

Monitoreo forrajero satelital en la ganadería pastoril de Argentina: avances y perspectivas

Lisandro Blanco¹, Mariano Oyarzabal²

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) La Rioja, Ruta Nacional N° 38 km 267, Chamental, La Rioja, Argentina. ²Universidad de Buenos Aires (UBA), Facultad de Agronomía de la UBA (FAUBA), Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección, Av. San Martín 4453, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

blanco.lisandro@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

La ganadería pastoril obtiene el forraje de campos naturales y pasturas como el principal insumo de alimento. Estimar la productividad forrajera es difícil y se trata de un proceso muy variable en el espacio y el tiempo. Por lo tanto, las escasas estimaciones disponibles de productividad forrajera no se pueden extrapolar sin perder precisión. Sobre la base de investigación en las últimas dos décadas, instituciones y organizaciones nacionales de ciencia y tecnología desarrollaron un sistema que calcula mensualmente la productividad forrajera con una precisión de 6 hectáreas a partir de modelos que utilizan datos satelitales. Esta iniciativa interinstitucional brinda información actualizada para las diferentes regiones ganaderas de Argentina y puede consultarse de forma libre y gratuita en una plataforma web. En este breve artículo mostramos la variabilidad espacial y temporal de la productividad forrajera, revisamos la literatura de los últimos años sobre el método satelital de estimación de productividad forrajera y presentamos el Observatorio Forrajero Nacional.

EL APORTE FORRAJERO DE PASTIZALES Y PASTURAS EN ARGENTINA, DIFICULTADES PARA SU MONITOREO

La actividad ganadera en Argentina se desarrolla en toda su extensión, desde las estepas áridas patagónicas hasta los fértiles campos de la pampa húmeda; desde las islas en los ríos mesopotámicos hasta las alturas de la puna. Gran parte de esta ganadería es pastoril, incluyendo más de 50 millones de cabezas bovinas, casi 15 millones de ovinos y 5 millones de caprinos (tabla 1), basando su alimentación en los recursos forrajeros provistos por sus

campos naturales (pastizales, bosques, estepas arbustivas, sabanas y parques), pasturas y verdeos. Teniendo en cuenta la dimensión territorial de la actividad y su importancia social, económica y ambiental dentro del país es necesario contar con herramientas que permitan monitorear periódicamente la cantidad de forraje de los diferentes recursos disponibles en cada región ganadera.

En la actualidad la productividad de los recursos forrajeros se encuentra por debajo de su potencial debido a procesos de degradación, desencadenados principalmente por sobrepastoreo (Casas y Albarracín, 2015). Por un lado,

estos procesos son más evidentes en las regiones ganaderas extrapampeanas (Blanco *et al.*, 2019). Por otro lado, en la región Pampeana, la agricultura restringió a la ganadería pastoril a los ambientes con menor potencial productivo (Paruelo *et al.*, 2005). Como resultado de estos procesos, la relación entre oferta y demanda forrajera en cada región ganadera indicaría niveles de utilización (figura 1, panel superior) que frente a escenarios climáticos adversos (por ejemplo: sequía 2008) afectaría la actividad ganadera a nivel regional.

La "problemática forrajera" vinculada con la necesidad de conocer su oferta

Tabla 1. Estratos de sistemas ganaderos según cantidad de establecimientos y total de bovinos.

Región	Superficie (millones ha)	Superficie Ganadera (millones ha)	Bovinos (millones cabezas)	Ovinos (millones cabezas)	Caprinos (millones cabezas)
Cuyo	31,3	12,7	2,13	0,24	0,91
NEA	22,0	11,8	9,15	1,47	0,89
NOA	56,2	14,2	3,72	0,96	1,32
Pampeana	90,5	51,3	37,37	3,50	0,51
Patagonia	78,7	55,5	1,24	8,38	1,03
Total	278,7	145,5	53,61	14,55	4,66

