

# Cambios en el área cultivada en la confluencia de los ríos Neuquén y Limay entre 2002 y 2021

M. G. Cogliati y F. G. Finessi

## RESUMEN

En los últimos años, el área de la confluencia de los ríos Neuquén y Limay ha experimentado un notable crecimiento urbano, con el consecuente avance de las ciudades sobre terrenos dedicados a la producción agrícola y aumentando el uso de suelo para la explotación hidrocarburífera. Además, en este período se produjo la reconversión de cultivos y la expansión de la frontera agrícola, incorporando zonas bajo riego en áreas vulnerables sobre la meseta patagónica. El presente trabajo propone el estudio de las variaciones espaciales y temporales de las áreas asociadas a cultivos en la confluencia de los ríos Neuquén y Limay, utilizando el NDVI a partir de los productos MODIS (MYD13Q1) en el período 2002-2021. Se identificaron rasgos comunes a distinto tipo de uso del suelo, en particular vegetación, y se estudió la variabilidad temporal, mediante el cálculo de tendencias estacionales. A partir de imágenes cada 16 días se efectuó el seguimiento estacional, y los sectores con cambios significativos se analizaron utilizando imágenes satelitales de mayor resolución espacial. El área presentó tendencias negativas significativas del NDVI en gran parte del piso del valle, en tanto se detectó tendencia positiva en algunos sectores acotados sobre la meseta en los que se desarrollaron emprendimientos agrícolas bajo riego en los últimos años.

**Palabras Clave:** MODIS; NDVI; vegetación; tendencia estacional

M. G. Cogliati and F. G. Finessi, 2021. Changes in the cultivated area in the Neuquén and Limay rivers confluence between 2000 and 2021. RADA XII: 81-90

## SUMMARY

In recent years, the confluence of Limay and Neuquén rivers has experienced great urban growth, with the advance of cities and hydrocarbon exploitation over areas, former dedicated to agricultural production on the valley floor. The results also noted the conversion of crops and the expansion of the agricultural frontier, incorporating areas under irrigation in vulnerable areas on the plateau. This paper proposes the study of spatial and temporal variations in crops areas, using the NDVI from MODIS products (MYD13Q1) in the period 2002-2021. Land cover were identified and the temporal variability was studied obtaining seasonal trends in NDVI. The paper presents the seasonal monitoring of information every 16 days. The sectors with significant changes were zoomed

using higher spatial resolution satellite images. The area presented significant negative trends in the NDVI, in much of the valley floor and some sectors bounded by positive significant trends on the plateau, associated with ventures under irrigation developed in recent years.

**Keywords:** MODIS; NDVI; vegetation; seasonal trend

*M. G. Cogliati y F. G. Finessi: Universidad Nacional Del Comahue, Facultad de Humanidades. Departamento de Geografía, FAHU, UNCo, Buenos Aires 1400, Neuquén (8300), Argentina. Correspondencia a: marisa.cogliati@fahu.uncoma.edu.ar*

## INTRODUCCIÓN

El mapeo de la cobertura del suelo permite principalmente delimitar los alcances de influencias antrópicas como la afectación de distintos hábitats naturales, mientras que los procedimientos de teleobservación y las imágenes satelitales multitemporales y multisensores permiten la detección de cambios, considerándose ambas cuestiones muy importantes en la gestión óptima de los recursos ambientales y ecológicos.

El procesamiento digital de imágenes de satélite mediante Sistemas de Información Geográficos (SIG) proporciona datos sobre el uso del suelo y en particular sobre la distribución espacial y temporal de la vegetación.

Dado el ciclo anual de entrada de energía solar, la temperatura del aire, las precipitaciones y la fenología de las plantas exhiben un comportamiento estacional. Existe un interés sustancial en monitorear estos patrones estacionales, como medio para detectar las respuestas del sistema terrestre al cambio global (Sparks y Menzel, 2002). La resolución temporal de la información MODIS es adecuada para realizar dichos análisis.

Somayajula *et al.* (2021) y Mancino *et al.* (2014), entre otros, realizaron mapeos de vegetación a partir de índices de vegetación utilizando sensores ópticos. El NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) también fue empleado para la detección de cambios en áreas cultivadas (Hasim y Bhar, 2020). Wessels *et al.* (2004) indagaron la aplicación de datos MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) para el mapeo de los tipos de cobertura del suelo con resolución moderada (250/500 m), para fines conservacionistas a escala regional en el estado de Pará, Brasil y Yellowstone, EE.UU. La clasificación obtenida a partir de datos MODIS fue exitosa para desarrollar en Brasil un producto bosque/ no bosque adecuado para

monitorear los impactos humanos como por ejemplo la deforestación.

Martinuzzi *et al.* (2008) desarrollaron un método de mapeo de la vegetación y hábitats en una reserva forestal tropical seca integrando el NDVI obtenido de imágenes LANDSAT, información topográfica, e imágenes IKONOS de alta resolución. Guo *et al.* (2014) analizaron las tendencias del NDVI en Mongolia encontrando que, en la escala de la temporada de crecimiento, el NDVI aumentó débilmente en los ecosistemas naturales, pero fuertemente en las tierras de cultivo. Wang *et al.* (2014) estudiaron los cambios en el NDVI en China, con resultados que indicaron una tendencia creciente del NDVI entre 1982 y 2006, en bosques de coníferas boreales, en sistemas de montaña templados y en bosques caducifolios tropicales.

