

Una herramienta para monitorear sequías en regiones áridas y semiáridas de Patagonia Norte

EASDALE, M.H.^{1*}; LÓPEZ, D.R.²; BIANCHI, E.²⁴; BRUZONE O.³⁴; VILLAGRA S.E.¹; SIFFREDI, G.L.²; GAITÁN J.J.²; UMAÑA F.²; ORICCHIO, P.⁵

RESUMEN

La variabilidad ambiental es una característica de regiones pastoriles áridas y semiáridas, siendo la sequía uno de los principales problemas en sistemas ganaderos extensivos, con implicancias productivas y económicas tanto a escala predial como regional. El monitoreo regional de los procesos de sequía es una herramienta fundamental y necesaria, como complemento de propuestas y manejos adaptativos activos que busquen mitigar los impactos sobre la producción. En el presente artículo proponemos una herramienta para el monitoreo de sequías en zonas áridas y semiáridas, basada en datos provistos por sensores remotos. El objetivo fue desarrollar un sistema de monitoreo basado en un índice espectral, desagregando la heterogeneidad biofísica regional en unidades homogéneas, y relacionándola con los momentos clave de decisiones asociadas al manejo ganadero tradicional, en sistemas de producción ovina de Patagonia Norte. Esta integración permite acercar esta herramienta a la toma de decisiones a escala regional, fundamentalmente para instituciones y organizaciones locales, y colaborar con información en el diseño y desarrollo de políticas vinculadas al manejo ganadero adaptativo. Finalmente, discutimos los alcances de la herramienta y los desafíos futuros, asociados al desarrollo de sistemas de alerta temprana y mitigación de sequías en regiones áridas y semiáridas.

Palabras clave: Alerta temprana, mitigación, Patagonia, sensores remotos, producción ovina, vulnerabilidad.

ABSTRACT

Environmental variability is a constant feature in arid and semiarid rangeland regions, being drought one of the main problems in extensive livestock production, with productive and economic impacts both at farm and regional scales. Regional monitoring of drought processes is a key and necessary tool, as a complement for active adaptive proposals and management, aimed at mitigation on production impacts. In this article, we propose a tool for drought monitoring in arid and semiarid areas, based on remote sensing data. The aim was to develop a monitoring system based on a spectral index, disaggregating regional biophysical heterogeneity into homogeneous units, by linking them to key decision moments associated with traditional livestock management in sheep farming systems from Northern Patagonia. Such integration allows bringing this tool closer to regional decision making, basically for local institutions and organizations, and give support with information for policy design and development related to adaptive livestock management. Finally, we discuss the scope of this tool and future challenges, regarding the development of early warning and drought mitigation systems in arid and semiarid regions.

Keywords: early warning, mitigation, Patagonia, remote sensing, sheep production, vulnerability.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Bariloche. Modesta Victoria 4450 (8400), Bariloche, Río Negro, Argentina.

¹Área de Desarrollo Rural. ²Área de Recursos Naturales. ³Área Forestal. ⁴Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET). ⁵INTA, Instituto de Clima y Agua.

**Correo electrónico: measdale@bariloche.inta.gov.ar

Recibido 01 de julio de 2011 // Aceptado 23 de noviembre de 2011 // Publicado online 18 de abril de 2012

INTRODUCCIÓN

La variabilidad ambiental es una característica de regiones pastoriles áridas y semiáridas en todo el mundo (Noy-Meir, 1973; Illius y O'Connor, 1999; Schwinning y Sala, 2004), siendo la sequía uno de los principales problemas en sistemas ganaderos extensivos (e.g. Le Houérou, 1996; White *et al.*, 1998; du Pisani *et al.*, 1998; Oba, 2001). Mitigar la sequía en regiones áridas y semiáridas requiere tener disponible adecuada información como primer paso para impulsar monitoreos y manejos adaptativos activos (Berkes *et al.*, 2000; Lindenmayer y Likens, 2009). Sin embargo, la generación de este tipo de información no es simple y necesita la integración de diferentes disciplinas y herramientas, que contribuyan en conjunto al desarrollo de un sistema de monitoreo.

El efecto del evento de sequía de importancia agronómica se encuentra determinado por una reducción significativa en la productividad forrajera, que tiene implicancias sobre la productividad ganadera, y por ende, económicas. Se pueden registrar desde mermas en la cantidad de productos generados (e.g. kg carne.ha⁻¹, kg lana.ha⁻¹), hasta mortandad animal. Bajo esta definición de sequía, es importante: a) generar índices que permitan monitorear la dinámica de la vegetación, b) identificar los momentos del ciclo productivo en los cuales la exposición y sensibilidad es mayor (*sensu* Turner II *et al.*, 2003).

