía entre 0 y 100. Al ser una fracción, el valor hace referencia al porcentaje de la radiación fotosintéticamente activa que incide en la superficie y es absorbida por la biomasa. En el partido de Villarino los valores variaron entre 10,75 y 65,75, mientras que en el partido de Patagones lo hicieron entre 13,87 y 75,88. Cuanto mayor sea el valor de fPAR, mayor es el porcentaje de la fracción de la radiación incidente fotosintéticamente activa que es absorbida por ese hábitat. Los territorios que presentan altos valores de fPAR promedio están asociados a una alta provisión de servicios ecosistémicos.

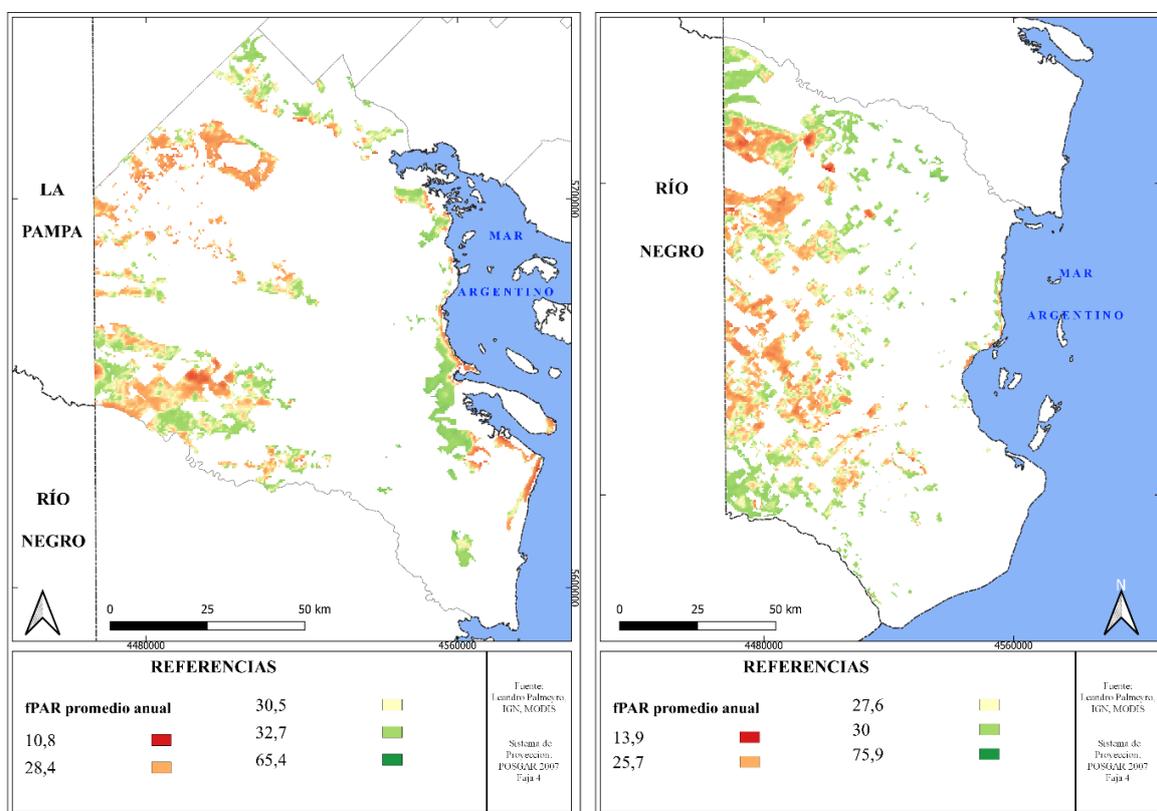


Figura 4: Promedio anual (2019) de fPAR para los hábitats seleccionados de Villarino y Patagones. Fuente: Leandro Palmeiro, 2021

Como se explicó en la metodología, se obtuvo una clasificación de las parcelas compuesta por 3 clases, siendo la clase 3 la que mayor fPAR promedio anual presenta. En la figura 5 se observa la distribución de las clases tanto en los partidos de Villarino como de Patagones.