Neeti *et al.* (2012) encontraron que el análisis de la tendencia estacional del NDVI detectó los cambios en la cobertura terrestre en México debido a cambios de origen antrópico, identificando los patrones de intensificación agrícola, expansión urbana y forestación en áreas protegidas.

Piao *et al.* (2006) analizaron los cambios temporales de NDVI para un área de estepa templada y concluyeron que tendencias en el NDVI inducidas por cambios climáticos varían si se consideran distintos tipos de vegetación y estaciones. Los resultados de Chuai *et al.* (2013) en un área de Mongolia encontraron que para distintos tipos de vegetación los cambios del NDVI durante 1998-2007 mostraron grandes variaciones.

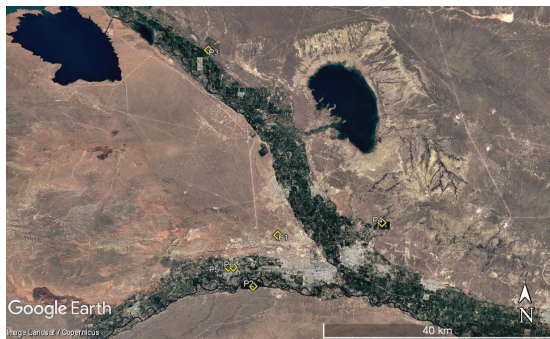
En las últimas décadas, se produjeron cambios en el uso del suelo, en el área de estudio, debido a efectos principalmente antrópicos (Steimbregger *et al.*, 2003; Radonich *et al.*, 1999) que pueden detectarse a partir del análisis de la información cronológica obtenida por sensores remotos.

En este trabajo, se analizaron las variaciones espaciales y temporales del índice de vegetación en el valle superior del río Negro y el área de la confluencia de los ríos Neuquén y Limay, para estimar los cambios producidos en áreas destinadas a cultivos en el período 2002-2020.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. Área de estudio

En este trabajo se incluyó el área de la confluencia de los valles inferiores de los ríos Neuquén y Limay y el valle superior del río Negro (ver Figura 1). La región se caracteriza por un clima árido, con temperatura media anual cercana a los 14,0°C, con escasas precipitaciones que se distribuyen durante todo el año, con un máximo relativo en invierno, sin superar los 200 mm anuales, con tormentas convectivas severas que pueden producir precipitaciones esporádicas pero muy intensas. La evapotranspiración estival es alta, de manera que en los meses de verano se produce un déficit hídrico, que es compensado con sistemas de riego en las zonas de producción agropecuaria (Finessi y Groch, 2012)



**Figura 1.** Imagen satelital visible del área de confluencia de los ríos Neuquén y Limay para diciembre de 2020 y ubicación de los puntos de análisis. (Coordenadas geográficas de los puntos analizados: P1: -38.90, -68.14; P2: -38.98, -68.19; P3: -38.61, -68.28; P4: -38.88, -67.93; P5: -38.95, -68.24; P6: -38.95, -68.23)

Los relieves dominantes son el valle fluvial y las terrazas de erosión fluvial, compuesto por rocas sedimentarias del grupo Neuquén, fácilmente erosionables, coronadas por un conglomerado de vulcanitas plioleistocénicas cementados por carbonato de calcio, de mayor resistencia a los procesos erosivos (Capua *et al.*, 2000) A través de la implementación de diversos tipos de tecnología, se han logrado mejorar las condiciones agroecológicas del área, para mantener la capacidad del suelo y desarrollar las actividades

frutihortícolas y vitivinícolas en la región.

Según expresan diversos autores (Radonich *et al.*, 1999; Steimbregger *et al.*, 2003, Chimenton y Cogliati, 2011; Finessi y Groch, 2012), a partir de las décadas de 1960 y 1970 se produjeron modificaciones en el uso y apropiación de las tierras en los valles inferiores de los ríos Neuquén y Limay, propiciando la expansión territorial hacia nuevos espacios productivos. Los autores plantean que las fronteras urbanas, agropecuaria e hidrocarbúrfica, se expandieron generando superposición de usos del suelo y la creciente confrontación por el control y la apropiación de los recursos. En la última década, la urbanización es uno de los principales factores asociados a la reducción de las áreas agrícolas en los pisos de los valles nordpatagónicos, reemplazando éstas área por barrios cerrados/semicerrados. Además, en áreas de laderas y superficie de meseta se observa el desarrollo de loteos sociales o de tomas de tierra que han ido aumentando su superficie. En ambos casos, la mayoría de los asentamientos se dan en áreas de riesgo socioambiental, generando inundaciones, deslizamientos de terreno, escorrentía superficial del agua de riego pendiente abajo, etc... (Jurio *et al.*, 2014; Marizza *et al.*, 2010).

### 2. Datos

Los datos utilizados corresponden al producto MOD13Q (Aqua Vegetation Indices L3 Global 250 m SIN Grid), obtenidos del sensor MODIS y el satélite AQUA, con una resolución espacial de 250 metros (Didan 2015). El producto proporciona dos capas de información: el NDVI, y el EVI (Enhanced Vegetation Index). Las escenas empleadas se obtuvieron del Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center (ORNL DAAC) (ORNL, 2018). Las capas de información de los productos se construyeron con un algoritmo que selecciona el mejor valor de píxel disponible del período de 16 días. En este trabajo se utilizó el NDVI para la obtención de las tendencias y se discute el análisis de EVI para la detección de estados fenológicos (ORNL, 2018).