Los principales controles de la dinámica de la vegetación en zonas áridas están relacionados con factores climáticos (Jobbágy *et al.*, 2002; Schwinning y Sala, 2004). En estos ecosistemas, y particularmente en Patagonia, una disminución en las precipitaciones produce mermas en la productividad primaria (e.g. Illius y O'Connor, 1999; Jobbágy *et al.*, 2002; Schwinning y Sala, 2004; Fabricante *et al.* 2009). Asimismo, existen interacciones con la temperatura que en determinadas zonas y en ciertos momentos del año adquieren relevancia (Jobbágy *et al.*, 2002). La sequía es un fenómeno regional y que varía espacialmente, por lo tanto es importante conocer la distribución espacial del evento. En particular, es relevante resaltar zonas críticas para la intervención, y su vínculo con momentos del ciclo productivo en donde dicha información es clave para tomar decisiones con la suficiente anticipación, permitiendo reducir las potenciales pérdidas. En este sentido, los sensores remotos ofrecen algunas posibilidades para avanzar en esta dirección. Una ventaja de la información satelital es que permite contar rápidamente con información a una escala de tiempo compatible con la toma de decisiones en sistemas ganaderos extensivos, abarcando toda una región y sin tener que recurrir a extrapolaciones. Particularmente, el Índice de Vegetación Normalizado (IVN) permite estimar la cantidad de energía radiante absorbida por la vegetación (Ruimy *et al.*, 1994; Gamon *et al.*, 1995), considerado por ende un buen estimador de la productividad primaria neta aérea (PPNA) (Monteith, 1977; Paruelo *et al.*, 1997; Paruelo *et al.*, 2000). Incluso en algunos sitios de Patagonia, se ha estudiado su relación con indicadores de productividad secundaria (i.e. ganadera) como la mortalidad animal y la señalada (Texeira y Paruelo, 2005; Hall y Paruelo, 2006).

Algunas aplicaciones al manejo ganadero en zonas húmedas son alentadoras en cuanto al objetivo de acercar estas herramientas a la toma de decisiones (Grigera *et al.*, 2007).

El IVN integra el efecto de dos de los principales controles climáticos de la vegetación: las precipitaciones y las temperaturas de un lugar (e.g. Jobbágy *et al.* 2002; Fabricante *et al.* 2009). Cambios relativos en el IVN podrían estar reflejando modificaciones (~anomalías) en la actividad fotosintética de la vegetación en su conjunto. Si estos valores relativos son negativos y ocurren durante la estación de crecimiento, constituirían anomalías asociadas a la ocurrencia de un evento de sequía, proporcionando una herramienta para su monitoreo.

En este contexto, la finalidad de este trabajo es proponer una herramienta para el monitoreo de sequías en zonas áridas y semiáridas de Patagonia norte. Para ello, se propone monitorear los cambios relativos en el IVN a escala regional, desagregando la heterogeneidad biofísica en unidades homogéneas de análisis. Esto permite incluir diferencialmente aspectos clave del manejo ganadero tradicional en sistemas de producción ovina de Patagonia Norte, con la intención de acercar esta herramienta a la toma de decisiones a escala regional (i.e. político). Finalmente, se discuten las implicancias, desafíos y futuros pasos en el desarrollo de este tipo de herramientas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para discriminar la heterogeneidad espacial en la provincia de Río Negro, utilizamos la aproximación de regiones ecológicas homogéneas. Cada región ecológica es considerada una unidad homogénea en términos fitogeográficos, de relieve y geológicos (León *et al.*, 1998; Bran *et al.*, 2000). En este artículo y para ejemplificar su utilización, se seleccionaron dos regiones ecológicas contrastantes de la provincia de Río Negro: Monte Austral y Sierras y Mesetas (fig. 1).

La región ecológica del Monte Austral ocupa una superficie de 8.419.775 hectáreas en Río Negro. Presenta un clima árido, con precipitaciones anuales por lo general menores a 200 mm y una temperatura media anual superior a 13 °C (Bran *et al.*, 2000). La vegetación predominante es una estepa arbustiva media con *Larrea* spp., asociada con *Monttea aphylla*, *Prosopis alpataco* y *Atriplex lampa*, y un estrato gramíneo constituido por *Nassella tenuis* (ex *Stipa tenuis*) (Cabrera, 1971). La región ecológica de Sierras y Mesetas ocupa una superficie de 3.538.500 hectáreas. El clima es predominantemente árido y frío, con precipitaciones medias anuales en torno a los 250 mm otoño-invernales, y temperatura anual media de aproximadamente 8 °C. Está conformada por un área de sierras, pedimentos mesetiformes y mesetas basálticas, con alturas de aproximadamente 1.000 m.s.n.m., con predominio de estepas de arbustos bajos con *Mulinum spinosum* y *Senecio* spp. y estrato gramíneo con *Pappostipa speciosa* (ex *Stipa speciosa*), mientras que en los sectores más elevados (>1.200 m.s.n.m.) se encuentran estepas gramíneas

