

Productividad primaria neta aérea de sistemas pastoriles de *Panicum maximum* derivada de NDVI MODIS y su respuesta ante sequías

Tiedemann, J. L.¹

Introducción

Los recursos forrajeros de Argentina, renovables y multifuncionales, como los pastizales naturales y las pasturas implantadas anuales y perennes, son el componente principal de la alimentación en los sistemas ganaderos predominantes en el país (INTA, 2011). El forraje es la integración temporal del incremento positivo de biomasa de la vegetación terrestre por unidad de superficie y tiempo o productividad primaria neta (PPN) (Field *et al.*, 1995; Fensholt *et al.*, 2006). La PPN terrestre es sensible a numerosos aspectos, como climáticos, topográficos, suelo, características microbiológicas de las plantas, y perturbaciones e impacto antropogénico (Field *et al.*, 1995). La PPN terrestre está directamente relacionada con la precipitación media anual (Lauenroth, 1979) en especial en ecosistemas áridos y semiáridos (Nicholson *et al.*, 1990; Karnieli *et al.*, 2002), por cuanto la valoración de la PPNA a diversas escalas posibilita detectar eventos climáticos que producen efectos adversos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas como la *sequía* (Tucker *et al.*, 1981).

Las sequías constituyen, por su recurrencia y severidad, una de las principales adversidades climáticas en las regiones agrícolas de mayor importancia económica de Argentina (Ravelo & Pascale, 1997). Tucker & Choudhury (1987) la definen como un período en que se reduce el crecimiento de la vegetación por déficit de

¹ Dr. Ing. Zoot. Prof. Adj. Forrajes. Facultad de Ciencias Naturales (Sede Sur), Universidad Nacional de Salta (UNSa). Becario Post Doctoral. MINCYT. (Proyecto CICyT UNSE 23B151). Instituto de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero. Argentina. E-mail: mann@unse.edu.ar

precipitaciones e induce a un decrecimiento en la capacidad fotosintética que puede ser detectada y cuantificada con datos derivados de satélites.

La variación en los patrones de precipitaciones regional está fuertemente asociada a la influencia del ENSO, o su fase inversa La Niña. Estos fenómenos están asociados a dramáticos cambios en los patrones de precipitaciones a diversas escalas, resultando en precipitaciones por encima de lo normal en algunas regiones y por debajo de lo normal en otras (Anyamba *et al.*, 2002; Barbosa *et al.*, 2006).

A escala continental el sur de Sudamérica, presentó la peor sequía de los últimos setenta años, afectando los cultivos agrícolas y el forraje para ganadería en el norte de Argentina, Uruguay y sur de Brasil (FAS, 2010). La Argentina sufre en general un periodo con anomalías negativas en la precipitación media mensual desde 2006 hasta 2015 (SMN, 2016). A nivel regional Minetti (2016) mediante índices de sequía regional determino que el noroeste Argentino, región donde se encuentra la Provincia de Santiago del Estero, sufrió sequías severas entre los años 2003 y 2013, y sequia menos severas en los años 2014 y 2015.

En el área de estudio o Dpto. Moreno, la sequía fue evidenciada por Tiedemann (2015a; 2015b) mediante series temporales de Índices de Vegetación. El autor determinó que la PPNA o biomasa forrajera de los sistemas pastoriles de *Panicum maximum* (SP) fueron severamente afectados por anomalías negativas extremas de la precipitación media en las estaciones de crecimiento correspondientes al período 2008-2015. La sequía afecta severamente la productividad estacional de biomasa forrajera y por ende el balance forrajero a nivel predial.

Los SP de *Panicum maximum* predominantes en el Dpto. Moreno, Santiago del Estero, cumplen funciones como secuestro de carbono atmosférico, retención de agua de los suelos, control de la erosión y fuga de minerales, protector de cuencas hídricas, hábitat para fauna silvestre, conservación del suelo y fauna, banco de germoplasma in situ, fuente de combustible y madera, recurso recreativo del ser humano, entre otras (INTA, 2011) y como sumidero de carbono con manejo adecuado y fundamentalmente con disponibilidad de precipitaciones (Rigge *et al.*, 2013).