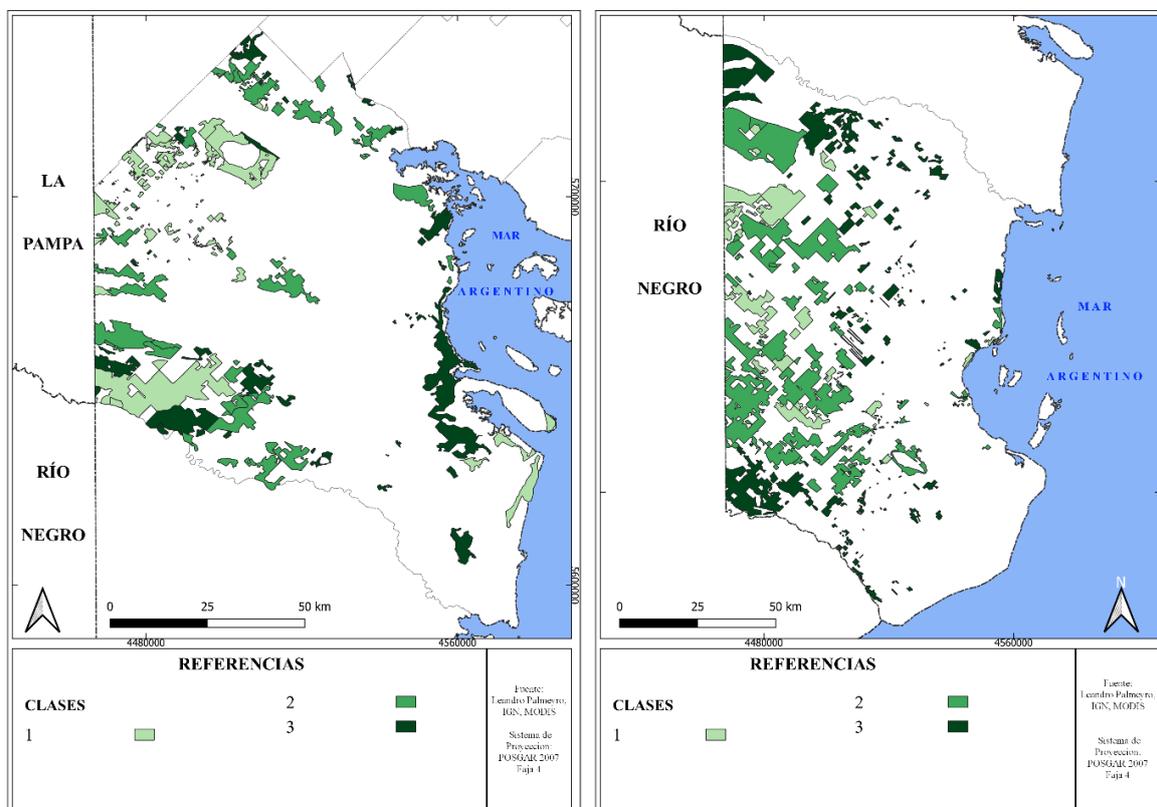


Figura 5: Clases correspondientes al fPAR promedio anual para los partidos de Villarino y Patagones. Fuente: Leandro Palmeyro, 2021

En la figura 6 se presenta la variación anual de fPAR para el producto MCD15A3H.v6 para el año 2019. La variabilidad anual obtenida a través del cálculo del coeficiente de variación fluctúa entre 0 y 100. En Villarino los valores variaron entre 1,82 y 63,79, mientras que en Patagones lo hicieron entre 3,10 y 74,98. Cuanto mayor sea el valor del coeficiente, mayor será el rango de variación de fPAR a lo largo del año. Los territorios que presentan altos valores de fPAR promedio están asociados a una menor regularidad, estabilidad y capacidad de respuesta frente a cambios ambientales con respecto a territorios con una variación anual estable.

Se obtuvo una clasificación de las parcelas compuesta por 3 clases, siendo la clase 3 la que menor variabilidad anual presenta. En la figura 7 se presenta la distribución de las clases tanto en los partidos de Villarino como de Patagones. Se observa que la mayor variabilidad de fPAR está restringida a unas pocas parcelas, en el caso de Villarino hacia el área costera y en el caso de Patagones hacia el noroeste y sur.