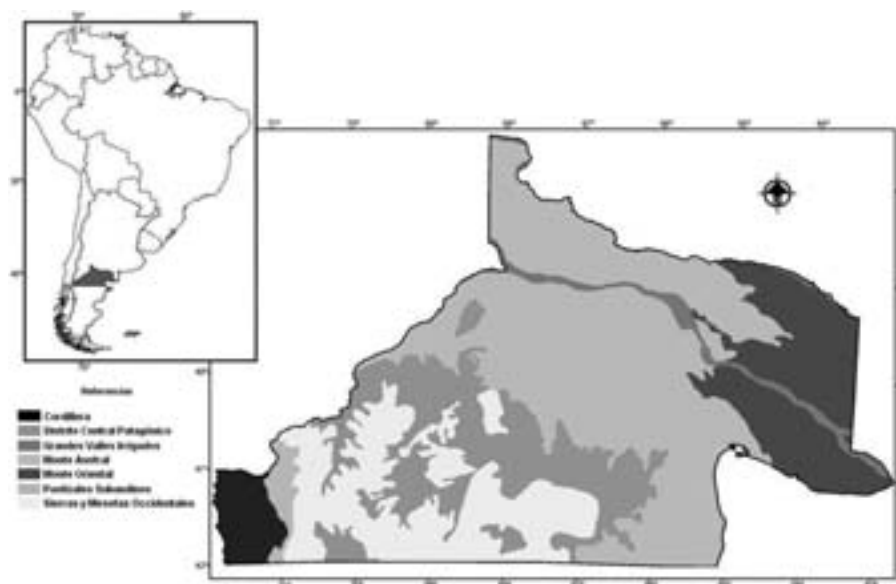


Figura 1. Regiones Ecológicas Homogéneas de la provincia de Río Negro, Argentina. Fuente: Bran *et al.*, 2000.

de *Festuca* spp. Una característica distintiva de esta región es que presenta humedales (mallines) que representan aproximadamente el 3% de la superficie total (Bran *et al.*, 2000). Si bien las regiones difieren en cuanto a características fitogeográficas, topográficas, geológicas e incluso climáticas, en ambas se desarrollan sistemas de producción ovina, con similitudes en cuanto al manejo. En este sentido se identificaron cuatro momentos vinculados a actividades productivas importantes en el manejo tradicional de sistemas ovinos extensivos de Río Negro: servicio, esquila, parto y destete.

Para estimar el IVN se utilizaron imágenes NOAA/AVHRR con una resolución de 1,1 km², incluyendo una serie de julio-1996 a diciembre-2009. En cada imagen se realizaron correcciones por distorsiones atmosféricas, geométricas y de emisividad (rugosidad) de la superficie. Las correcciones atmosféricas y geométricas se realizaron al obtener la imagen, mientras que las de rugosidad se realizaron al calcular el IVN. Para el cálculo del IVN $((ch2 \text{ (infrarrojo)} - ch1 \text{ (rojo)}) / (ch1 + ch2))$ se utilizaron los canales 1 (ch1) y 2 (ch2) de los pasajes correspondientes a horas cercanas al mediodía, y los valores fueron escalados de 0 a 100. Se generaron composiciones decádicas (i.e. una imagen compuesta de 10 días; o sea 3 imágenes mensuales) basada en el máximo valor de IVN (Holben, 1986), para poder tener un mejor control de la calidad de las imágenes a utilizar en los análisis posteriores. De los 522 periodos decádicos en la serie 1996-2009, se descartaron 75 (14,4%) por distintos problemas de calidad (i.e. nubosidad, valores anómalos, no disponibilidad) y algunos meses no pudieron ser incluidos en el análisis. Posteriormente, se utilizaron estas imágenes para obtener una composición mensual basada en el máximo IVN, a partir de las cuales se calcularon los valores relativos. La cantidad de datos disponibles para cada mes quedó conformada de la siguiente manera:

para mayo y junio se dispuso de 9 registros anuales para la serie seleccionada (n=9); abril (n=10); febrero, marzo y julio (n=12); enero, agosto, septiembre y octubre (n=13); noviembre y diciembre (n=14). Finalmente, para la obtención del IVN mensual por región ecológica homogénea y con la finalidad de asegurar que los datos correspondan exclusivamente a sitios con vegetación natural, se eliminaron los píxeles correspondientes a las áreas urbanizadas, cuerpos de agua, y roquedales que se encontraran dentro de los límites de la región bajo análisis.