en tiempo y espacio no solo está relacionada con el balance oferta-demanda a escala regional, sino también con su alta variabilidad espacial y temporal. En cada región ganadera existen diferentes ambientes, con diversos tipos de vegetación (Oyarzabal *et al.*, 2018), cuyos recursos forrajeros varían en productividad, calidad y accesibilidad. A esto se suma un damero de pasturas implantadas (perennes y anuales) y verdes con localización variable. Todo este mosaico de situaciones genera una gran variabilidad espacial de producción forrajera, aun bajo un “grano grueso” de detalle. Esta variabilidad espacial es más marcada entre los departamentos/partidos ubicados en las regiones ganaderas con menor productividad forrajera (NOA, Cuyo y Patagonia; figura 1, panel inferior izquierdo). Así, mientras la variabilidad entre departamentos/partidos de estas regiones se encuentra entre el 55 y 85% del promedio (CV entre 0,55 y 0,85), la variabilidad espacial en las regiones NEA y Pampeana no supera el 30% del promedio (CV < 0,3; figura 1, panel inferior izquierdo).

Sin embargo, la heterogeneidad espacial de la productividad forrajera no es el único condicionante para obtener estimaciones robustas de productividad forrajera extrapolables regionalmente. Como consecuencia de las variaciones climáticas, principalmente precipitaciones, la oferta forrajera es muy variable temporalmente en las diferentes regiones ganaderas. A modo de ejemplo, evaluamos un estudio por región ganadera de algún recurso forrajero típico, para analizar su variabilidad temporal, la cual es resumida en la figura 1 (panel inferior, derecho). Por ejemplo, 24 tipos de pastizales del Chaco Árido en el NOA tuvieron variaciones anuales de 85% respecto al promedio (CV = 0,85; Blanco *et al.*, 2022). Pasturas de *Eragrostis curvula*, *Panicum coloratum* y *Tetrachne*

dregei en el centro de San Luis (Cuyo) tuvieron variaciones anuales cercanas al 60% del promedio (CV = 0,6; Ruiz *et al.*, 2008). En caso de pastizales de las estepas Rio Negro (Patagonia; Easdale y Aguiar, 2015), pastizales del este de Corrientes (NEA; Bendersky *et al.*, 2017) y pasturas ubicadas en Buenos Aires y Santa Fe (Pampeana; Ojeda *et al.*, 2018) la variabilidad temporal fue menor al 40% del promedio (CV = 0,4).

Teniendo en cuenta esta heterogeneidad espacial de recursos forrajeros y la variabilidad temporal de su productividad, monitorear la oferta forrajera y extrapolarla regionalmente con cierta precisión mediante tradicionales cortes de biomasa sería impracticable desde la mano de obra necesaria y el elevado costo económico. Así, el uso de modelos basados en sensores remotos se transforma en una alternativa de bajo costo, aplicable a grandes superficies y con una frecuencia (por ejemplo, mensual) acorde a las necesidades regionales de toma de decisiones (Paruelo *et al.*, 2010).

1. EVOLUCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL DEL MONITOREO FORRAJERO SATELITAL EN ARGENTINA

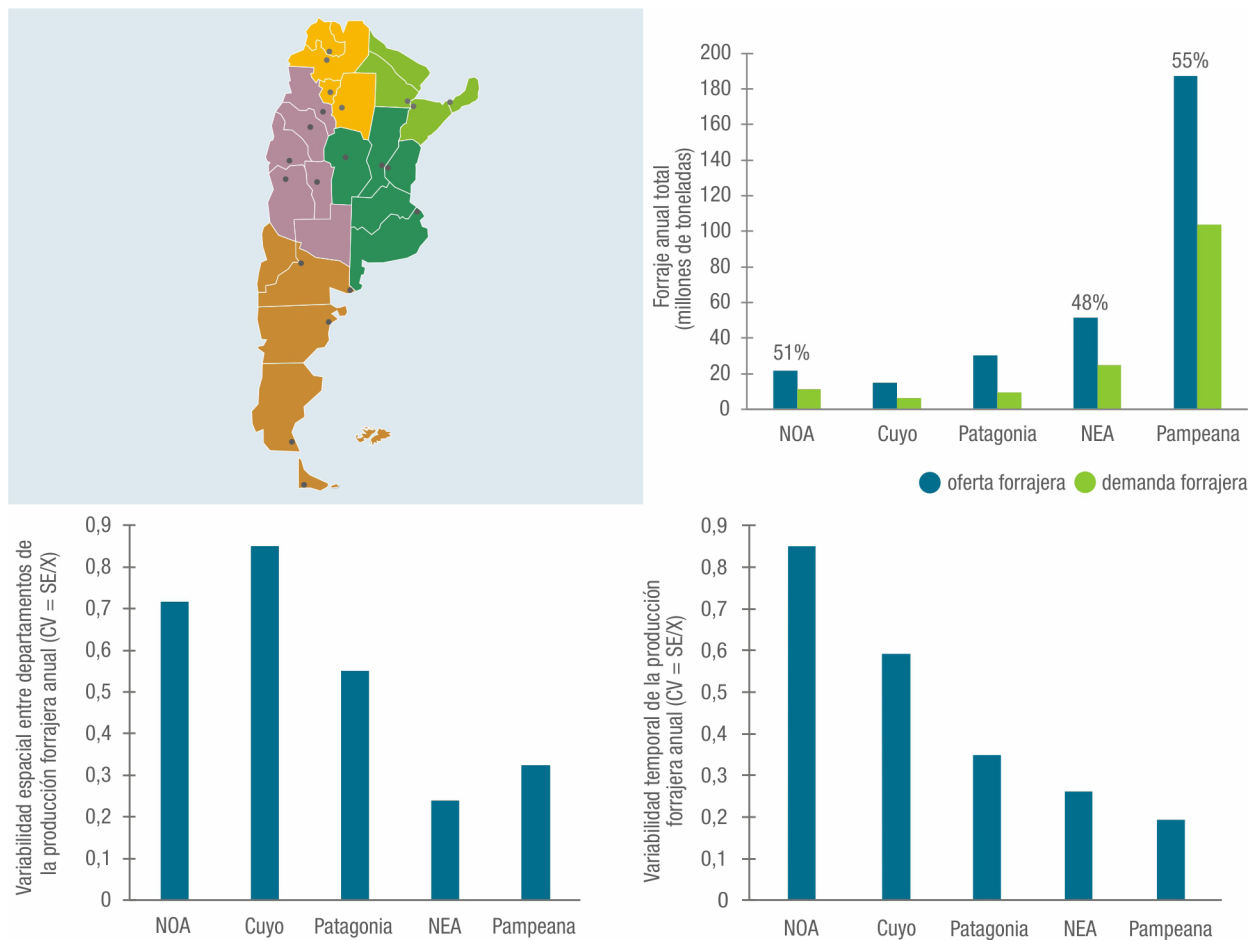
Desde finales de la década de 1990, instituciones de ciencia y técnica asociadas con el agro realizan investigaciones vinculando datos espectrales provenientes de imágenes satelitales con la estructura y funcionamiento de la vegetación en general, y la productividad forrajera en particular. La mayoría de estos estudios se basa en los llamados índices de vegetación, principalmente el índice de vegetación normalizado (IVN) que, a partir del comportamiento de la vegetación en crecimiento frente a la radiación solar (alta absorción en el visible y elevada reflexión en el infrarrojo cercano), permite estimar la productividad

de esta. Aproximadamente 40 artículos de investigación fueron publicados en revistas científicas indexadas desde el 2000 hasta la actualidad vinculados al uso del IVN para estimar la productividad forrajera en Argentina (figura 2). Esta producción científica fue creciendo a lo largo de los años, llegando a más de 15 artículos en los últimos 7 años. A lo largo de todo el período analizado fue cambiando la preferencia del sensor/satélite utilizado, especialmente desde la aparición del sensor MODIS. De acuerdo a los estudios científicos evaluados, pudo observarse una priorización de la resolución temporal (MODIS y AVHRR) versus la espacial de LANDSAT o SPOT en la información satelital utilizada.