Se utilizó además para el análisis fenológico el producto tipo de uso de suelo de MODIS (MCD12Q1), que presenta una distribución global de tipos de uso de suelo con una resolución espacial de 500 m (Sulla-Menashe y Friedl, 2018). Esta clasificación se obtuvo aplicando una clasificación supervisada a los datos de reflectancia ajustada de MODIS (Sulla-Menashe y Friedl, 2018), a partir de esa clasificación se detectaron las áreas con vegetación a las que se

le efectuó el análisis fenológico que se presenta en el producto MCD12Q2 (Gray *et al.*, 2019).

## METODOLOGÍA

El presente trabajo presenta el análisis de la tendencia estacional, utilizando el módulo Earth Trend modeler del sistema integrado de información geográfica y detección remota TERRSET (Clark Labs, 2015) y la detección de los ciclos fenológicos en las áreas con vegetación a partir del producto MCD12Q2.

El análisis de tendencia estacional (ATE, (Eastman *et al.*, 2009)), realiza el análisis armónico para calcular la amplitud y fase de la onda estacional, y a partir del mismo se obtiene la tendencia temporal en cada punto.

El proceso extrae la señal de la serie temporal en forma de ondas a partir de una regresión armónica, cada una de las cuales es descripta mediante su frecuencia (cantidad de ciclos en un año), amplitud (intensidad) y fase (orientación respecto al tiempo). La estacionalidad en cada punto de grilla, se sintetizó mediante tres parámetros anuales: NDVI medio anual (A0), amplitud de la curva anual de NDVI (A1) y la fase o posición del ciclo anual de NDVI (F1). La tendencia temporal de esos parámetros (en cada punto de grilla) se calculó mediante el estimador Theil Sen de la pendiente y su significancia, mediante los tests no paramétricos de Mann Kendall (MK) y su variante contextual (MKC) (Neeti y Eastman, 2011).

El test MKC utiliza la información de 8 puntos de grilla vecinos para evitar correlaciones cruzadas, usando el principio de autocorrelación espacial. Los resultados de los test de tendencia son imágenes de Z estandarizado para cada uno de los parámetros, que indica el grado en que una tendencia aumenta o disminuye consistentemente, y mide la significancia y la dirección de la tendencia simultáneamente. Se evaluó la significancia estadística de las tendencias de (A0, A1, A2) y la fase del ciclo anual (F1) incluyendo niveles estandarizados de confianza (Z) y direcciones de tendencia. Los niveles de confianza utilizados fueron los propuestos en (Neeti y Eastman, 2011) ( $Z = \pm 2,58$ ;  $Z = \pm 1,96$  y  $Z = \pm 1,64$ ), que corresponden a tres valores de probabilidad ( $p < 0,01$ ,  $0,05$  y  $0,1$ , respectivamente). A partir de esos valores se mapearon las tendencias significativas a diferentes grados de confianza: 90%, 95% y 99% (ver Figura 7) (Neeti *et al.*, 2012).

Si bien el análisis de tendencia estacional difiere de los análisis fenológicos tradicionales, existe

alguna correspondencia con esos enfoques ya que A0 representa el valor anual medio del NDVI que puede correlacionarse con la productividad primaria bruta anual, A1 es la diferencia entre los valores mínimos y máximos de NDVI a lo largo del año y expresa el rango anual de NDVI. F1 es similar al índice de cambios estacionales y expresa, la posición angular del inicio del ciclo (enero). A2 y F2 son difíciles de interpretar, nominalmente representan la magnitud y posición de una curva semestral. El componente semestral es principalmente un modificador de la forma de la curva anual.

Esta metodología permite identificar tendencias presentes en al menos el 29% de la longitud de la serie, por lo que cualquier variabilidad interanual que tenga un efecto por un lapso menor a 5 años (29% de 18 años), no se verá reflejado.

Las áreas con tendencias significativas fueron seleccionadas y contrastadas con imágenes satelitales ópticas con mayor resolución espacial, disponibles en Google Earth (Maxar Technologies: satélites WORLDVIEW and GEOEYE) y visitas de campo in situ para evaluar el nivel de detección: los resultados del análisis de tendencia estacional georreferenciados (resolución espacial 250 m) se superpusieron a las imágenes con mayor resolución espacial mediante Google Earth y se realizó una clasificación supervisada para detectar los tipos de vegetación y uso de suelo que correspondía a cada área con tendencia significativa según MKC.

Los estados fenológicos de los productos MODIS se obtienen a partir de los parámetros del índice de vegetación mejorado (EVI) obtenido en la superficie por el satélite MODIS (ORNL, 2018).

Las fases fenológicas se identificaron en la serie temporal como los períodos con incremento sostenido del índice de vegetación (Zhang *et al.*, 2003). Los máximos en la serie temporal del EVI calculado a partir de la reflectancia ajustada, fueron identificados a partir de los puntos donde la derivada cambia de signo y luego fueron analizados con una función recursiva para la identificación de las fechas de inicio y finalización de la fase de crecimiento vegetativo (greenup).

ORNL (2018) clasifica los estados como:

G: inicio de la actividad fotosintética

M: madurez, la fecha en la que la superficie de la hoja verde vegetal es máxima;

S: senescencia, la fecha en la que la actividad fotosintética y la superficie de la hoja verde comienzan a disminuir rápidamente;

D: dormancia, la fecha en que la actividad fisiológica se acerca a cero (Zhang *et al.*, 2003).