El valor relativo del Índice de Vegetación Normalizado (IVNr) se obtuvo de acuerdo a la Eq.1 (basado en Peters *et al.*, 2002). Con la serie histórica disponible, se obtuvo para cada mes y para cada píxel un valor promedio y su desvío estándar; donde $IVNr_{ijk}$ es el Índice de Vegetación Normalizado relativo para el píxel i mes j y año k , X_{ijk} es el mes corriente (o focal de análisis) para el píxel i mes j y año k , XP_{ij} el valor promedio para el píxel i durante n años (excluyendo el mes del año corriente o focal), y σ_{ij} es el desvío estándar para el píxel i durante n años (excluyendo el mes del año corriente o focal).

$$IVNr_{ijk} = (X_{ijk} - XP_{ij}) / \sigma_{ij} \quad (\text{eq. 1})$$

La expresión del valor relativo en términos de desvío estándar (anomalía), permite incorporar la variabilidad temporal, como un rango de variabilidad esperable para cada píxel. Esta estandarización permite, a su vez, realizar comparaciones entre píxeles y de esa manera describir la distribución espacial del fenómeno. Con el objetivo de analizar la distribución espacial de las anomalías, el IVNr fue clasificado en 10 clases (mapa regional), basadas en rangos cada 0,5 desvíos estándar (desde $< -2,5$ hasta $> +2,5$ desvíos por

encima y por debajo del promedio, respectivamente). A cada rango se le asignó un color diferente, y fue utilizado como referencia para la asignación de colores a cada píxel. Para ejemplificar su utilización, se presentan los mapas correspondientes a los meses de la estación de crecimiento para 2 años consecutivos (2006 y 2007), contrastantes en términos de las precipitaciones registradas.

RESULTADOS

La dinámica inter-mensual del IVN promedio fue diferente entre regiones (fig. 2). En el Monte Austral, se registran dos picos anuales en los valores medios de IVN, uno asociado

a la primavera (alcanzando el máximo valor medio en octubre) y el otro al otoño (con máximo en los meses de abril-mayo). En la región de Sierras y Mesetas, los valores de IVN promedio se incrementan durante la primavera-verano (con valores máximos en diciembre), para luego descender hasta el próximo ciclo de crecimiento. Dichas evoluciones temporales del IVN, y particularmente los valores máximos, tienen relación con el período del año en el cual ocurren las pariciones, y, por ende con el momento previo en donde se realizan los servicios (fig. 2).

La secuencia de imágenes de dos años consecutivos para la provincia de Río Negro, muestra valores de IVNr positivos en la primavera del año 2006, particularmente