Inicialmente, se analizaron patrones estacionales del IVN de diferentes tipos de vegetación (Paruelo *et al.*, 2004) como así también su relación con la carga animal (Oesterheld *et al.*, 1998) a escala regional. También, durante esos años se realizaron estudios manipulativos en parcelas experimentales (Dibella *et al.*, 2004) donde se estimaron parámetros fundamentales, como la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) y radiación absorbida (RFAA), que permiten conocer la productividad de la vegetación a través de modelos ecofisiológicos (Monteith, 1972), como se muestra en la figura 2 (panel izquierdo). Luego, desde el 2005 hasta el 2010, se calibraron modelos de estimación de productividad forrajera a escala regional (Piñeiro *et al.*, 2006) y predial (Grigera *et al.*, 2007; Grigera y Oesterheld, 2020) para diferentes recursos forrajeros de la región Pampeana. Finalmente, luego del 2010, se extendieron las calibraciones de estos modelos a las otras regiones ganaderas (NOA, NEA, Patagonia y Cuyo).

Sin embargo, existe una asimetría en la producción científica entre regiones; es muy superior el número de artículos

Figura 1. Panel superior: oferta forrajera (<http://produccionforrajes.org.ar/tasas-de-crecimiento-a-partir-de-cortes-de-biomasa/>) y demanda forrajera estimadas a partir de convertir las existencias de las diferentes categorías bovinas, ovinas y caprinas (promedio 2018-2020, <https://www.argentina.gob.ar/senasa/mercados-y-estadisticas/estadisticas/animal-estadisticas>) a equivalente vaca en cada región ganadera (<https://www.valorcarne.com.ar/censo-agropecuario-el-nuevo-mapa-ganadero-nacional/>) de Argentina. Sobre las barras se muestra una estimación de la proporción utilizada por el ganado desde la oferta forrajera total (demanda/oferta x 100). Panel inferior: variabilidad de la oferta forrajera en cada región ganadera, espacial (coeficiente de variación [CV] de la oferta forrajera departamental dentro de cada región ganadera) y temporal (coeficiente de variación [CV] entre años, obtenidos a partir de un estudio de largo por región ganadera).



publicados en las regiones Pampeana y Patagónica (figura 2, panel derecho). Esta asimetría regional se encuentra probablemente asociada a que la investigación en esta temática fue liderada desde sus inicios por el Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección (LART), que funciona en la FAUBA, y su asociación con AACREA. Luego, el LART se vinculó primariamente con las unidades de INTA de la región patagónica y en una etapa posterior con las estaciones experimentales de INTA de las otras regiones ganaderas. Actualmente, la cantidad de recursos forrajeros monitoreados satelitalmente sigue siendo mayor en las regiones Pampeana y Patagonia.

2. DISPONIBILIDAD ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA INFORMACIÓN FORRAJERA DE ORIGEN SATELITAL EN ARGENTINA