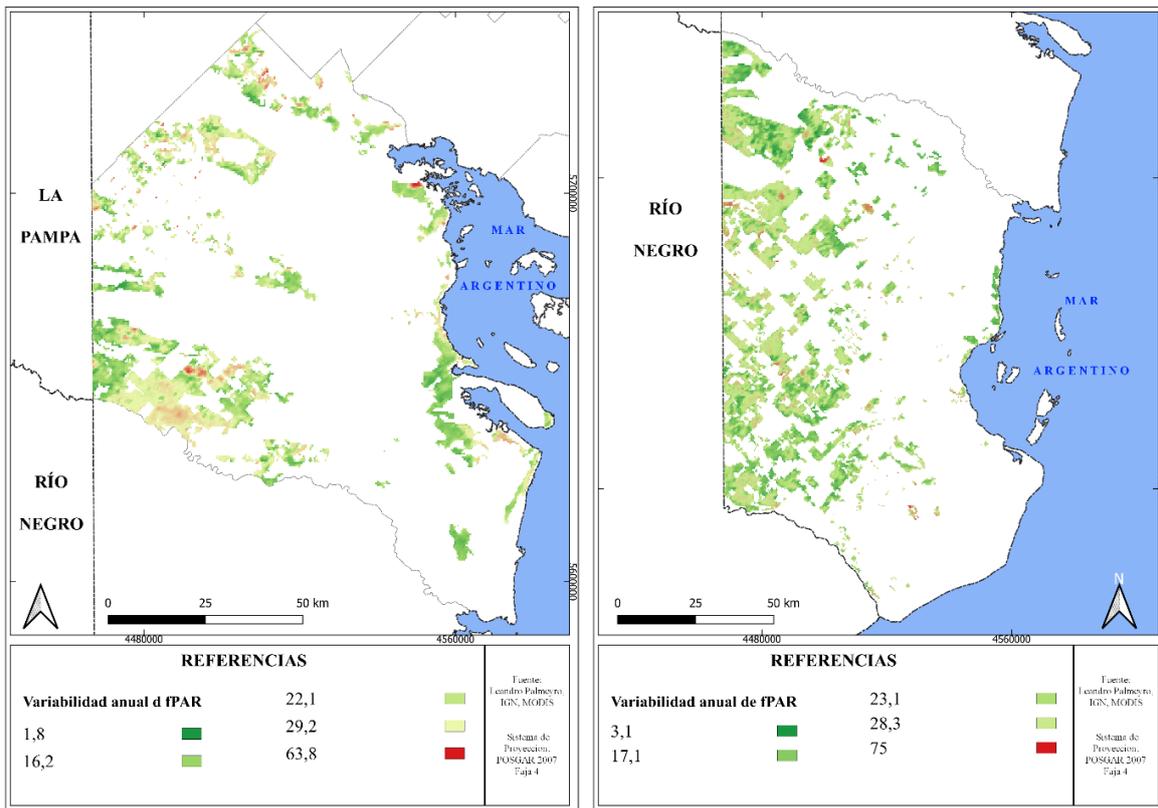


Figura 6: Variabilidad anual (2019) de fPAR para los hábitats seleccionados de Villarino y Patagones. Fuente: Leandro Palmeyro, 2021