La disponibilidad de series temporales de NDVI derivadas del sensor MODIS, espacial y temporalmente adecuadas, obtenidas, procesadas e integradas mediante sistemas de información geográfica, posibilitan el monitoreo de los SP de *Panicum maximum*. La importancia de conocer y entender la respuesta de la productividad de forraje de los SP ante sequías, de manera simultánea para el Dpto. Moreno, se basa en que los resultados obtenidos pueden ser extrapolados hacia toda la región Chaqueña semiárida. Desde el punto de vista ganadero, la información facilita la toma de decisión sobre pautas de manejo ante adversidades como la confección de reservas forrajeras estratégicas o realizar los ajustes de la carga necesarios para evitar el sobre pastoreo. Los SP de *Panicum maximum* son importantes porque predominan en la gran mayoría de los sistemas ganaderos extensivos del Dpto. Moreno y sustentan una carga de ~268.000 cabezas de bovinos.

El Dpto. Moreno, Santiago del Estero

Ganadería

La provincia de Santiago del Estero (Figura 1) es líder regional en cuanto a número de animales, esta cuenta con el 47% de las 3.37 millones de cabezas de existencia en el Noroeste Argentino, siendo su stock de hacienda de 1,3 millones de bovinos (PCBSE, 2013). El Noreste y Este de Santiago del Estero son las principales zonas ganaderas, contando con el 37,87% del stock provincial equivalente a 550.000 bovinos. El Dpto. Moreno (Figura 1, Der), es el que sustenta la mayor carga animal con ~268.000 cabezas de bovinos (SENASA, 2015). La actividad ganadera principal es la cría extensiva y el bosque Chaqueño y sabanas edáficas o inducidas por incendios y deforestación la base forrajera de su alimentación (Pérez, 1992). Es importante destacar que la región Sudeste de la Provincia le siguen en importancia con el 28.5% del stock o 416.500 bovinos (PCBSE, 2013).

Clima

El clima en el Dpto. Moreno se caracteriza por ser cálido, con registros de TMM del mes más caliente (enero) de 28°C y del mes más frío (julio) de 16.3°C. Las temperaturas extremas superior supera los 47°C y la mínima absoluta -10°C (Boletta *et al.*, 2006). La estación lluviosa comienza en Diciembre y se extiende hasta Marzo la precipitación media anual oscila entre los 500 mm y 750 mm. La temperatura media mensual en Enero es 26.9°C (verano) y 12,4°C en Julio (invierno); el balance hídrico es deficitario en la mayoría de los meses del año (Boletta *et al.*, 2006).

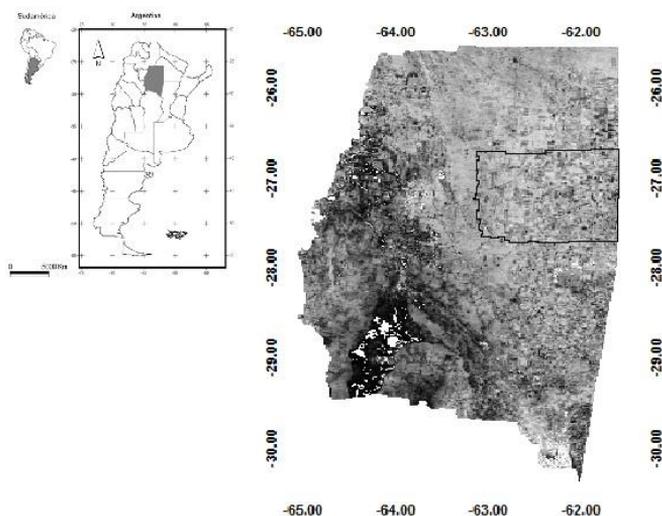


Figura 1. (Izq.) Argentina en Sudamérica y Santiago del Estero en Argentina; (Der.) Santiago del Estero y el Dpto. Moreno (polígono negro)

Vegetación

La vegetación en el Dpto. Moreno es el bosque Chaqueño semiárido, xerófito y abierto (Figura 2, arriba), el estrato superior es el bosque de *Schinopsis quebracho colorado* y *Aspidosperma quebracho blanco* (SAyDS, 2004). Presenta un estrato medio, conformado por especies de los géneros *Zizyphus*, *Cercidium*, *Celtis* y *Prosopis*, entre otras (SAyDS, 2004). El estrato arbustivo está conformado por especies pertenecientes a los géneros *Acacia*, *Mimosa*, *Geoffroea*, *Prosopis*, *Atamisquea*, entre otras (SAyDS, 2004). Finalmente el estrato herbáceo está formado por gramíneas de los géneros *Setaria*, *Gouinia*, *Digitaria*, *Trichloris*, *Chloris*, y dicotiledóneas como *Ruellia*, *Justicia*, *Holocheilus*, *Trixis*, *Hyptis*, entre otras (SAyDS, 2007).