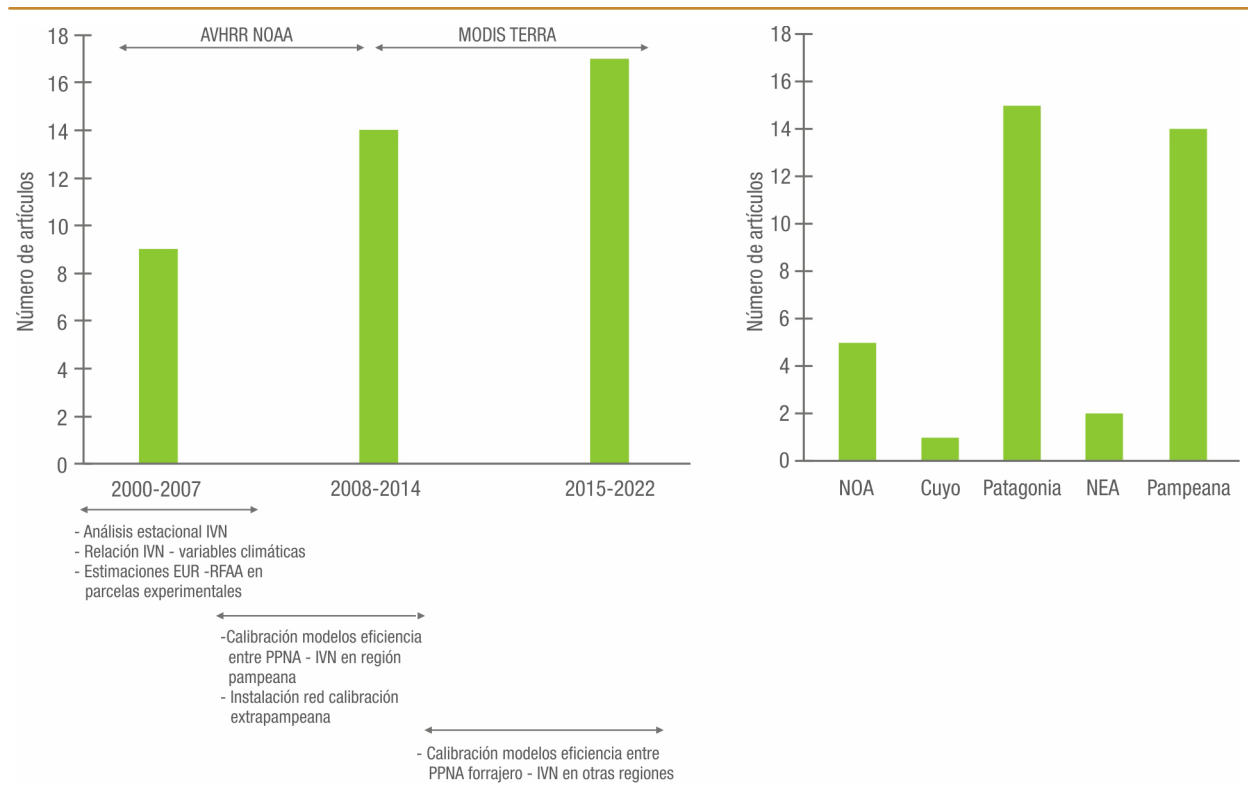
La importante actividad científica sobre el monitoreo forrajero satelital en Argentina se traduce en una plataforma web de datos actualizados de producción forrajera disponible para diferentes usuarios. Se trata del Observatorio Forrajero Nacional (<http://produccionforrajes.org.ar/>), un esfuerzo interinstitucional (FAUBA, INTA, AACREA), apoyado además por el IPCVA, que incluye una serie de herramientas que brindan datos de diferentes recursos forrajeros en

todas las regiones ganaderas del país (tabla 2).

Como puede observarse, la cantidad de recursos forrajeros evaluados son mayores en Patagonia y la región Pampeana. Aun así, en los últimos años se han incluido varios recursos forrajeros de NOA, NEA y Cuyo. A futuro, sería importante continuar sumando otros recursos forrajeros para estas regiones, lo que implica la necesidad de incrementar mediciones de campo para la calibración de los modelos.

Aunque en este artículo focalizamos la atención sobre esta plataforma, y el uso de modelos basados en datos satelitales, existen en Argentina otras fuentes

Figura 2. Panel izquierdo: evolución de la investigación científica sobre el monitoreo forrajero satelital en Argentina desde el 2000 hasta la actualidad destacando el principal sensor/satélite utilizado en cada período y el objetivo predominante en cada período de investigación. EUR: eficiencia en el uso de la radiación, RFAA: radiación fotosintéticamente activa absorbida, IVN: índice de vegetación normalizado. Panel derecho: distribución de los resultados de la investigación científica sobre el monitoreo forrajero satelital en las diferentes regiones ganaderas de Argentina. La búsqueda de trabajos de investigación sobre la temática se realizó en Scopus (<https://www.scopus.com/search/form.uri#basic>) utilizando la siguiente fórmula ((ALL ("forage production" OR "ANPP" AND "remote sensing" AND NOT "marine" AND NOT (chinese)) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2023) AND (argentina) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))) , refinada luego manualmente.



de datos actualizados de producción forrajera disponibles en la web. Así, el INTA Balcarce mediante modelos fisiológicos de pasturas monitorea semanalmente lotes de alfalfa, festuca alta y raigrás anual en varios partidos de la pampa deprimida (región Pampeana), y esta información forrajera actualizada puede consultarse en la web (<https://inta.gob.ar/documentos/manejo-de-pasturas-por-stock-y-tasa-de-crecimiento>).