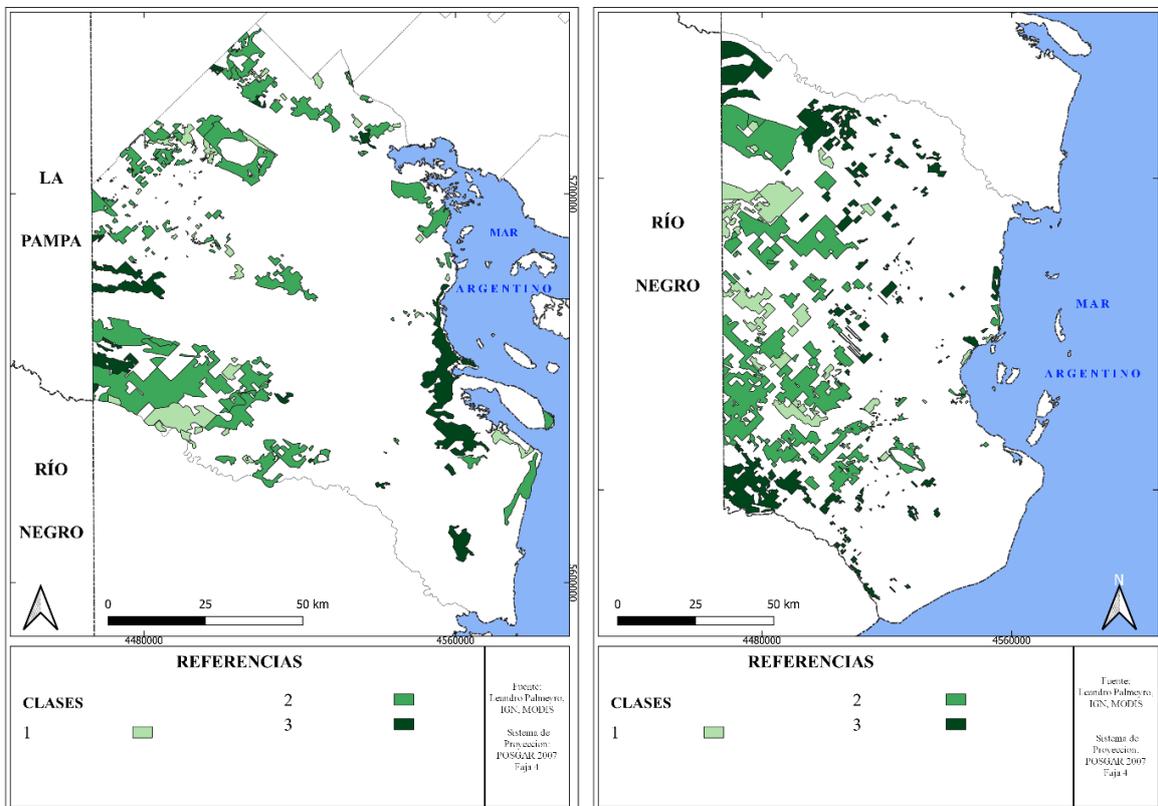


Figura 7: Clases correspondientes a la variabilidad anual de fPAR para los partidos de Villarino y Patagones. Fuente: Leandro Palmeyro, 2021

En la figura 8 se presenta la caracterización funcional de las parcelas pertenecientes a los hábitats seleccionados en cada partido. Las parcelas clasificadas con valores 6 y 5 son las que presentan un *mayor funcionamiento ecosistémico*, debido a que tienen altos valores de fPAR a lo largo del año, con una baja variación anual lo que indicaría un sistema natural estable a lo largo del año. La conservación de estos espacios contribuye a disminuir el impacto de los cambios en las coberturas del suelo en los servicios ecosistémicos brindados por el área. Las parcelas de valor 4 presentan un *funcionamiento ecosistémico intermedio*, debido a que al menos una de las dos variables analizadas presenta valores de 1 o ninguna de las dos llega a valor 3. Por último, las parcelas de valores 3 y 2 son las que presentan un *menor funcionamiento ecosistémico* ya que sus valores promedio de fPAR anual son bajos o son muy variables a lo largo del año, representando cierta inestabilidad anual.