Las sabanas (Figura 2, Abajo) poseen un estrato herbáceo dominante, con predominio de gramíneas que son las que le dan el nombre de pastizal (Renolfi, 1992). En pastizales natural es de origen edáfico, la gramínea típica dominante es el Aibe (*Elionorus muticus*) y géneros asociados como *Bothriochloa*, *Aristidas*, *Pappophorum*, *Eragrostis*, *Chloris*, *Paspalum*. En los pastizales de origen pirógeno o de deforestación, los géneros dominantes son *Trichloris*, *Setaria*, *Digitaria*, *Pappophorum*, *Chloris*. Las leguminosas presentes en el pastizal natural corresponden a los géneros, *Calactia*, *Rhynchosia*, *Adesmia*, *Stylosanthes*, *Desmodium*, *Cassia*, *Desmanthus*, *Indigofera*, *Macroptilum*, entre otras, (Renolfi, 1988 y 1992).



Figura 2. (Arriba) Perfil típico del Bosque Chaqueño semiárido.
(Abajo) Perfil típico del pastizal natural con predominio de *Elionorus* sp. (Aibe).
Fuente: Zerda H. R. SIGL@b LECA, INPROVE, FCF, UNSE

Usos de la Tierra

La deforestación con fines agrícolas y ganaderos produjo severos cambios en las coberturas vegetales nativas, predominando en el este y oeste de la Provincia paisajes de fragmentos de bosque y pastizales con monocultivos agrícolas (Zerda & Moreira, 2006; Zak *et al.*, 2004). La tala excesiva del bosque, el sobrepastoreo y los cambios en el régimen de fuegos, degradaron al bosque y lo transformaron en superficies de arbustos densos y espinosos, o en bosque secundario con alta densidad de individuos (Zak *et al.*, 2004; Kunst *et al.*, 2012). Este tipo de cobertura y estructura redujo significativamente la oferta de forraje herbáceo limitando severamente la receptividad y por ende la actividad ganadera (Kunst *et al.*, 2006; Kunst *et al.*, 2012).

Con el fin de revertir la situación detallada anteriormente, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria promueve un proceso intensificación basado, en parte, en la aplicación de tecnologías de procesos como el incremento de la producción de forraje por unidad de superficie, mediante el uso de material genético de mayor rendimiento y con adaptación ambiental y en la confección de reservas forrajeras de calidad (INTA, 2011). Como consecuencia de estas actividades, en las últimas décadas la cría extensiva fue reconvirtiéndose a sistemas de cría y terminación en *feedlot* (PCBSE, 2013).

El incremento de la productividad forrajera del bosque Chaqueño degradado se realizó mediante la eliminación del estrato arbustivo y arbóreo menor a 3 m de altura mediante rolados (*roller chopping*) y la implantación de *Panicum maximum* (Anriquez *et al.*, 2005; Ledesma, 2006; Kunst *et al.*, 2012), dando como resultado un parque compuesto por leñosas y pasto (Kunst *et al.*, 2003) en donde la productividad de materia seca de las gramíneas es superior al 100% (Kunst *et al.*, 2003; Kunst *et al.*, 2012) (Figura 3).



Figura 3. Perfil típico de Sistema Pastoral de *Panicum maximum*

Fuente: Kunst *et al.*, 2008

PPNA derivada de NDVI_{MODIS} de los sistemas pastoriles y sequía

La sequía es un período en que se reduce el crecimiento de la vegetación por déficit de precipitaciones e induce a un decrecimiento en la capacidad fotosintética que puede ser detectado y cuantificado mediante NDVI (Tucker & Choudhury, 1987); a partir de este concepto el NDVI fue ampliamente utilizado para el monitoreo de sequías a diferentes escalas espaciales y temporales.