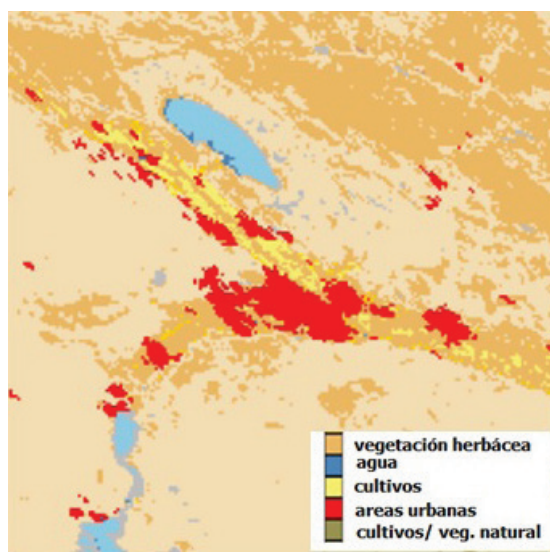
MG: indican etapas de transición en uno y otro sentido.

La identificación de las fechas de transición de la fenofase se realiza para cada uno de los ciclos de vegetación identificados, según los picos máximos para cada año; en el caso analizado se identificaron dos ciclos (ciclo 1 y ciclo 2, ver Figura 3 b). El comienzo de las fechas de inicio de la actividad fotosintética (greenup), greenup medio y final se recuperan como la primera fecha dentro del segmento donde la serie de tiempo del EVI cruza el 15, 50 y 90% de la amplitud del segmento identificado como crecimiento vegetativo.

De manera similar, el inicio de la senescencia, el punto medio de la senescencia y la latencia se obtienen como la última fecha dentro del segmento donde la serie de tiempo del EVI cruza el 90, 50 y 15% de la amplitud. El procedimiento empleado en la detección incluye un método de clasificación supervisada y un conjunto de pasos post procesamiento, que incorporan criterios de probabilidad y ajustan clases específicas en función de información disponible (Gray *et al.*, 2019).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área presentada en la Figura 1, ha ido sufriendo cambios en cuanto al uso del suelo y las áreas urbanas a lo largo del periodo estudiado. El área analizada presenta zonas urbanas y semiurbanas, indicadas en color rojo en la Figura 2, zonas de cultivo indicadas en amarillo y zonas

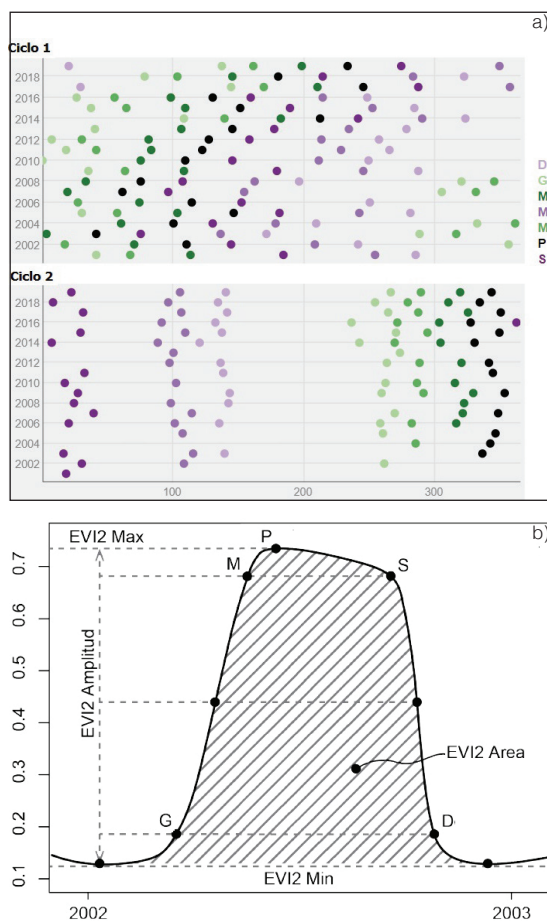


**Figura 2.** Detección de uso de suelo por clasificación supervisada producto MOD13A1 (Sulla-Menashe y Friedl 2018, ORNL 2018).

con vegetación herbácea en la zona del valle coloreadas en ocre. Estas áreas fueron contrastadas con sensores de mayor resolución detectándose que fueron identificadas correctamente salvando las limitaciones de la resolución espacial de las imágenes MODIS. A partir de esta clasificación presentada en la Figura 2, de información satelital con mayor resolución y observación in situ, se identificaron las áreas según uso de suelo.

En las zonas donde se identificó vegetación natural o zonas productivas, se analizaron los estados fenológicos y se obtuvieron dos ciclos diferentes, como se puede observar en la Figura 3.

La Figura 3, presenta la identificación de los estados fenológicos a partir del EVI, donde G es inicio de la actividad fotosintética, M es madurez,

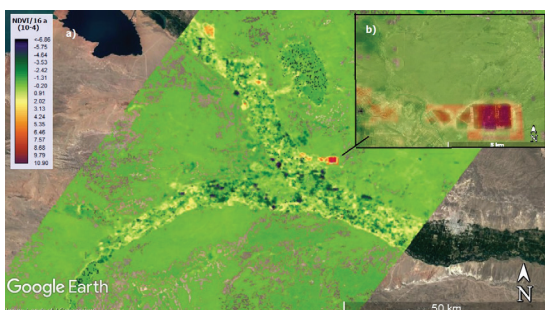


**Figura 3.** a) (arriba) Etapas fenológicas estimadas a partir de EVI para los ciclos de la vegetación detectados en el periodo 2002-2021, b) -Valores de EVI promedio para cada una de las etapas adaptado de Gray *et al.* (2019). (D: dormancia, G: comienzo de verdor, P: pico máximo, S: senescencia, MG son los intermedios) (ORNL 2018).