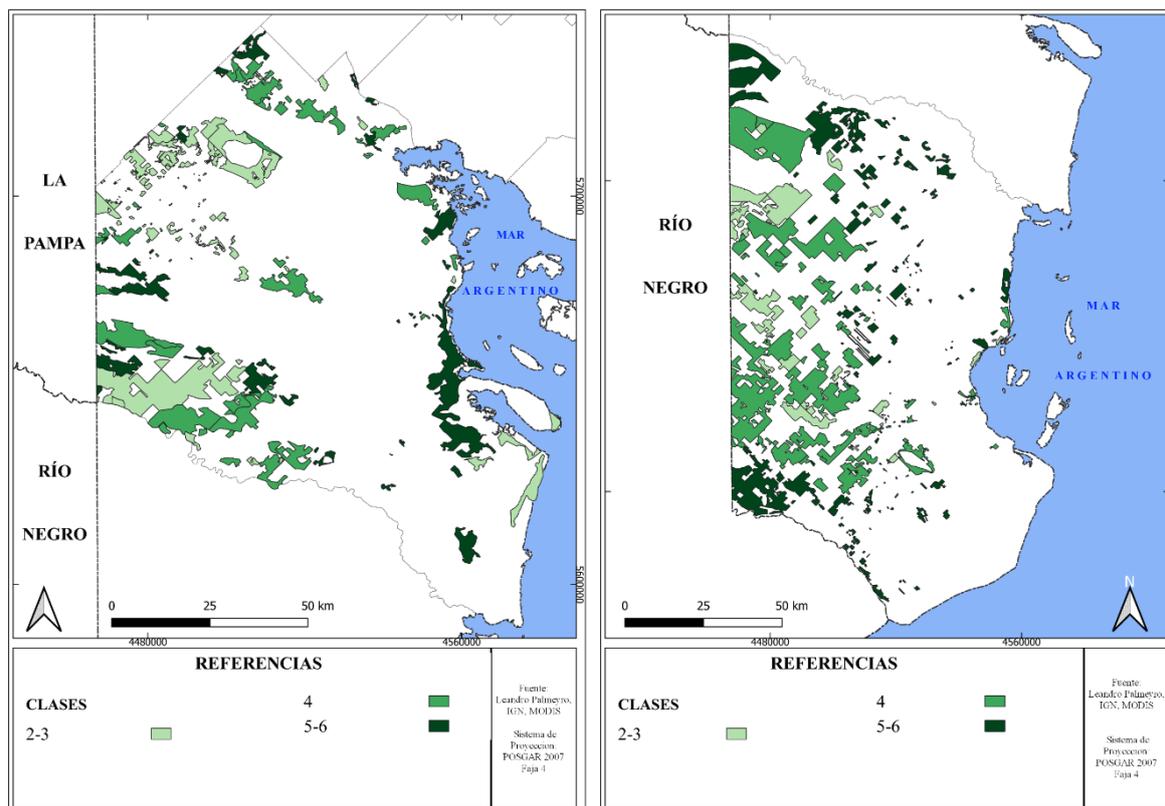


Figura 8: Clasificación del funcionamiento ecosistémico de los hábitats seleccionados del Partido de Villarino. Fuente: Leandro Palmeiro, 2021

Conclusiones

A partir de mediados del siglo XX el avance de la frontera agrícola y el desmonte para combustibles o ganadería han sido las principales causas que rigen los cambios en los usos y las coberturas de los suelos de los partidos de Villarino y Patagones. Tanto dentro del área de riego como en secano numerosas hectáreas de arbustos cerrados y abiertos han sido desmontados alterando la biodiversidad de estos hábitats. Su intervención no sólo trajo consecuencias estructurales a la flora y la fauna de estos ambientes, sino que también modificó su funcionamiento al alterar los flujos de energía y materia que presentaba la cobertura de origen. Estas alteraciones dan como resultado una merma en la provisión de ciertos servicios ecosistémicos, principalmente los de regulación, soporte y culturales, en pos de un aumento de servicios de provisión materializados en las cosechas y la leña utilizada como combustible.

El contexto de vulnerabilidad que presenta la región debido a sus variaciones climáticas interanuales y sus suelos de textura franco-arenosa propensos a la erosión hídrica y eólica,

aumenta la necesidad de conservación de hábitats naturales que puedan regular el clima y fijar los suelos. El Ordenamiento Territorial posee instrumentos que permiten planificar los cambios en el uso y la cobertura de los suelos, brindando la posibilidad de controlar y minimizar las consecuencias ya expuestas.

Tras la estimación del estado plausible se pudo confirmar que durante la próxima década la superficie destinada a cultivos aumentará aproximadamente en 50.000 hectáreas. Este avance de la frontera agrícola se estima que ocurra principalmente sobre coberturas naturales que almacenan la mayor parte de carbono almacenado por hectárea como son los bosques mixtos (102 tC/Ha), los arbustos cerrados (73 tC/Ha) y los arbustos abiertos (56.5 tC/Ha). Con respecto a dichos hábitats, se localizan principalmente en la franja longitudinal oeste del área de estudio, mayormente en áreas de secano y alejados de las vías de transporte principales presentes en el área.