No solo las instituciones de ciencia y tecnología vinculadas con el agro han generado herramientas para el monitoreo forrajero satelital. Empresas tecnológicas de servicios agropecuarios como Auravant hacen seguimiento satelital a escala de lote en campos agrícolas, ganaderos y mixtos (<https://www.auravant.com/>). La interacción pública-privada sería una estrategia para incrementar la visibilidad y uso de la información forrajera generada a partir de datos satelitales. Esta sinergia acercaría aún más la información para la toma de

Tabla 2. Recursos forrajeros con datos de producción obtenidos desde satélite, disponibles en el "Observatorio Forrajero Nacional" (<http://produccionforrajes.org.ar/>). El tipo de ambiente se obtuvo del mapa de unidades de vegetación de Oyarzabal *et al.* (2018).

Región ganadera	Tipo de ambiente	Provincia	Recurso forrajero
NOA	Chaco semiárido	Salta, Santiago del Estero	Pastura Gatton
			Pastura Brachiaria
			Campo natural
	Chaco árido	La Rioja	Campo natural
			Pastura Buffel
			Campo natural
CUYO	Chaco serrano	La Rioja	Campo natural
	Caldenal	San Luis	Campo natural
	Pampa occidental	San Luis	Campo natural
			Pastura Llorón
	Monte austral	Mendoza	Campo natural
NEA	Chaco húmedo	Chaco, Formosa, Corrientes	Campo natural
			Pastura Setaria
	Malezales	Corrientes	Pastura Brachiaria
			Campo natural
	Campos y urundayzales	Corrientes, Misiones	Campo natural

Región ganadera	Tipo de ambiente	Provincia	Recurso forrajero
PATAGONIA	Monte austral	Neuquén, Río Negro, Chubut	Campo natural
	Dist. Occidental	Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz	Campo natural
	Dist. Central	Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz	Campo natural
	Dist. Subandino	Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz	Campo natural
	Dist. Golfo S. Jorge	Chubut, Santa Cruz	Campo natural
	Ecotono Río Negro	Río Negro, Neuquén	Campo natural
PAMPEANA	Pampa mesopotámica	Entre Ríos	Campo natural
			Raigrás
			Maíz
	Pampa ondulada	Buenos Aires, Santa Fe	Sorgo
			Campo natural
			Agropiro
			Raigrás
			Alfalfa
			Avena
			Centeno
			Maíz
			Sorgo
Pampa deprimida	Buenos Aires	Campo natural	
		Agropiro	
		Festuca	
Pampa austral	Buenos Aires	Raigrás	
		Alfalfa	
		Maíz	
Pampa occidental	Buenos Aires, Córdoba, La Pampa	Avena	
		Campo natural	
		Agropiro	

and semi-arid rangelands. A step towards socialecological analysis. *Journal of Arid Environments* 83: 35-44.

GRIGERA, G.; OESTERHELD, M.; PACÍN, F. (2007). Monitoring forage production for farmers' decision making. *Agricultural Systems* 94, 637-648.

GRIGERA, G.; OESTERHELD, M. (2001). Variability of radiation use efficiency in mixed pastures under varying resource availability, defoliation and time scale *Grassland Science* 67(2), 156-166 pp.

MONTEITH, J.L. (1972). Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 9, 747-766.

OESTERHELD, M.; DIBELLA, C.M.; KERDILES, H. (1998). Relation between NOAA AVHRR satellite data and stocking rate of rangelands. *Ecological applications* 8: 207-212.