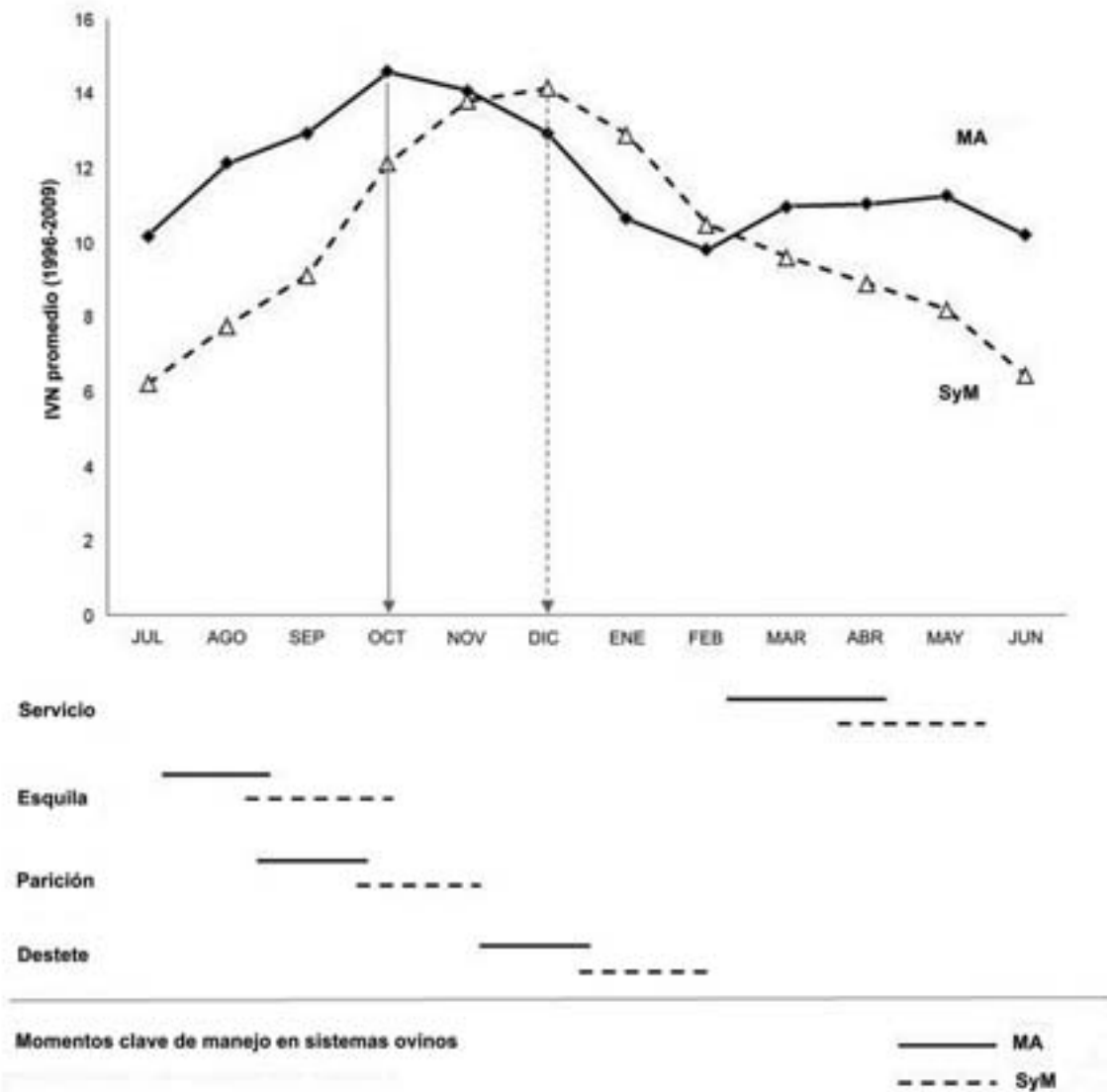


Figura 2. Evolución del Índice de Vegetación Normalizado (IVN) promedio mensual, para las regiones del Monte Austral (MA, línea llena) y Sierras y Mesetas (SyM, línea cortada). Se indican los momentos clave asociados al manejo tradicional en sistemas de producción ovina en Patagonia Norte: Servicio, Esquila, Parición y Destete.