S indica senescencia; D: dormancia y MG: indican etapas de transición en uno y otro sentido (Zhang *et al.*, 2003).

El análisis presentó dos ciclos (verdor-senescencia) bien definidos en el comportamiento del EVI. El ciclo 1 muestra una variación menos marcada con senescencia entre otoño e invierno y verdor en verano y primavera; y el ciclo 2 presenta una señal muy marcada en primavera y verano y senescencia en verano y comienzo de otoño. El ciclo con comienzo del verdor en primavera (ver ciclo 2) se podría asociar a los árboles caducifolios, en la zona encontramos frutales y árboles utilizados en cortinas rompevientos (sauces y álamos). El ciclo menos marcado con aumento de clorofila en verano, se asociaría a vegetación silvestre de hojas perennes o algunas efímeras. En la vegetación caducifolia y muchos cultivos, la aparición de hojas tiende a ser seguido por un período de rápido crecimiento y posteriormente, un período relativamente estable, asociado a la superficie máxima de la hoja. La transición a la senescencia y el letargo sigue un comportamiento similar, pero con un patrón inverso (Zhang *et al.*, 2003).

Además, algunos tipos de vegetación exhiben múltiples modos de crecimiento y senescencia dentro de un solo ciclo anual. Por lo tanto, los métodos basados en la teledetección deben ser suficientemente flexibles para permitir este tipo de variabilidad, en este caso se utiliza para identificar las áreas con vegetación natural y cultivos, para determinar los cambios de origen antrópico. Los estadios de la vegetación representada en el ciclo 1 manifiesta diferencias en los distintos años, mientras que la vegetación representada en el ciclo 2 exhibe características similares de un año a otro.

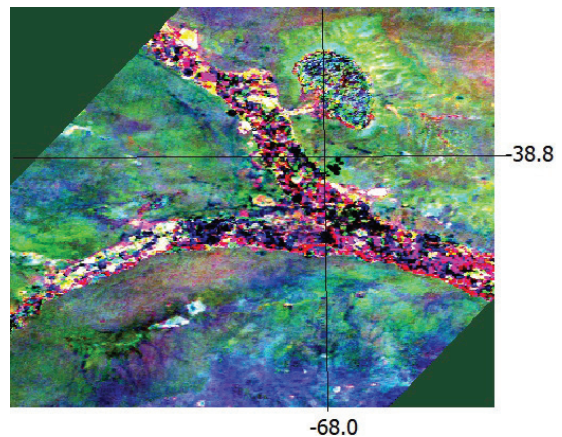


**Figura 4.** a) Tendencia lineal del NDVI entre 2002 y 2021 b) Ampliación del rectángulo con tendencia positiva, utilizando Google Earth.

La Figura 4 presenta la tendencia lineal del NDVI en el área y se puede observar una tendencia monótonica creciente en áreas localizadas sobre la meseta, donde se han incorporado

emprendimientos productivos con riego y tendencia negativa en el resto del área. Las áreas en el piso del valle presentaron cambios del uso del suelo, migrando en algunos casos de zonas productivas a zonas con explotación hidrocarburífera, lo que implicó desmonte y nivelado del terreno y en muchos casos apertura de nuevos caminos con eliminación o afectación de las áreas productivas y vegetación natural. Estas actividades tienen como característica común la extracción, disminución de la vegetación natural o productiva y en muchos casos su reemplazo por edificaciones, calles, etc.

