



## Escenarios regionales productivo-ambientales en Patagonia Norte: Ciclos de tendencias del IVN y dinámica de los requerimientos energéticos ganaderos

Easdale, Marcos H.<sup>a</sup>; Hara, Sofía<sup>a</sup>; Umaña, Fernando<sup>b</sup>; Tittonell, Pablo<sup>a</sup>; Bruzzone, Octavio<sup>a</sup>

a) Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias Bariloche (IFAB), INTA-CONICET. b) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Bariloche. Email: easdale.marcos@inta.gov.ar

### RESUMEN

La degradación y desertificación de tierras en Patagonia es un problema socio-ambiental relevante. La ganadería extensiva es la principal actividad agropecuaria, la cual depende de la dinámica de los pastizales y su productividad forrajera. Por lo tanto, sus fluctuaciones, a veces provocadas por el mismo pastoreo, pueden afectar directamente la producción ganadera de la región. La degradación de tierras es usualmente definida como una declinación a largo plazo de los servicios y funciones ecosistémicas, que puede ser evaluada mediante el uso de series de datos satelitales como el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (IVN), considerada la tendencia una buena variable para estimar la degradación de tierras. Un reciente estudio propuso el método de wavelet aplicado al análisis de tendencias de IVN, permitiendo capturar comportamientos monotónicos como no monotónicos o cíclicos, pero demostrando que la tendencia explica una porción muy pequeña de la información temporal contenida en las series de IVN. El ciclo de tendencia es un método que permite integrar los movimientos de largo plazo (tendencias) y las fluctuaciones temporales que generan recaídas o recuperación en el mediano plazo (ciclos interanuales). El objetivo fue analizar los ciclos de tendencia de IVN en Patagonia Norte para el período 2000-2017, como diagnóstico de la dinámica de la productividad de la vegetación. Dicha información se cotejó con datos de la dinámica de los requerimientos energéticos ganaderos entre el año 2002 y 2016 a escala departamental, para las provincias de Río Negro y Neuquén. La combinación entre ambas fuentes de información fue utilizada para identificar y caracterizar escenarios de riesgo productivo-ambientales a escala regional.

**Palabras clave:** Desertificación, pastizales naturales, sequía, series de tiempo, Wavelets

### ABSTRACT

**Regional productive-environmental scenarios in North Patagonia: NDVI trend-cycles and evolution of livestock energy demand.** Land degradation and desertification is a relevant socio-environmental problem in Patagonia. Extensive livestock farming is the main agricultural activity, which depends on rangeland dynamics and its forage productivity. Therefore, their fluctuations, sometimes caused by the same grazing, can directly affect the livestock production of the region. Land degradation is usually defined as a long-term decline in ecosystem services and functions, which can be assessed by using satellite data series such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), for which the trend is considered a good proxy for land degradation. A recent study proposed the wavelet method applied to NDVI trend analysis, allowing capturing monotonic and non-monotonic or cyclic behavior, but showing that the trend explains a very small portion of the temporal information contained in the NDVI series. Trend-cycle is a method that allows the integration of long-term movements (trends) and temporary fluctuations that generate relapse or recovery in the medium term (inter-annual cycles). The aim was to analyze the NDVI trend-cycles in Northern Patagonia for the period 2000-2017, as a diagnosis of the dynamics of vegetation productivity. This information was collated with data on the evolution of livestock energy demand between 2002 and 2016 at departmental level, for the provinces of Río Negro and Neuquén. The combination of both sources of information was used to identify and characterize productive-environmental risk scenarios at a regional scale.

**Keywords:** Desertification, rangelands, drought, time series, Wavelets

## INTRODUCCIÓN

La degradación y desertificación de tierras afecta la calidad de vida de millones de personas (MEA 2005) y el desarrollo sostenible, por su relación con la pobreza y la seguridad alimentaria (UNCCD, 1994). Estos fenómenos han sido atribuidos a factores climáticos (sequías) y antrópicos como el sobrepastoreo, dados los cambios que la herbivoría genera sobre los recursos vegetales, y otros componentes del sistema (FAO, 2006). La ganadería extensiva, principal actividad agropecuaria de Patagonia Norte, depende de la dinámica de los pastizales y su productividad forrajera. Por lo tanto, fluctuaciones en dichas variables, a veces provocadas por el mismo pastoreo, pueden afectar directamente la producción ganadera de la región y hasta provocar la descapitalización de los sistemas (Easdale y Rosso 2010).

El seguimiento de la degradación y desertificación de tierras resulta de especial interés para poder tomar medidas que reduzcan o reviertan dichos procesos. Si bien existen esfuerzos recientes en la generación de propuestas metodológicas orientadas a tal fin, no se dispone aún de un abordaje riguroso y sistemático de su compleja dinámica.