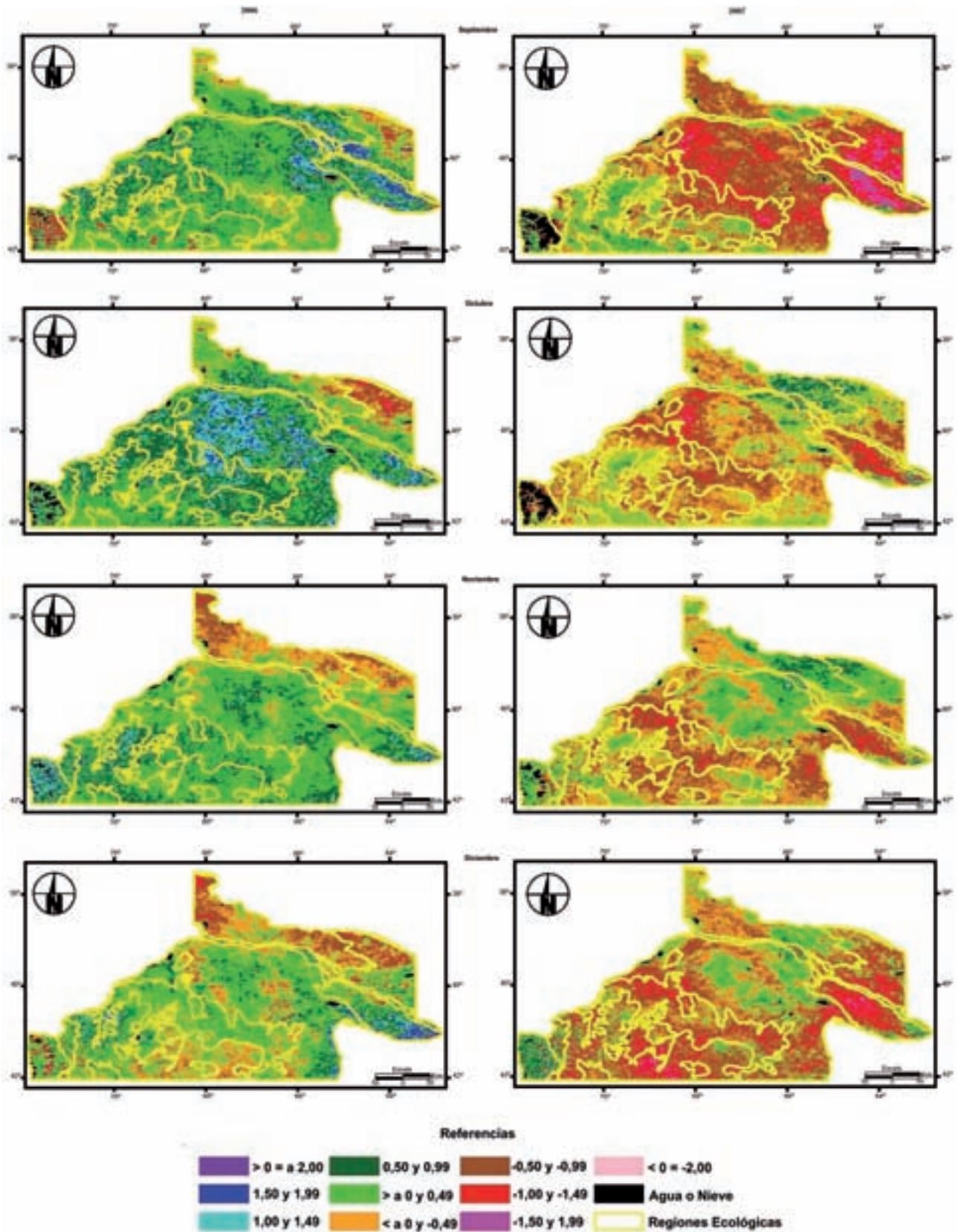


Figura 3. Secuencia de mapas mensuales del Índice de Vegetación Normalizado relativo (IVNr), correspondientes a septiembre, octubre, noviembre y diciembre de los años 2006 y 2007, respectivamente. Se incluyen los límites de regiones ecológicas para la provincia de Río Negro (líneas amarillas).

altos en octubre en el Monte Austral (fig. 3). Los mismos contrastan con los valores negativos de IVNr observados al año siguiente durante septiembre-octubre en el Monte Austral, y en diciembre en Sierras y Mesetas, momentos en los cuales el IVN debería alcanzar sus máximos, respectivamente (fig. 3). Las mismas secuencias permiten hacer espacialmente explícita la incidencia de dichas anomalías a escala regional.

DISCUSIÓN

Con la finalidad de monitorear regionalmente la ocurrencia de sequías, hemos propuesto el monitoreo del IVN relativo, desagregando su comportamiento por región ecológica homogénea, para asociarlo al manejo tradicional en sistemas de producción ovina de Patagonia norte (fig. 2). La evolución del IVN promedio integra en gran medida y para cada región, lo que ocurre principalmente con la precipitación, pero también con la temperatura en cada lugar, (Fabricante *et al.*, 2009). La región de Sierras y Mesetas está influenciada por un clima de tipo mediterráneo (Bran *et al.*, 2000), que concentra las precipitaciones durante la época invernal, por lo que la temperatura influye en el inicio de la estación de crecimiento en primavera (Jobbágy *et al.*, 2002). En el Monte Austral existe una mayor influencia climática del Atlántico (Prohaska, 1956; Labraga y Villalba, 2009), las precipitaciones se distribuyen más a lo largo del año, y la demanda atmosférica es mayor en el verano.

Las diferencias regionales en la dinámica de la vegetación tienen relación con algunas decisiones de manejo tradicional en los sistemas ovinos de Río Negro (fig. 2). Las fechas de servicio en el Monte Austral ocurren hacia fines del verano, para situar las pariciones durante la etapa inicial de crecimiento vegetal en primavera. Esta situación se evidencia también en la disponibilidad para comercializar corderos que tiene esta región a partir de Octubre (Villagra y Giraucho, 2010). En contraposición, los servicios en Sierras y Mesetas ocurren más tardíamente (i.e. otoño) y por ende las pariciones también se sitúan ya avanzada la primavera, en donde la temperatura empieza a ser también mayor. A los fines del monitoreo de las anomalías del IVN, para inferir posibles procesos de sequía que afecten significativamente a los sistemas ganaderos, se sugiere que en el Monte Austral sería importante focalizar el análisis durante el período agosto-octubre (asociado a medidas de manejo vinculadas con las pariciones y el destete) y luego en marzo-abril (asociado al momento del servicio). En Sierras y Mesetas el período focal de análisis se ubicaría entre septiembre y diciembre, vinculado a decisiones asociadas con las pariciones y el destete. Decisiones en torno al servicio correspondiente al ciclo siguiente debieran estar referenciadas al pico de IVN obtenido en diciembre (fig. 2).