OJEDA, J.J.; CAVIGLIA, O.P.; IRISARRI, G.N.; AGNUSDEI, M.G. (2018). Modelling inter-annual variation in dry matter yield and precipitation use efficiency of perennial pastures and annual forage crops sequences. *Agricultural and Forest Meteorology* 259: 1-10.

OYARZABAL, M.; CLAVIJO, J.; OAKLEY, L.; BIGANZOLI, F.; TOGNETTI, P.; BARBERIS, I.; MATURO, H.M.; ARAGÓN, R.; CAMPANELLO, P.I.; PRADO, D.; OESTERHELD, M.; LEÓN, R.J.C. (2018). Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral*. 028(01):040-063.

PARUELO, J.M.; GOLLUSCIO, R.A.; GUERSCHMAN, J.P.; CESA, A.; JOUVE, V.V.; GARBULSKY, M.F. (2004). Regional scale relationships between ecosystem structure and functioning: the case of the Patagonian steppes. *Global Ecology and Biogeography* 13: 385-395.

PARUELO, J.M.; GUERSCHMAN, J.P.; VERÓN, S. (2005). Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia hoy* 15 (87): 14-23.

PARUELO, J.M.; OYARZABAL, M.; OESTERHELD, M. (2010). El seguimiento de los recursos forrajeros mediante sensores remotos: bases y aplicaciones. En: ALTESOR, A.; AYALA, W.; PARUELO, J.M. (ed.). Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales. Montevideo (Uruguay), 133-143 pp.

PIÑEIRO, G.; OESTERHELD, M.; PARUELO, J.M. (2006). Seasonal variation in aboveground production and radiation use efficiency of temperate rangelands estimated through remote sensing. *Ecosystems* 9, 357-373.

RUIZ, M.A.; GOLBERG, A.D.; MARTÍNEZ, O. (2008). Water stress and forage production in *Tetrachne dregei* Nees, *Panicum coloratum* L. and *Eragrostis curvula* (Schrad) Nees. *Revista Internacional de Botánica Experimental* 77: 7-20.

decisiones más refinada a diferentes escalas, desde los tomadores de decisión a escala regional (departamento, provincia, nación) hasta el nivel predial (productores, asesores y extensionistas).

BIBLIOGRAFÍA

BENDERSKY, D.; PIZZIO, R.; MAIDANA, C.; ZAPATA, P.; DURANTE, M. (2017). Producción y curva de crecimiento de pastizales del Este de Corrientes. *Noticias y Comentarios*, Ediciones INTA 542: 1-5.

BLANCO, L.; DURANTE, M.; FERRANTE, D.; QUIROGA, R.E.; DEMARÍA, M.; DI BELLA, C.M. (2019). Red nacional de monitoreo de pastizales naturales de Argentina: productividad forrajera de la vegetación extra-pampeana. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias* 45: 89-108.

BLANCO, L.J.; PARUELO, J.M.; OESTERHELD, M.; AGÜERO, W.D. (2022). Radiation use

efficiency of the herbaceous layer of dry Chaco shrublands and woodlands: Spatial and temporal patterns. *Applied Vegetation Science*, 25(1), e12653.

CASAS, R.R.; ALBARRACÍN, G.F. (EDS). (2015). El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Primera edición. CABA, Fundación Ciencia, Educación y Cultura, FECIC. 1608 p.

DI BELLA, C.; PARUELO, J.; BECERRA, J.; BACOUR, C.; BARET, F. (2004). Effect of senescent leaves on NDVI-based estimates of fPAR: experimental and modelling evidences. *Int. J. Remote Sens.* 25: 5415-27.

DURANTE, (M.); OESTERHELD, M.; PIÑEIRO, G.; VASSALLO, M.M. (2014). Estimating forage quantity and quality under different stress and senescent biomass conditions via spectral reflectance. *International Journal of Remote Sensing* 35: 2963-2981.

EASDALE, M.H.; AGUIAR, M.R. (2015). Regional forage production assessment in arid