La conservación de estos ecosistemas permitiría que el carbono que almacenan no sea liberado a la atmósfera en forma de CO₂ y que los suelos no queden descubiertos y propensos a ser erosionados. Sin embargo, como quedó expuesto en el estado plausible, el avance de la frontera agrícola y desmonte de estos hábitats es inminente, por lo que caracterizarlos funcionalmente permite incluir dentro de la planificación territorial del área de estudio la prioridad de conservación de los hábitats que almacenen mayor carbono y que estén brindando una mayor y mejor provisión de servicios ecosistémicos, principalmente de soporte y regulación.

La teledetección y los SIG ofrecen la posibilidad de obtener, integrar y procesar cuantiosa y compleja información geográfica que permitió el desarrollo de un modelo de la realidad. Esto dio la facultad de obtener la localización y extensión de los hábitats a analizar y los flujos de energía entre los ecosistemas y la atmósfera que presentó cada cobertura. El indicador utilizado para realizar la caracterización funcional fue el fPAR del año 2019, usando como variables el promedio y la variabilidad anual.

Tras el análisis realizado, se reconocieron en los partidos de Villarino y Patagones las parcelas de los hábitats que presentaron un mayor carbono almacenado y un mejor funcionamiento ecosistémico, representados en las salidas cartográficas como clase "5-6". Estos se encontraron en su mayoría cerca de los ríos o del mar, probablemente beneficiados por la humedad que provee dicha localización. Con respecto a la extensión de las parcelas, las de menor extensión, principalmente en Villarino, presentaron un menor funcionamiento ecosistémico, atribuido probablemente a las consecuencias propias de la fragmentación de los ecosistemas y su consecuente alteración de estructura y funcionamiento.

Si bien es cierto que el Ordenamiento Territorial implica un análisis integral y multifactorial del territorio en cuestión y los procesos que en él ocurren, la construcción del modelo geográfico de esta investigación permitió un primer acercamiento a una planificación de los cambios en los usos y coberturas del suelo desde un enfoque ecosistémico. Por lo expuesto, se corroboran las hipótesis planteadas en el inicio de la investigación. En este contexto, la opción de tomar un enfoque ecosistémico al planificar estos cambios podría prevenir o menguar las consecuencias ecosistémicas de dichas variaciones, evidenciando un enorme potencial para la conservación de los ecosistemas y sus servicios proporcionados.

Referencias bibliográficas

- Baeza, S. & Paruelo, J. (2014). Land Use / Land Cover Change (2000 – 2014) in the Rio de la Plata Grasslands : An Analysis Based on MODIS NDVI Time Series. *Journal of Remote Sensing* 72, 381: 1–22.
- Cabello, J., Alcaraz-Segura, D., Altesor, A. & Delibes, M. (2008). Funcionamiento ecosistémico y evaluación de prioridades geográficas en conservación. *Ecosistemas* 17(3), 53-63.
- Carvajal, A. (2010). Servicios Ecosistémicos: Su relación con la geografía y la toma de decisiones ambientales. *Nadir: revista electrónica de Geografía austral*. 2(1), 43–50.