La distribución espacial y la magnitud relativa de los eventos de sequía son componentes importantes de un sistema de monitoreo, para guiar la intervención en el territorio (fig. 3). Las imágenes ejemplifican dos años contrastantes para ambas regiones, mostrando valores relativos negativos durante 2007, que conciden con registros

pluviométricos muy inferiores a los promedios históricos e indicadores productivos contrastantes relevados a terreno en distintas zonas de ambas regiones (Villagra y Giraucho, 2010; Easdale y Rosso, 2010). En algunos establecimientos ovinos monitoreados en distintas zonas del Monte Austral se registraron indicadores productivos superiores al promedio durante 2006, mientras que al año siguiente se registraron fuertes caídas en los valores de señalada e incrementos en las mortandades de ovinos adultos, que en algunos casos superaron el 60% (Villagra y Giraucho, 2010). Resultados similares se encontraron en una zona ubicada en el oeste de Sierras y Mesetas, registrándose mortandades generalizadas en distintas especies domésticas y bajas tasas de señalada (Easdale y Rosso, 2010). En esta dirección, algunos trabajos exploraron las relaciones entre índices espectrales y productividad secundaria, utilizando series de datos de mayor longitud temporal (Texeira y Paruelo, 2005; Hall y Paruelo, 2006). Estos estudios y las evidencias empíricas descriptas apoyan la idea de que los índices de vegetación son sensibles para captar cambios relativos en la dinámica de la vegetación en regiones áridas y semiáridas, para ser utilizados como indicadores de cambios vinculados a la productividad ganadera.

Mayores esfuerzos de investigación se requieren para explorar las relaciones entre forzantes climáticos de gran escala, variables meteorológicas e índices espectrales en regiones áridas. Por otro lado, un proceso que merece especial atención es la desertificación, especialmente en Patagonia (del Valle *et al.*, 1998), ya que puede incidir en algunos parámetros de referencia propuestos (e.g. valores promedio históricos del IVN). La importancia en su estudio radica en que altera la respuesta de la vegetación a cambios en las precipitaciones (i.e. Le Houérou, 1984; Verón y Paruelo, 2010). Si bien algunos indicadores han sido sugeridos para avanzar en su comprensión (Le Houérou, 1984; Verón *et al.*, 2006), todavía existen desafíos futuros que adquieren especial relevancia en la escala regional propuesta (Verón *et al.* 2006). Asimismo, el desarrollo de un sistema de alerta temprana y mitigación de sequías requiere la integración a dos escalas interconectadas, *i)* una regional en donde adquieren relevancia decisiones políticas, con apoyo institucional y organizativo; y *ii)* a escala predial, en la cual se toman decisiones de manejo y se aplican tecnologías asociadas a las características propias de cada sistema de producción.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera podido llevarse adelante sin la colaboración del Instituto de Clima y Agua (INTA Castelar) y del Laboratorio de Teledetección y SIG (INTA-EEA Bariloche). Hacemos un especial reconocimiento a la colaboración brindada, en distintas instancias de este trabajo, por Alejandro González, Paula Lagorio, Leandro García, Santiago Marciani, Celso Giraucho, Donald Bran, Javier Ayesa y Germán Carriac. A Edgardo Tejeda (coordinador provincial de Ley Ovina Río Negro), Tabaré Bassi (Director de Ganadería de Río Negro), al grupo PROPASTIZAL (Ley Ovina

UEP Río Negro) y a Lisandro Blanco por apoyar, contribuir a mejorar y difundir el uso de esta herramienta. Este trabajo fue financiado por INTA-(AEFP 3501) GEF (ARG/07/G35) y Ley Ovina (UEP Río Negro).