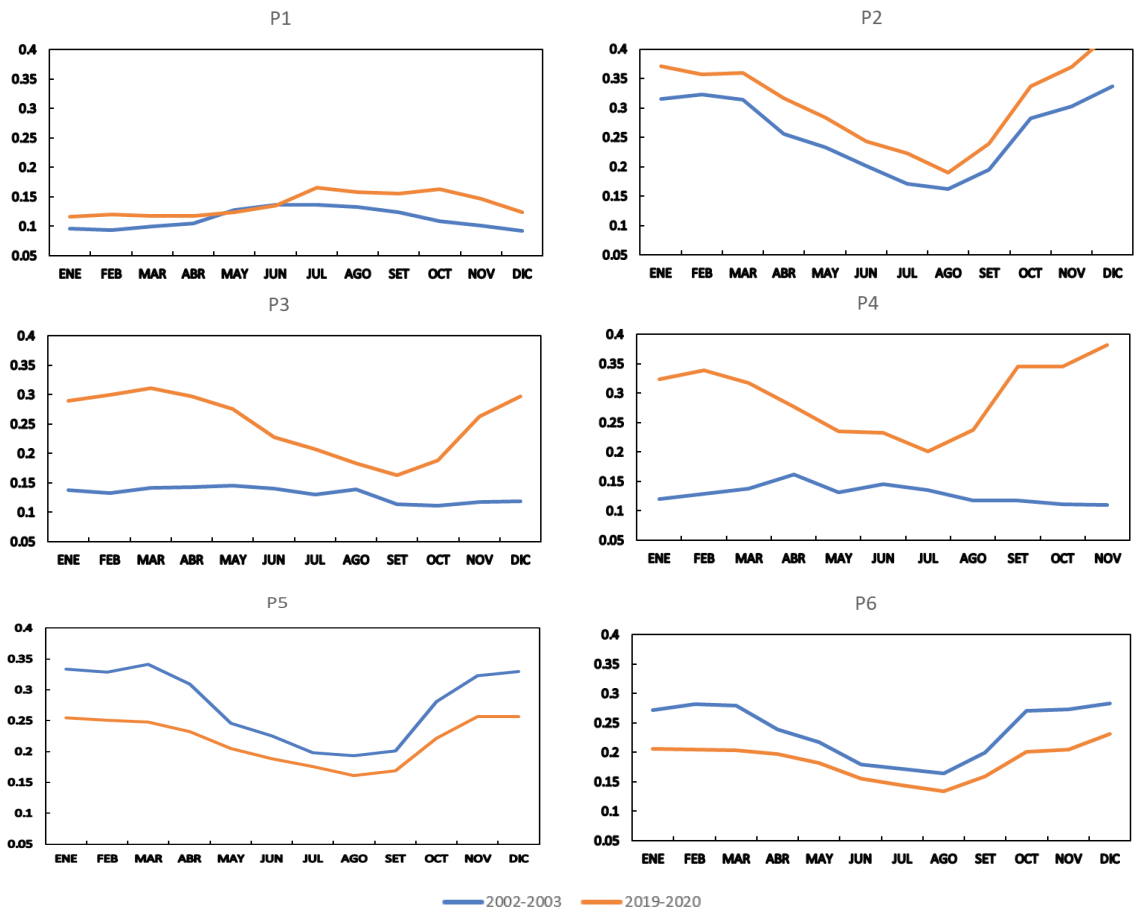
A partir de los resultados presentados en las Figuras 3 y 4 se efectuaron ampliaciones de las áreas con tendencias significativas, utilizando información disponible en Google Earth y se analizaron los cambios temporales contrastando con las variaciones observables en imágenes Worldview y GeoEye al inicio, mitad y fin del periodo (11/2002, 12/2009;11/2020). Además, se observó un aumento en la construcción de nuevas urbanizaciones en áreas otrora productivas o el abandono de chacras, que se detectaron en el análisis como zonas con menos materia verde.



**Figura 5.** La Figura es una composición RGB (Red: rojo, Green: verde, Blue: azul) con una combinación de la amplitud media anual (A0 en rojo), la amplitud del ciclo anual (A1 en verde) y la amplitud del ciclo semi anual (A2 en azul).

La Figura 5 presenta una composición de la amplitud media anual (A0 en rojo), la amplitud del ciclo anual (A1 en verde) y la amplitud del ciclo semi anual (A2 en azul), por lo que las combinaciones de colores indican los parámetros con tendencias positivas mayores. Por ejemplo, un color magenta brillante indica tendencia positiva en ambas A0 y A2.

Las tendencias positivas en la amplitud del ciclo anual y el semi anual se observan principalmente en el interior del valle, sin embargo, el valle

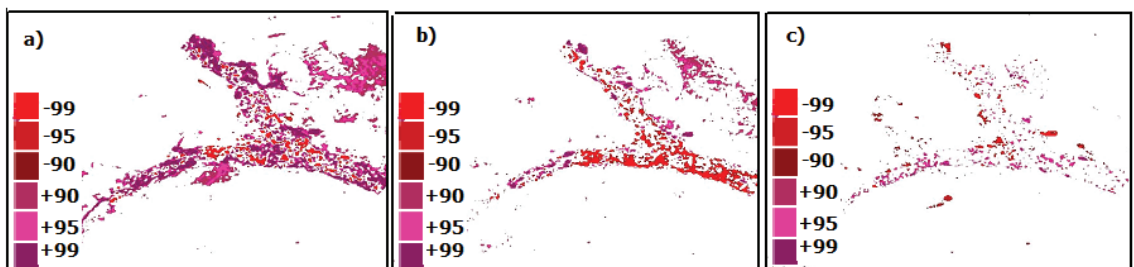


**Figura 6.** NDVI de (2002-2003: línea azul) y (2019-2020: línea naranja) en ubicaciones seleccionadas (P1: -38.90, -68.14; P2: -38.98, -68.19; P3: -38.61, -68.28; P4: -38.88, -67.93; P5: -38.95, -68.24; P6: -38.95, -68.23, ver Figura 1)

muestra algunas áreas con tendencias negativas más marcadas (ver Figuras 5 y 7). En el análisis de las imágenes de Google Earth, se detecta que coinciden con nuevos emplazamientos urbanos y periurbanos, del estilo de barrios cerrados o semicerrados en las periferias de las ciudades.

Se eligieron seis puntos ubicados en zonas con tendencia significativa (ver Figura 1 y Figura 6). El P1, ubicado sobre la meseta en un área con

asentamiento urbano reciente con producción agrícola (hortalizas) y animal (porcina) presenta un leve aumento con respecto a las series de 2002-2003 (Figura 6); P2, P3 y P4 corresponden a las únicas áreas con tendencia positiva en el NDVI con mayor amplitud en los puntos ubicados sobre la meseta donde se comenzaron emprendimientos productivos con riego en áreas donde en los años 2002-2003 se ubicaba vegetación natural (P3 y P4).



**Figura 7.** áreas con tendencia significativa al 90%, 95% y 99% entre 2002 y 2021 (negativo-rojo, positivo-violeta) a partir de un test de Mann Kendall Contextual para a) A0: NDVI medio anual, b) A1: amplitud de la curva anual de NDVI y c) F1: fase o posición del ciclo anual de NDVI.