- Corks, S. & Proctor, W. (2005). Implementing a Process for Integration Research: Ecosystem Services Project, Australia. *Journal of Research Practice* 1(2), 1–25.
- Daily, G., Ehrlich, P., Lubchenco, J. & Mooney, H. (1997). Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural. *Journal of Issues in ecology* 2. Spring 1997. Ecological Society of America.
- Dumrauf, V. (2008). Evolución de la frontera agrícola en los partidos de Villarino y Patagones, período 1975-2005 y su implicancia en el deterioro ambiental. Tesis de grado. Universidad Nacional del Sur.
- Fernandez, N. & Piñeiro, G. (2008). La caracterización de la heterogeneidad espacial de los ecosistemas: el uso de atributos funcionales derivados de datos espectrales. *Ecosistemas* 17(3), 64-78. ISSN:1132-6344. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54017106006>
- Foley, J. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science* 309, 570. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Gabella, J., Luorno, M. & Campo, A. (2013). Análisis integral de un sistema territorial degradado. El caso del partido de Patagones, Buenos Aires, Argentina. *Proyección* vol. VIII: 68-91.
- Gomez Orea, D. (1994). Ordenación del Territorio. Una aproximación desde el Medio Físico. Ed. Instituto Tecnológico Geo-Minero de España-Ed. Agrícola Española, S.A. 238 p.
- Gross, F. (1998) Ordenamiento Territorial: El manejo de los espacios rurales. *Eure*, vol. XXIV, núm. 73, diciembre, 1998, p. 0. Pontificia Universidad Católica de Chile Santiago, Chile.
- Humacata, L., & Buzai, G. (2018). Análisis espacial de los cambios de usos del suelo con Sistemas de Información Geográfica. Recuperado de: <https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/791/buzai.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kosmus, M., Renner, I. & Ullrich, S. (2012). Integración de los servicios ecosistémicos en la planificación del desarrollo: Un enfoque sistemático en pasos para profesionales basado en TEEB. *Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)*.
- Levi, S. (1970). Capítulo 8. Concepto de Geografía Aplicada. *Investigaciones Geográficas (MX)*, Num. 03. Disponible en: <http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/58855/51843>
- Martínez, M., Viguera, B., Donatti, C. & Harvey, C. (2017). La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura. *Materiales de Fortalecimiento de Capacidades Técnicas Del Proyecto CASCADA (Conservación Internacional-CATIE)*. 40 páginas. <https://doi.org/10.7818/re.2014.22-1.00>
- Metzger, M., Rounsevell, M., Acosta-Michlik, L., Leemans, R. & Schröter, D. (2006). The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture Ecosystems & Environment* 114, 69–85. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.025>
- Meyer, W. & Turner, B. (1992). Human population growth and global land-use/cover change. *Annual Review of Environment and Resources* 23, 39–61.
- Ochiuzzi, S. (2011). Herramientas para la evaluación y gestión del riesgo climático en el sector agropecuario. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.
- Paruelo, J.M. (2008). La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Ecosistemas*, vol. 17, núm. 3, septiembre-diciembre, 2008, pp. 4-22. Asociación Española de Ecología Terrestre Alicante, España.
- Recalde, D. & Zapata, R. (2007). La Ordenación del Territorio Recursos Naturales. Ediciones INTA. Serie publicaciones del Área de Investigación del INTA EEA La Rioja. ISSN 1669-323X.

- Sanchez, R. (2011). Historia de la evolución de las condiciones ambientales de los partidos bonaerenses Villarino y Patagones. Jornada sobre "Evolución y Futuro del Desarrollo de Producciones Agrícola-Ganaderas en el S.O. Bonaerense". pp.362–372. ISSN: 0327-8093.
- Sánchez, R., Pezzola, A. & Cepeda, J. (1998) Caracterización edafo climática del área de influencia del INTA EEA Hilario Ascasubi. Partidos de Villarino y Patagones. INTA EEA Hilario Ascasubi. Boletín de divulgación N°18, 1998.
- Staiano, L., Camba Sans, G. H., Baldassini, P., Gallego, F., Texeira, M. A., & Paruelo, J. M. (2021). Putting the ecosystem services idea at work: Applications on impact assessment and territorial planning. *Environmental Development*, 38, 100570. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100570>
- Vega-Araya, M. & Alvarado-Barrantes, R. (2019). Análisis de las series de tiempo de variables biofísicas para cuatro ecorregiones de Guanacaste, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales* 53(2), 60–96. DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.53-2.4>
- Vitousek, P., Mooney, H., Lubchenco, J. & Melillo, J. (1997). Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science* 277 (5325): 494-499. DOI:10.1126/science.277.5325.494
- Winschel, C. (2017). Integración por medio de geotecnologías de la información ambiental en estudios de degradación de los suelos para los partidos de Villarino y Patagones, Provincia de Buenos Aires, Argentina. (Tesis doctoral). Universidad Nacional del Sur.