El NDVI, desarrollado por Rouse *et al.* (1973) fue ampliamente utilizado en la región para el monitoreo de la dinámica espacial y temporal de las coberturas vegetales y su relación con parámetros climáticos en la región. De acuerdo con Zerda & Tiedemann (2010) el modelo estacional de las precipitaciones incide en la dinámica de las coberturas bosque y pastizal de Santiago del Estero tomando valores elevados de NDVI, durante la estación húmeda estival (octubre-mayo) y valores bajos de NDVI durante la estación seca invernal (junio-septiembre). Tiedemann (2011) y Tiedemann *et al.* (2012) determinaron mediante la serie temporal NDVI VEGETATION que la productividad de la vegetación estacionalmente activa del bosque y del pastizal natural en el Noreste de Santiago del Estero no fue afectada por variaciones en la precipitación media de un período húmedo (1998-2003) y seco (2004-2009). Esta respuesta estaría fuertemente relacionada con la elevada biodiversidad, estratificación y a la presencia de especies leñosas de porte con raíces profundas que los conforman.

Los parámetros fenológicos y la productividad primaria neta aérea (PPNA) de cuatro sistemas pastoriles de *Panicum maximum* del Dpto. Moreno, fueron determinados por Tiedemann (2015a) mediante la serie temporal NDVI MODIS para el periodo 2008-2014. Con el fin de actualizar la información, el objetivo de este trabajo fue determinar la PPNA de los sistemas pastoriles de *Panicum maximum* del Dpto. Moreno en las estaciones de crecimientos comprendidas en el período 2008-2016. Las superficies, mapas y coordenadas centrales de los sistemas pastoriles analizados están disponibles en Tiedemann (2015a).

El NDVI fue confeccionado a partir de datos de reflectancia superficial MOD09GQ (TERRA AM) y MYD09GQ (AQUA PM) derivados del sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Todos los datos de reflectancia superficial utilizados en este trabajo pertenecen al proyecto *Earth Observing Systems* – NASA. La serie temporal NDVI para el periodo 2008-2016 fue suavizada mediante media móvil para reducir el ruido residual (Reed & Brown, 2005; Balzarini *et al.*, 2008).

La longitud de la estación de crecimiento (LE) se relaciona directamente con la productividad de la vegetación estacionalmente activa (Field *et al.*, 1995; White *et al.*, 1997; Reed & Brown, 2005; Chandola *et al.*, 2010), y contribuye a la correcta cuantificación de la PPN (Bradley *et al.*, 2007). La LE fue determinada mediante el modelo de regresión cuadrática (de Beurs & Henebry, 2010; Brown *et al.*, 2012), $LE = \alpha NDVI^2 + \beta NDVI + \gamma$ en donde la variable independiente es la serie temporal del NDVI (tiempo), α el parámetro cuadrático, β la pendiente de la curva y, γ la ordenada al origen que corresponde al NDVI en el inicio de la estación de

crecimiento. La LE se determinó mediante el mejor ajuste del modelo cuadrático con el coeficiente de determinación (R^2) (de Beurs & Henebry, 2010). A partir de la LE, se determinó la productividad de la vegetación estacionalmente activa de cada una de ellas (Field *et al.*, 1995) mediante la estacionalidad integrada del NDVI; la $SINDVI = \sum NDVI_{ij}$ en donde i es el NDVI diario de la estación de crecimiento j (Reed & Brown, 2005),

La PPNA de los cuatro sistemas pastoriles se determinó mediante el modelo de Monteith (1977). Siendo la $PPNA = \epsilon * \sum (\alpha * SINDVI + \beta) * RFA$ ($Mj/m^2 \cdot t$) donde ϵ corresponde a la eficiencia en el uso de la radiación solar (gMs/MJ) y RFA es la radiación fotosintéticamente activa. Los datos de ϵ en el área en estudio son escasos, sin embargo puede suponerse un ϵ constante en función de la escala del trabajo (Ruimy *et al.*, 1994). Por cuanto para los SP en este trabajo se tomó de bibliografía el valor de ϵ de Ruimy *et al.* (1994), siendo el promedio anual de pasturas perennes igual a $0.23 g Ms/MJ$ (Field *et al.*, 1995). Los valores considerados de $\alpha = 1.1$ y $\beta = 0.055$, fueron determinados por Paruelo *et al.* (2004) para Sudamérica en base a la metodología propuesta por Ruimy *et al.* (1994). $SINDVI$ es la estacionalidad integrada del NDVI (Reed & Brown, 2005). La PPNA de los SP se expresó en $Kg Ms^{-1} ha^{-1}$.