Las ubicaciones P5 y P6 corresponden a zonas donde las chacras fueron reemplazadas por barrios residenciales o dedicadas a loteos.

La amplitud anual presentó tendencia negativa significativa principalmente en las zonas periurbanas indicando un decrecimiento sostenido en la onda anual del NDVI. La variación semi anual presentó un comportamiento similar en el decrecimiento, pero el área con aumento sostenido fue mucho menor (ver Figura 7). En el caso de la fase, se presentaron valores significativos de tendencia positiva al 95% en el interior del valle indicando una tendencia al aumento del verdor de la vegetación en el periodo en estudio, hacia fechas anteriores.

## CONCLUSIONES

El trabajo presenta el análisis de tendencia estacional del índice de vegetación normalizada (NDVI), en la confluencia de los ríos Limay y Neuquén y en el valle superior del río Negro a partir de información del satélite MODIS y su producto MOD13Q1 obtenido cada 16 días. La tendencia representó claramente las variaciones en la utilización de terrenos productivos mostrando diferencias entre las áreas en el interior de los valles y sobre la superficie de la meseta delimitando adecuadamente, áreas con cambios en el uso de suelo. La metodología diferenció las zonas con chacras desmontadas o con otros cambios en el uso del suelo anteriormente dedicado a emprendimientos productivos y que ahora están dedicados principalmente al uso energético, extracción minera en zonas del valle y aledañas al río, o a expansión urbana.

Como la resolución espacial de los productos MODIS utilizados es 250 m, se pudo estimar la tendencia estacional a nivel de chacra. El NDVI presentó una disminución entre 2002 y 2021 en áreas del piso de valle y el pedimento.

Las variaciones de los estados fenológicos de las zonas productivas, presentaron dos ciclos marcados que representan adecuadamente el comportamiento de los frutales y la vegetación nativa.

Las tendencias negativas en el NDVI, se ubicaron especialmente en áreas periurbanas y en la superficie de la meseta, lugares en los cuales se observa claramente el aumento de las actividades relacionadas a la explotación petrolera y urbana; con una disminución notoria de la vegetación nativa, produciendo una tendencia negativa del NDVI.

En el piso del valle, se detectaron áreas con tendencias negativas significativas que se pueden asociar principalmente al abandono de áreas productivas o crecimiento de áreas urbanas.

Aunque los cambios en el valle parecerían asociarse a efectos relacionados con la influencia antrópica y, si bien en el presente trabajo no se analiza precipitación ni temperatura, los resultados de Piao *et al.* (2006) y Avila *et al.* (2012) indican que los cambios de uso de suelo a escala regional presentan respuestas significativas asociadas a dichas variables. Piao *et al.* (2006) sugieren que la precipitación y la temperatura de la estación precedente estaría correlacionada positivamente con el valor de NDVI en primavera y otoño en el caso de vegetación herbácea en zonas de estepa, y las tendencias de NDVI variarían según el tipo de vegetación y la estación del año, por lo que la relación del NDVI entre la precipitación y el tipo de vegetación debería ser considerado en futuros trabajos.

Las tendencias en la fase indican un cambio en el aumento del verdor hacia fechas más prematuras; este hecho podría estar relacionados a cambios en la temperatura mínima asociados al calentamiento global en concordancia con los resultados de Avila *et al.* (2012), que indicaron que los extremos en la temperatura mínima presentan respuestas estadísticamente significativas y localmente intensas asociadas a cambios de tipo de suelo a escala regional.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación 04-H165 de la Universidad Nacional del Comahue. Se agradece a la Dra. Fernanda Reyes su asesoramiento en temas biológicos. Agradecemos los valiosos comentarios de los revisores anónimos, que contribuyeron a mejorar el manuscrito.

## BIBLIOGRAFÍA

- Avila, F. B.; A J Pitman, M. G. Donat, L. V. Alexander and G. Abramowitz, 2012. Climate Model Simulated Changes in Temperature Extremes Due to Land Cover Change. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 117 (D4). <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2011JD016382>.
- Capua, O.; A. Giordano and E. Jurio, 2000. Una Problemática Ambiental a Escala Local: El Caso Del Barrio Barda Soleadas. *Boletín Geográfico* (22): 91–107.