El uso de datos obtenidos por sensores remotos para el monitoreo ambiental ha crecido enormemente en las últimas décadas (Karl et al. 2017). Desde estos abordajes, la degradación de tierras es usualmente definida como una declinación a largo plazo de los servicios y funciones ecosistémicas, que puede ser evaluada mediante el uso de series de datos satelitales como el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (IVN, Bai et al. 2008). En particular, se ha postulado que la tendencia de IVN es una buena variable para estimar la degradación de tierras (Wessels et al. 2007). Muchos estudios orientados a analizar la degradación de tierras a escala global o regional se basan en el argumento de que la tendencia puede ser adecuadamente analizada mediante el uso de funciones monotónicas, como la regresión lineal (Anyamba y Tucker 2005; Omuto et al., 2011; Miao et al., 2012; Gaitán et al., 2015). El principal problema de este método es que no es posible considerar comportamientos cíclicos o recurrentes. Recientemente, se propuso un modelo auto-regresivo de wavelet como método alternativo aplicado al estudio de tendencias de IVN, que permitió capturar tanto comportamientos monotónicos como no monotónicos o cíclicos (Easdale et

al. 2018). A su vez, otro resultado relevante de dicho estudio fue que la tendencia explicó una porción muy pequeña de la información temporal contenida en las series de IVN en todos los casos de estudio analizados. En consecuencia, una alternativa para incrementar la sensibilidad del análisis sería la integración de ciclos de baja frecuencia asociados a la tendencia del IVN (Hastings y Wysham 2010).

El ciclo de tendencia es un método que permite representar una versión suavizada de una serie temporal desestacionalizada, el cual es utilizado usualmente por los economistas ya que proporciona información sobre los movimientos a largo plazo, pero que incluye cambios en la dirección subyacente a la serie. En otras palabras, permite integrar los movimientos de largo plazo (tendencias) y las fluctuaciones temporales que generan recaídas o recuperación en el mediano plazo (ciclos interanuales) (Nelson 2010).

El objetivo de este trabajo fue analizar los ciclos de tendencia de IVN en Patagonia Norte para el período 2000-2017, como elemento diagnóstico de la dinámica de la productividad de la vegetación. Dicha información se cotejó con datos de la dinámica de los requerimientos energéticos ganaderos entre los años 2002 y 2016 a escala departamental, para las provincias de Río Negro y Neuquén. La combinación entre ambas fuentes de información fue utilizada para identificar y caracterizar escenarios de riesgo productivo-ambientales a escala regional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos de imágenes MODIS (producto MODIS13Q1) para el período temporal 2000-2016 (frecuencia de datos cada 16 días y píxel de resolución espacial de 6,25ha), para la región Patagonia Norte. Se calculó el IVN mediante la siguiente ecuación (Ec.1):

$$IVN = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R)$$

donde NIR y R son la reflectancia superficial de la tierra centrada en las porciones 858 nm (infrarrojo cercano) y 648 nm (visible) del espectro electromagnético, respectivamente. El pre-procesamiento de información se realizó siguiendo el procedimiento efectuado por Easdale et al. (2018).

### *Filtrado de las series*

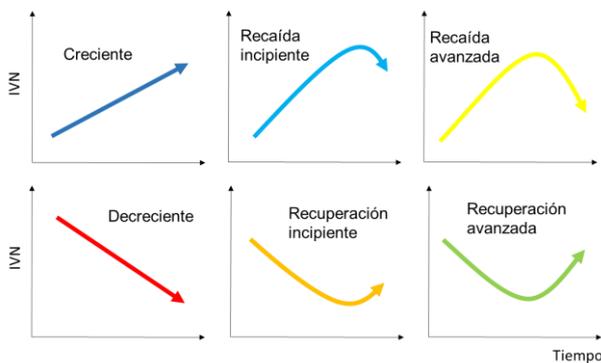
Sobre las series de IVN, se procedió a realizar un filtrado de paso bajo por medio de wavelets. La serie de valores



de cada pixel fue descompuesta en una serie de átomos de gabor (funciones sinusoidales localizadas en el tiempo por medio de una ventana gaussiana), por medio del algoritmo *Basis Pursuit* (Chen, 2001). La secuencia de átomos así obtenidos fue filtrada, por medio de la eliminación de los átomos cuya frecuencia fuese mayor a 1/4 años, y luego se reconstruyó la serie con los átomos remanentes, de manera que sólo quedase variabilidad de mediano-largo plazo. El filtrado y reconstrucción de la serie fue realizada por medio del software *gpu\_pursuit* versión 0.02 (Bruzzone y Easdale, 2018).

### Clasificación del ciclo de tendencia de IVN

Se definieron seis clases de Ciclos de Tendencia, estadísticamente significativas, en función de la posición de los máximos y/o mínimos globales de la serie filtrada (Fig. 1).