BIBLIOGRAFÍA

- BERKES, F.; COLDING, J.; FOLKE, C. 2000. Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications* 10, 1251-1262.
- BRAN, D.; AYESA, J.; LÓPEZ C. 2000. Regiones Ecológicas de Río Negro. *Comunicación Técnica N.º 59* – INTA, EEA Bariloche - Río Negro.
- CABRERA, A. 1971. *Fitogeografía de la República Argentina*. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 14, 1-42.
- DEL VALLE, H.F.; ELISSALDE, N.O.; GAGLIARDINI, D.A.; MILOVICH J. 1998. Status of desertification in the Patagonian region: Assessment and mapping from satellite imagery. *Arid Soil Research & Rehabilitation* 12, 1-27.
- DU PISANI, L.G.; FOUCHÉ, H.J.; VENTER, J.C. 1998. Assessing rangeland drought in South Africa. *Agricultural Systems* 57, 367-380.
- EASDALE, M.H.; 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, M.H. 2010. Evaluación económico-financiera de tecnologías en sistemas de producción ovina, bajo diferente contextos. En: MUELLER, J.; CUETO, M. (Eds.) *Memorias del VIII Curso de Actualización en Producción Ovina*. INTA-EEA Bariloche, pp. 192-210.
- FABRICANTE, I.; OESTERHELD, M.; PARUELO, J.M. 2009. Annual and seasonal variation of NDVI explained by current and previous precipitation across Northern Patagonia. *Journal of Arid Environments* 73, 745-753.
- GAMON, J. A.; FIELD, C. B.; GOULDEN, M.; GRIFFIN, K.; HARTLEY, A.; JOEL, G.; PEÑUELAS, J.; VALENTINI, R. 1995. Relationships between NDVI, Canopy structure, and photosynthetic activity in three Californian vegetation types. *Ecological Applications* 5, 28-41.
- GRIGERA, G.; OESTERHELD M.; PACÍN, F. 2007. Monitoring forage production for farmers' decision making. *Agricultural Systems* 94, 637-648.
- HALL, S.A.; PARUELO, J.M. 2006. Environmental controls on lambing rate in Patagonia (Argentina): A regional approach. *Journal of Arid Environments* 64, 713-735.
- HOLBEN, B. 1986. Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing* 7, 1417-1434.
- ILLIUS, A.W.; O'CONNOR, T.G. 1999. On the relevance of non-equilibrium concepts to arid and semiarid grazing systems. *Ecological Applications* 9, 798-813.
- JOBBÁGY, E.G.; SALA, O.E.; PARUELO, J.M. 2002. Patterns and controls of primary production in the Patagonian steppe: A remote sensing approach. *Ecology* 82, 307-319.
- LABRAGA, J.C.; VILLALBA, R. 2009. Climate in the Monte desert: Past trends, present conditions, and future projections. *Journal of Arid Environments* 73, 154-163.
- LE HOURÉROU, H.N. 1984. Rain use efficiency: a unifying concept in arid-land ecology. *Journal of Arid Environments* 7, 213-247.
- LE HOURÉROU, H.N. 1996. Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments* 34, 133-185.
- LEÓN, R.; BRAN, D.; COLLANTES, M.; PARUELO, J.M.; SORIANO, A. 1998. Grandes Unidades de Vegetación de la Patagonia. *Ecología Austral* 8, 125-144.
- LINDENMAYER, D.B.; LIKENS, G.E. 2009. Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in Ecology and Evolution* 24, 482-486.
- MONTEITH, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 281, 277-294.
- NOY-MEIR, I. 1973. Desert ecosystems: environments and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4, 25-51.
- OBA, G. 2001. The effect of multiple droughts on cattle in Obbu, Northern Kenya. *Journal of Arid Environments* 49, 375-386.
- PARUELO, J.M.; EPSTEIN, H.E.; LAUENROTH, W.K.; BURKE, I.C. 1997. ANPP estimates from NDVI for the Central Grassland region of the United States. *Ecology* 78, 953-958.
- PARUELO, J. M.; OESTERHELD, M.; DI BELLA, C.M.; ARZADUM, M.; LAFONTAINE, J.; CAHUEPÉ, M.; REBELLA, C. 2000. Estimation of primary production of subhumid rangelands from remote sensing data. *Applied Vegetation Science* 3, 189-195.
- PETERS, A.J.; WALTER-SHEA, E.A.; JI, L.; VIÑA, A.; HAYES, M.; SVOBODA, M.D. 2002. Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 68, 71-75.
- PROHASKA, F.J. 1952. Regímenes estacionales de precipitaciones de Sudamérica y mares vecinos. *Meteoros*, Buenos Aires II, pp. 66-100.
- RUIMY, A.; SAUGIER, B.; DEDIEU, G. 1994. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data. *Journal of Geophysical Research* 99, 5263-5283.
- SCHWINNING S.; SALA, O.E. 2004. Hierarchy of responses to resource pulses in arid and semi-arid ecosystems. *Oecologia* 141, 211-220.
- TEXEIRA, M.; PARUELO, J.M. 2005. Demography, population dynamics and sustainability of the Patagonian sheep flocks. *Agricultural Systems* 87, 123-146.
- TURNER II, B.L.; KASPERSON, R.E.; MATSON, P.A.; MCCARTHY, J.J.; CORELL, R.W.; CHRISTENSEN, L.; ECKLEY, N.; KASPERSON, J.X.; LUERS, A.; MARTELLO, M.L.; POLSKY, C.; PULSIPHER, A.; SCHILLER, A. 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 100, 8074-8079.
- VERÓN, S.R.; PARUELO, J.M., OESTERHELD M. 2006. Assessing desertification. *Journal of Arid Environments* 66, 751-763.
- VERÓN, S.R.; PARUELO, J.M. 2010. Desertification alters the response of vegetation to changes in precipitation. *Journal of Applied Ecology* 47, 1233-1241.
- VILLAGRA, S.E.; GIRAUDO, C. 2010. Aspectos sistémicos de la producción ovina en la provincia de Río Negro. *Revista Argentina de Producción Animal* 30, 211-224.
- WHITE, D.H.; HOWDEN, S.M.; WALCOTT, J.J.; CANNON, R.M. 1998. A framework for estimating the extent and severity of drought, based on a grazing system in South-eastern Australia. *Agricultural Systems* 57, 259-270.