- Chiementon, M. E. and M.G. Cogliati, 2011. Variaciones Del Uso Del Suelo En Cipolletti, Provincia de Río Negro, Argentina. *Contribuciones Científicas GÆA* (23): 51–60.
- Chuai, X. W.; X. J. Huang, W. J. Wang and G. Bao, 2013. NDVI, Temperature and Precipitation Changes and Their Relationships with Different Vegetation Types during 1998–2007 in Inner Mongolia, China. *International Journal of Climatology* 33 (7): 1696–1706. <https://doi.org/10.1002/joc.3543>.
- Clark Labs. 2015. Geospatial Software for Monitoring and Modeling the Earth System.
- Didan, K., 2015. MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2015.
- Eastman, R.J., F. Sangermano, B. Ghimire, H. Zhu, H. Chen, N. Neeti, Y. Cai, E. A. Machado and S. C. Crema, 2009. Seasonal Trend Analysis of Image Time Series. *International Journal of Remote Sensing* 30 (10): 2721–26. <https://doi.org/10.1080/01431160902755338>.
- Finessi, F.G. and D. Groch, 2012. Dinámica del paisaje agrario de San Patricio del Chañar (Neuquén, Argentina) a través de imágenes satelitales. *Boletín Geográfico* 34: 91–109.
- Gray, J.; D. Sulla-Menashe and M. A. Friedl, 2019. MODIS Land Cover Dynamics (MCD12Q2) Product. User Guide Collection 6. [https://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdf/MCD12Q2\\_Collection6\\_UserGuide.pdf](https://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdf/MCD12Q2_Collection6_UserGuide.pdf).
- Hasim, S. and K. K. Bhar, 2020. Seasonal Cropping Pattern Extraction Using NDVI from IRS LISS-III Image of Kangsabati Commanded Area. *Procedia Computer Science* 167: 900–906. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2020.03.389>.
- Jurio, E.; M.E Chiementon and M. Mare, 2014. Desestabilización del sistema natural a partir de cambios en el uso del suelo: El caso de los deslizamientos de vista alegre, provincia del Neuquén. *Boletín Geográfico* 36: 11–25. <http://revele.uncoma.edu.ar/htdoc/revele/index.php/geografia/articulo/view/886>.
- Mancino, G.; A. Nolè, F. Ripullone and A. Ferrara, 2014. Landsat TM Imagery and NDVI Differencing to Detect Vegetation Change: Assessing Natural Forest Expansion in Basilicata, Southern Italy. *IForest* 7 (2): 75–84. <https://doi.org/10.3832/IFOR0909-007>.
- Marizza, M. S.; R. Rapacioli and L. Vives, 2010. La Problemática Aluvional En El Alto Valle Del Río Negro, Argentina. *Tecnol. Cienc. Agua* 1 (1): 21–34. [www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222010000100002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222010000100002&lng=es&nrm=iso).
- Martinuzzi, S.; W.A. Gould, A. Ramos Gonzalez, O.M. Martinez Robles, P. Calle Maldonado, N. Pérez-Buitrago and J.J. Fumero Caban, 2008. Mapping Tropical Dry Forest Habitats Integrating Landsat NDVI, Ikonos Imagery, and Topographic Information in the Caribbean Island of Mona. *Rev. Biol. Trop.* 56 (2): 625–39.
- Neeti, N. and J.R. Eastman, 2011. A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. *Transactions in GIS* 15 (5): 599–611.
- Neeti, N.; J. Rogan, Z. Christman, J.R. Eastman, M. Millones, L. Schneider, E. Nickl, B. Schmook, B. Turner and B. Ghimire, 2012. Mapping Seasonal Trends in Vegetation Using AVHRR-NDVI Time Series in the Yucatán Peninsula, Mexico. *Remote Sensing Letters* 3 (5): 433–42. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.616238>.
- ORNL, DAAC, 2018. MODIS and VIIRS Land Products Global Subsetting and Visualization Tool. 2018. <https://doi.org/10.3334/ORN LDAAC/1567>.
- Piao, S.; A. Mohammat, J. Fang, Q. Cai and J. Feng, 2006. NDVI-Based Increase in Growth of Temperate Grasslands and Its Responses to Climate Changes in China. *Global Environmental Change* 16 (4): 340–48. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.002or>.
- Radonich, M.; N. Steimbregger and M. S. Ozino Caligaris, 1999. Expansión Productiva y Espacial de Grandes Empresas Frutícolas de La Norpatagonia Argentina. In *Primeras Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales*.
- Somayajula, V. K. A.; D Ghai and S Kumar, 2021. Land Use/Land Cover Change Analysis Using NDVI, PCA. In *2021 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, 849–55. <https://doi.org/10.1109/ICCMC51019.2021.9418025>.
- Sparks, T.H. and A. Menzel, 2002. Observed changes in seasons: an overview. *International journal of climatology* 22: 1715–25. <https://doi.org/DOI: 10.1002/joc.821>.
- Steimbregger, N.; M. Radonich and S. Bendini, 2003. Expansiones de Frontera Agrícola y Transformaciones Territoriales: Procesos Sociales Diferenciales. *Cuaderno GESA* 4: 17–39.
- Sulla-Menashe, D. and M.A. Friedl, 2018. User Guide to Collection 6 MODIS Land Cover (MCD12Q1 and MCD12C1) Product. [https://modis.ornl.gov/documentation/guides/MCD12\\_User\\_Guide\\_V6.pdf](https://modis.ornl.gov/documentation/guides/MCD12_User_Guide_V6.pdf).
- Wang, S.; X. Chen, X. Li, G. Zhang and T. Yang, 2014. Trends of NDVI, Precipitation and Their Relationship in Different Forest Ecological Zone of China during 1982 to 2006. In *Land Surface Remote Sensing II*, edited by Thomas J. Jackson, Jing Ming Chen, Peng Gong, and Shunlin Liang, 9260:92602H. International Society for Optics and Photonics. <https://doi.org/10.1117/12.2247447>.

- [org/10.1117/12.2067883](https://doi.org/10.1117/12.2067883).
- Wessels, K. J.; R. S. De Fries, J. Dempewolf, L. O. Anderson, A. J. Hansen, S. L. Powell and E. F. Moran. 2004, Mapping Regional Land Cover with MODIS Data for Biological Conservation: Examples from the Greater Yellowstone Ecosystem, USA and Pará State, Brazil. *Remote Sensing of Environment* 92 (1): 67–83. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2004.05.002>.
- Zhang, X.; M. A. Friedl, C. B. Schaaf, A. H. Strahler, J. C.F. Hodges, F. Gao, B.C. Reed and A. Huete, 2003. Monitoring Vegetation Phenology Using MODIS. *Remote Sensing of Environment* 84 (3): 471–75. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00135-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00135-9).