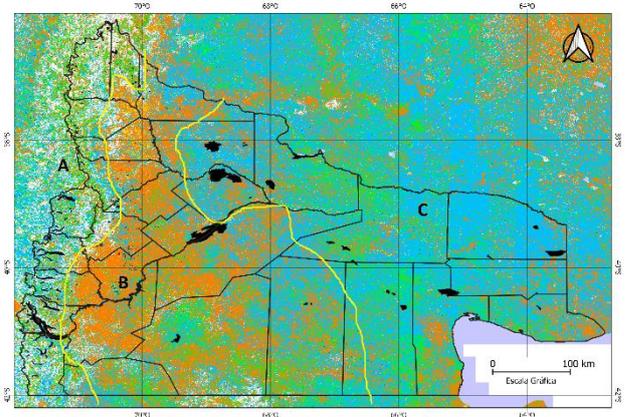
**Figura 1.** Clases de ciclo de tendencia de IVN. El color de la flecha identifica el color usado para cada clase en la Fig. 2.

Se recolectó la información de existencias ganaderas (N° cabezas) de Río Negro y Neuquén por departamento para el año 2002 (INDEC, 2002), y entre 2012 y 2016 (SENASA Patagonia Norte). A partir de dicha información se estimaron los requerimientos energéticos ganaderos acumulados (MJ/ha/año), contemplando las diferencias entre especies, razas y categorías según Gerardin et al. (2013).

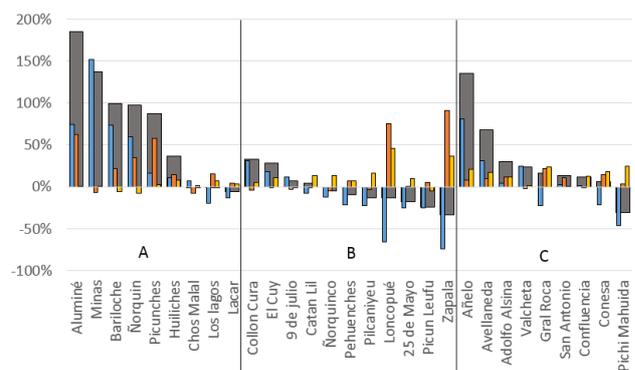
## RESULTADOS

Se identificaron zonas con diferentes patrones asociados a los ciclos de tendencia de IVN (Fig. 1). Una zona a lo largo de la cordillera y precordillera Andina (A) y otra zona en el Monte Austral y Monte Oriental (C), ambas con una predominancia de patrones de recuperación avanzada o re-caída incipiente, respectivamente, reflejando valores recientemente elevados o cercanos máximos para la serie

analizada. Por otro lado, una zona vinculada a Distrito Occidental y Central (B) en ambas provincias con un patrón predominante de recuperación incipiente.



**Figura 2.** Ciclo de Tendencia de IVN (2000-2017) en Patagonia Norte. Las letras identifican zonas con diferentes escenarios, delimitadas por las líneas amarillas.



**Figura 3.** Variación relativa de los requerimientos energéticos ganaderos (Mj/ha/año) globales (2002-2016 ■) y parciales en los períodos 2002-2012 (■), 2012-2014 (■), y 2014-2016 (■), expresados en porcentajes respecto a los valores iniciales de cada período.

Asimismo, se observó un patrón intra-zonal de la evolución de los requerimientos energéticos ganaderos (Fig. 3). La zona A tuvo un sostenido crecimiento hasta 2014 que llevó hasta triplicar los requerimientos. Por su parte, la zona B también ha tenido un crecimiento que fue sostenido a lo largo de todo el período de estudio, aunque comparativamente de menor intensidad. Por último, la zona C mostró un balance negativo de los requerimientos energéticos, especialmente en el oeste y sur de dicha zona, debido a una intensa merma entre 2002-2012 que aún no se ha recuperado con el sostenido crecimiento en los años subsiguientes. Esta caída de los requerimientos energéticos ganaderos estuvo asociada al efecto combinado de un período prolongado de sequía (2008-



2011) y el depósito de cenizas volcánicas (Easdale et al. 2014) que redujo notablemente las existencias ganaderas tanto en la zona A (departamentos Los Lagos y Lacar), como en la zona B.

## DISCUSIÓN

La combinación entre la identificación de zonas con diferentes ciclos de tendencia de IVN y la dinámica de los requerimientos energéticos ganaderos permitió describir diferentes escenarios productivo-ambientales. La zona A presentó un escenario asociado a valores cercanos a los máximos, el cual estuvo acompañado por un crecimiento sostenido de requerimientos ganaderos en todo el período. Esta situación refleja una creciente presión sobre los recursos naturales (pastizales de altura y bosque) y eventualmente promovería procesos de degradación, si los requerimientos ganaderos se mantuvieran en dichos valores. La zona C se encuentra en un escenario similar, con la diferencia que los requerimientos ganaderos crecieron con una menor proporción que en la zona A. Sin embargo, esta zona es más sensible frente a una confirmación de una recaída en la productividad de los pastizales (ocasionado por un proceso de sequía), debido a su mayor aridez. Este escenario tendría consecuencias negativas sobre la producción ganadera.