El efecto estacional sobre la PPNA de los SP fue determinado mediante un análisis de varianza en diseño completamente aleatorizado (Balzarini *et al.*, 2008). Las variables clasificatorias fueron las estaciones de crecimiento, los predios de los sistemas pastoriles las repeticiones y la variable dependiente la PPNA. Se verificó normalidad con Shapiro-Wilks modificado y homogeneidad de varianza con Levene (Balzarini *et al.*, 2008), no encontrándose evidencias para rechazar las hipótesis de normalidad y homogeneidad de varianzas. La comparación de medias se realizó mediante Tukey (Di Rienzo *et al.*, 2008).

Los datos de precipitación pertenecen a la estación meteorológica de la Sociedad Rural del Noreste Santiagueño. Siendo la Anomalías = $x_i - X_h$, donde x_i es la precipitación media de un mes y X_h la precipitación media histórica (1918-2016) de ese mes (SMN, 2016) (Figura 4).

En la Figura 4, se presenta las anomalías positivas y negativas de la precipitación media estacional ocurridas en el Dpto. Moreno en el periodo 2008-2016.



Figura 4. Anomalías estacionales acumuladas (Noviembre a Mayo) de la precipitación mensual correspondientes al período 2008-2016, en el Dpto. Moreno, Santiago del Estero, Argentina. Fuente: Sociedad Rural del Noreste Santiaguense

Fueron encontradas diferencias significativas ($p < 0.01$; R^2 0.68; R^2 Aj 0.60) en la PPNA de los sistemas pastoriles de *Panicum maximum* de las estaciones de crecimiento comprendidas en el período 2008-2016 (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de medias de la PPNA (Kg MS/ha) de los SP de *Panicum* por estaciones de crecimiento

EC	Medias	n	E.E.		
EC 08-09	1790.20	4	1310.06	A	
EC 12-13	3085.22	4	1310.06	A	
EC 15-16	5860.00	4	1310.06	A	B
EC 14-15	6440.25	4	1310.06	A	B
EC 09-10	9245.23	4	1310.06		B
EC 13-14	9528.51	4	1310.06		B
EC 11-12	10514.00	4	1310.06		B
EC 10-11	11562.31	4	1310.06		B

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6136.00951 Error: 6865058.6865 gl: 24

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

La productividad de biomasa forrajera de las estaciones 2008-2009 y 2012-2013 (Tabla 1) fue severamente afectada por las anomalías negativas extremas de la precipitación de media (Figura 4 y 5). Los SP produjeron en estas estaciones el 8.4% del total de forraje producido por hectárea en el periodo 2008-2016. La PPNA de los SP en las estaciones de crecimiento 2009-2010, 2013-2014, 2011-2012 y 2010-2011 todas con anomalías positivas de la precipitación media (Figura 4 y 5) no tuvieron diferencias significativas en productividad forrajera (Tabla 1). Los SP produjeron en estas estaciones el 70.4% del total de forraje por hectárea producido en el periodo 2008-2016. La productividad de forraje de las estaciones de crecimiento 2014-2015 (6440.25 Kg Ha) y 2015-2016 (5860.00 Kg Ha) tuvieron un comportamiento diferenciado (Figura 4 y 5). Los SP produjeron en estas estaciones el 21.2% de la producción total de forraje por hectárea en el periodo 2008-2016. Ambas estaciones tuvieron anomalías positivas de

precipitación media (Figura 4 y 5), sin embargo la PPNA toma valores intermedios con respecto al resto de las estaciones. Esta respuesta se relaciona con la menor precipitación estacional, la estación de crecimiento 2013-2014 tuvo 964 mm acumulados, mientras que las estaciones de crecimiento 2014-2015 y 2015-2016 tuvieron, respectivamente, 713 mm y 659 mm. Esta fase de transición o salida de un periodo de sequía fue detectada por Minetti (2016) para los años 2014 y 2015 y por Tiedemann (2015b) para la estación de crecimiento 2014-2015.

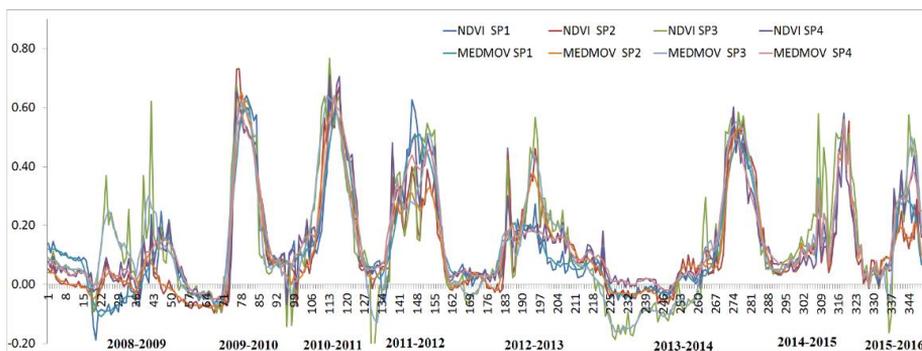


Figura 5. Serie temporal NDVI MODIS y Media móvil NDVI del periodo 2008-2016, de los cuatro SP de *Panicum maximum* del Dpto. Moreno (SP1, SP2, SP3 y SP4).

Conclusiones

La serie temporal NDVI MODIS, posibilitó determinar las estaciones de crecimiento y cuantificar la PPNA estacional de los cuatro sistemas pastoriles del Dpto. Moreno, en el período analizado. Esta oscila en el rango de valores determinados por las redes de ensayos locales a escala uno a uno en el Dpto. Moreno.

La serie temporal NDVI MODIS de los sistemas pastoriles de *Panicum maximum* evidencia una gran sensibilidad ante anomalías negativas extremas producidas en el Dpto. Moreno, durante en el período 2008-2016.

La PPNA estacional de estos sistemas pastoriles de *Panicum maximum*, responde ante anomalías positivas de la precipitación media y es severamente afectada por las anomalías negativas estacionales.

La determinación de la PPNA de los sistemas pastoriles mediante series temporales NDVI MODIS, se transforma en una invaluable herramienta que dispone la comunidad agropecuaria posibilitando, entre otras cosas: determinar a bajo costo, en espacio y tiempo, la receptividad de los potreros, evitando el sub o

sobre pastoreo y mitigar sequías mediante la confección de reservas estratégicas de forraje

La exponencial acumulación de forraje de los sistemas pastoriles *Panicum maximum* en un lapso muy corto de tiempo favorece el sub pastoreo. Por cuanto surge la importancia de diversificar potreros con diferentes especies megatérmicas tolerantes a sequía, con PPNA similar al *Panicum maximum*, pero distribuida de manera más homogénea a lo largo de la estación de crecimiento, posibilitaría un mejor ajuste en la presión de pastoreo.

La consistencia de estos resultados, dada fundamentalmente por la serie temporal NDVI MODIS, posibilita que los mismos puedan ser extrapolados hacia toda la región Chaqueña semiárida.

Agradecimientos

A la Sociedad Rural del Noreste Santiagueño y en especial al Sr. Carlos Valeira por su gran predisposición para el aporte de datos meteorológicos utilizados en este trabajo.