Finalmente, la zona B se encuentra en un escenario de recuperación incipiente, corroborado también en los actuales niveles regionales de requerimientos ganaderos, aún inferiores en comparación con los valores a principios del período estudiado. Si bien este escenario de recuperación sería favorable, un incremento de los requerimientos ganaderos más que proporcional respecto de la productividad de los pastizales, podría ser contraproducente en términos ambientales a largo plazo.

## CONCLUSIONES

La combinación de información de ciclos de tendencia de IVN y la dinámica de los requerimientos ganaderos permitió identificar y caracterizar escenarios de riesgo productivo-ambientales a escala regional en Patagonia norte. Este abordaje podría ser utilizado como base de un sistema de alerta temprana regional para tomar decisiones a mediano y largo plazo, orientadas a reducir los riesgos tanto de degradación ambiental como de pérdidas productivas en sistemas ganaderos extensivos.

## REFERENCIAS

- Anyamba A, Tucker CJ. 2005. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981–2003. *Journal of Arid Environments* 63(3): 596–614.
- Bai ZG, Dent DL, Olsson L, Schaepman ME. 2008. Proxy global assessment of land degradation. *Soil Use and Management* 24(3): 223–234.
- Bruzzone O, Easdale MH. 2018. Gpu\_pursuit, version 0.2, Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.1283338.
- Chen SS, Donoho DL, Saunders MA. 2001. Atomic decomposition by basis pursuit. *SIAM review*, 43(1), 129–159.
- Easdale MH, Rosso H. 2010. Dealing with drought: social implications of different smallholder survival strategies in semi-arid rangelands of Northern Patagonia, Argentina. *The Rangeland Journal* 32, 247–255.
- Easdale MH, Bruzzone O, Mapfumo P, Tittonell P. 2018. Phases or regimes? Revisiting NDVI trends as proxies for land degradation. *Land Degradation & Development*, 1–13.
- FAO. 2006. Livestock's long shadow – Environmental issues and options, by H. Steinfeld, P. J. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, C. de Haan. Rome.
- Gaitan JJ, Bran DE, Azcona C. 2015. Tendencia del NDVI en el período 2000-2014 como indicador de la degradación de tierras en Argentina: ventajas y limitaciones. *Agriscientia*, 32(2), 83–93.
- Girardin L, Jockers E, Villar L, Giraudo C. 2013. Anexo 4: Requerimientos y equivalencias entre especies, pp. 64–68. En: Siffredi GL, Boggio F, Giorgetti H, Ayesa JA, Kröpfl A, Álvarez JM (eds.) *Guía para la Evaluación de Pastizales para las áreas ecológicas de Sierras y Mesetas Occidentales y de Monte de Patagonia Norte*, Segunda edición. Ediciones INTA, EEA Bariloche.
- Hastings A, Wysham DB. 2010. Regime shifts in ecological systems can occur with no warning. *Ecology Letters*, 13, 464–472.
- INDEC, 2002. Censo Nacional Agropecuario. Ministerio de Economía, Buenos Aires.
- Karl JW, Herrick JE, Pyke DA. 2017. Rangeland Systems. En: Briske DD (ed.), *Rangeland Systems*, Springer Series on Environmental Management, 527–567.
- MEA, Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island, Washington, DC.



Miao CY, Yang L, Chen XH, Gao Y. 2012. The vegetation cover dynamics (1982–2006) in different erosion regions of the Yellow River Basin, China. *Land Degradation and Development* 23: 62–71.

Nelson CR. 2010. Trend/Cycle decomposition. En: Durlauf, S.N., Blume, L.E. (Eds) *Macroeconometrics and Time Series Analysis*. The New Palgrave Economics Collection. Palgrave Macmillan, London, pp. 343-346.

Omuto CT, Balint Z, Alim MS. 2014. A framework for national assessment of land degradation in the drylands: a case study of Somalia. *Land Degradation and Development* 25: 105–119.

SENASA, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. *Anuarios Estadísticos 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016*. Centro Regional Patagonia Norte.

UNCCD. 1994. International convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in africa.A/AC. 241/27, 33. I.L.M 1328.

Wessels KJ, Prince SD, Malherbe J, Small J, Frost PE, VanZyl D 2007. Can human-induced land degradation be distinguished from the effects of rainfall variability? A case study in South Africa. *Journal of Arid Environments* 68(2): 271–297.