Al Dr. Ing. Ftal. Hugo R. Zerda, INPROVE - FCF - UNSE

Referencias Bibliográficas

- Anyamba A., Tucker J.C., & Mahoney R. 2002. From El Niño to La Niña: Vegetation Response Patterns over East and Southern Africa during the 1997-2000 Period. *Journal of climate* 15:3096-3103.
- Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. 2008. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Barbosa H.A; Huete A.R & Baethgen W.E. 2006. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. *Journal of Arid Environments* 67:288-307.
- Boletta P., Ravelo C.A., Planchuelo A.M. & Grilli M. 2006. Assessing deforestation in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management* 228:108-114.
- Bradley B.A., Jacob R.W., Hermance J.F. & Mustard J.F. 2007. A curve fitting procedure to derive inter-annual phenologies from time series of noisy satellite NDVI data. *Remote Sensing of Environment* 106:137-145.
- Brown M.E., de Beurs K.M. & Marshall M. 2012. Global phenological response to climate change in crop areas using satellite remote sensing of vegetation, humidity and temperature over 26 years. *Remote Sensing of Environment* 126:174-183.
- Chandola V., Dafeng Hui., Lianhong Gu., Bhaduri B. & Vatsavai R.R. 2010. Using Time Series Segmentation for Deriving Vegetation Phenology Indices from MODIS NDVI Data. *Data Mining Workshops (ICDMW), IEEE International Conference*. DOI 10.1109/ICDMW.2010.143
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M. & Robledo C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- de Beurs K. M & Henebry G. M. 2010. Spatio-Temporal Statistical Methods for Modelling Land Surface Phenology En: *Phenological Research*, I.L. Hudson, M.R. Keatley (eds.).

- Fensholt R., Sandholt I., Schultz Rasmussen M., Stisen S. & Diouf A. 2006. Evaluation of satellite based primary production modelling in the semi-arid Sahel. *Remote Sensing of Environment* 105:173-188.
- Field C.B., Randerson J.T. & Malmström C.M. 1995. Global Net Primary Production: Combining Ecology and Remote Sensing. *Remote Sensing Environment* 51: 74-88.
- FAS. 2010. Foreign Agricultural Service Disponible en: <http://earthobservatory.nasa.gov/> Drought in Southern South America_ARG - MODIS NDVI Anomaly.mht. Activo Marzo de 2010.
- INTA. 2011. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Documento Base de Área Estratégica: Forrajes y Pasturas. Disponible en: <http://inta.gov.ar/documentos/documento-base-del-area-estrategica-forrajes-y-pasturas>.
- Karnieli A., Gabai A., Ichoku C., Zaady E. & Shachak M. 2002. Temporal dynamics of soil and vegetation spectral responses in a semi-arid environment. *International J. of Remote Sensing*, 19:4073-4087.
- Kunst C., Monti E; Perez H. & Godoy J. 2006. Assessment of the rangelands of southwestern Santiago del Estero, Argentina, for grazing management and research. *Journal of Environmental Management* 80:248-265.
- Kunst C., Ledesma R; Bravo S; Albanesi A. & Godoy J. 2012. Disrupting woody states in the Chaco region (Argentina): responses to combined disturbance treatments. *Ecological Engineering* 42:42-53.
- Lauenroth W. 1979. "Grassland primary production: North American grasslands in perspective". In *Perspectives in grassland ecology*, Ed N French. pp 3-24. Springer-Verlag, New York.
- Minetti L. J. 2016. Tendencia regional de sequías del Noroeste Argentino, Disponible en: <http://www.labclisud.com.ar/servicios-laboratorio/indice-de-sequia/>. Activo Junio de 2016.
- 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.
- Nicholson S.E., Davenport L.M., & Malo A.R. 1990. A comparison of the vegetation response to rainfall in the Shael and East Africa, using Normalized Difference Vegetation Index from NOAA AVHRR, *Climatic Change* 17:209- 241.
- Paruelo J. M., Golluscio R.A., Guerschman J.P., Cesa A., Jouvé 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.
- PCBSE. 2013. Programa de Competitividad Conglomerado Bovino de Santiago del Estero. Secretaría de Política Económica del Ministerio de Economía y Finanzas Públicas de la Nación, 42p. Disponible en: www.mecon.gov.ar/programanortegrande/docs/bovino_santiago.pdf
- Pérez H.E. 1992. Las pasturas cultivadas en la EEA INTA Santiago del Estero. En: *Jornadas de actualización técnica en producción bovina en áreas de secano de Santiago del Estero*, INTA, 162 p, 23, 24 y 25 de abril, Santiago del Estero, Argentina.
- Ravelo, A.C., y A. J. Pascale, 1997. Identificación de ocurrencia de sequías mediante imágenes del satélite NOAA e información terrestre. *Rev. Fac. Agronomía de Buenos Aires*. Vol 17(1):101-105.
- Reed B.C., & Brown J.F. 2005. Trend Analysis of Time-series Phenology Derived from Satellite Data, IEEE Xplore Library digital; Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01469863>

- Renolfi R.F. 1988. Producción y manejo de forrajeras introducidas y nativas en el Chaco Semiárido. En: Curso taller Internacional, Forrajeras y cultivos adecuados para la Región Chaqueña Semiárida. Editor: Red de cooperación técnica en uso de recursos naturales en la región chaqueña semiárida (Argentina, Bolivia, Paraguay), La Rioja, Argentina, 59-69 pp.
- Renolfi R.F. 1992. Los pastizales de la Región Chaqueña. En: Jornadas de actualización técnica en producción bovina en áreas de secano de Santiago del Estero. Editor: INTA EEA Santiago del Estero, Argentina, 17-26 pp.
- Rigge R., Wylie B., Zhang L. & Boyted S.P. 2013. Influence of management and precipitation on carbon fluxes in great plains grasslands. *Ecological Indicators* 34:590-599.
- Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A. & Deering D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great plains with ERTS, Third RTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.
- Ruimy A., Saugier B. & Dedieu D. 1994. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data. *Journal of Geophysical Research* 99: 5263-5283.
- SAyDS. 2004. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Parque Chaqueño. En: Atlas de los Bosques Nativos Argentinos, Proyecto Bosques Nativos y Áreas protegidas, Argentina, 244 pp.
- SAyDS. 2007. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Parque Chaqueño. Informe Regional Parque Chaqueño. En: Primer inventario nacional de bosques nativos, Proyecto Bosques Nativos y Áreas protegidas, Argentina, 114p
- SENASA. 2015. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Disponible en: <http://www.senasa.gob.ar/cadena-animales/bovinos-y-bubalinos/informacion/informes-y-estadisticas>
- SMN. 2016. Servicio Meteorológico Nacional. Disponible en: <http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/index.php>. Activo Junio de 2016
- Tiedemann J. L., Zerda H. R., Grilli M., & Ravelo A. 2010. Distribución espacial de anomalías del NDVI derivado del sensor VEGETATION SPOT 4/5 y su relación con las coberturas vegetales, usos de la tierra y características geomorfológicas en la Provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Ambiencia*, 6:379-391.
- Tiedemann J. L. 2011. Dinámica espacial y temporal del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en Santiago del Estero. Tesis Doctoral, Escuela de Graduados Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 157p.
- Tiedemann J. L. 2015a. Fenología y productividad primaria neta aérea de sistemas pastoriles de *Panicum maximum* en el Dpto. Moreno, Santiago del Estero, Argentina, derivada del NDVI MODIS. *Ecol. apl.* 14: 27-39.
- Tiedemann J.L. 2015b. NDVI MODIS de sistemas pastoriles de *Panicum maximum* y su variación ante anomalías de precipitación media en el Dpto. Moreno, Santiago del Estero, Argentina. En: Hugo R. Zerda (Ed. Responsable) Día del SIG. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales Argentina. CD ISSN: 2469-0856.
- Tucker C. J., Holben N. B., Elgin H. J & McMurtey III E. J. 1981. Remote sensing of total Dry-Matter accumulation in Winter Wheat. *Remote Sensing of Environment* 11:171-189.
- Tucker, J. C. & Choudhury, J. B. 1987. Satellite remote sensing of drought conditions. *Remote Sensing of Environment* 23:243-251.

- White A.M., Thornton E.P. & Running W.S. 1997. A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. *Global Biogeochemical Cycles*, 2:217-234.
- Zak M. R., Cabido M., & Hodgson J. G. 2004. Do subtropical seasonal forests in the Gran Chaco, Argentina, have a future?. *Biological Conservation* 120:589- 598.
- Zerda H. R. & Moreira M. L. 2006. Monitoreo del avance de la frontera agropecuaria en el Chaco Argentino. En: *Anais do VII Seminario de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Aplicados à Engenharia Florestal*. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. oct. 2006. CD ISBN 978-60020-01-0.
- Zerda H. R & Tiedemann J. L. 2010. Dinámica temporal del NDVI del bosque y pastizal natural en el Chaco seco de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina, *Ambiencia*, 6:13-24.