

# Severidad de la sequía en Santa Cruz

## Evaluación a través de índices de vegetación de imágenes MODIS

Liliana GONZALEZ<sup>1</sup>

[lgonzalez@correo.inta.gov.ar](mailto:lgonzalez@correo.inta.gov.ar)

Paula PAREDES<sup>2</sup>

[pparedes@correo.inta.gov.ar](mailto:pparedes@correo.inta.gov.ar)

Pablo RIAL<sup>3</sup>

[prial@correo.inta.gov.ar](mailto:prial@correo.inta.gov.ar)

Laboratorio de Teledetección y SIG. Convenio INTA – EEA Santa Cruz  
Mahatma Gandhi 1322 (9400) Río Gallegos (SANTA CRUZ)  
Tel: 54—2966—442305/306/014 int. 113

<sup>1</sup> Consejo Agrario Provincial

<sup>2</sup> INTA EEA Santa Cruz

<sup>3</sup> Ministerio de la Producción

---

## RESUMEN

La productividad de los pastizales, principal sustento de la ganadería ovina extensiva de la provincia de Santa Cruz y su variación entre años, se encuentran íntimamente ligadas a las precipitaciones anuales, su cantidad y distribución en el año. Una manera ágil y de bajo costo para monitorear grandes áreas es el uso de sensores remotos, analizando la vegetación a través del uso de índices espectrales. Se realizó un análisis multitemporal de la provincia usando imágenes del sensor Modis de los satélites Terra/Aqua que poseen gran cobertura de barrido (aproximadamente 2300 km), gran resolución temporal (compendio de 16 días), espacial (píxel de 250m) y espectral. Se analizó la temporada de crecimiento (Setiembre 2007 a Abril 2008) con respecto a los valores históricos, obteniendo así la variación de los índices de vegetación para cada mes (severidad de sequía). Se nota durante 2007 y 2008 una disminución de los índices, respecto a la media histórica, esto indica una menor cantidad de biomasa verde que en principio puede explicarse, entre otros factores, por la menor cantidad de precipitaciones. Es importante destacar que el trabajo se realizó únicamente en laboratorio y que debería complementarse con trabajo a campo para determinar la biomasa superficial y especies, entre otros. Es indiscutible la necesidad de incorporar a este análisis datos meteorológicos. Esta metodología puede considerarse una herramienta objetiva para la toma de decisiones en políticas agropecuarias.

---

## INTRODUCCIÓN

La productividad de los pastizales, principal sustento de la ganadería ovina extensiva de la provincia de Santa Cruz, y su variación entre años, se encuentran íntimamente ligadas a las precipitaciones anuales, su

cantidad y distribución en el año. En Patagonia se experimentó durante todo el año 2007 un marcado déficit de precipitaciones o sequía generalizada. Se entiende por sequía a “la deficiencia de precipitación por un período prolongado de tiempo, resultando en una escasez de agua para algunas actividades”. Su ocurrencia afecta no sólo al productor, sino a la región toda y la magnitud de las pérdidas depende de la severidad del fenómeno.

Una manera ágil y de bajo costo para monitorear grandes áreas es el uso de sensores remotos. Para analizar la vegetación (e indirectamente la producción forrajera y por ende la ganadera) se ha generalizado el uso de índices de vegetación. Si bien aún hay muchas dificultades en áreas de baja cobertura como la patagónica, el uso de los índices permite una estimación que facilita el seguimiento de la cubierta vegetal.

Un índice de vegetación puede ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda y es particularmente sensible a la cubierta vegetal (Gilbert et al, 1997). Estos índices no miden directamente productividad ni disponibilidad forrajera, pero tienen una estrecha relación con estas variables que permite utilizarlos para análisis regionales. Es decir que los cambios del índice de vegetación permiten decir si un determinado mes o año es mejor o peor respecto al valor histórico. Distinta bibliografía informa que el uso de los índices de vegetación en ambientes similares al de la provincia ha dado resultado para análisis multitemporales (Xulin et al., 2004, Kaviri et al., 2003 y Kawamura et al., 2003).

Ante la escasa disponibilidad de información meteorológica confiable y la necesidad de disponer rápidamente de una herramienta objetiva para la toma de decisiones en políticas agropecuarias y, por pedido expreso de los organismos provinciales y asociaciones de productores, se buscó desarrollar una metodología para monitorear los sistemas naturales y determinar la severidad de la sequía durante la estación de crecimiento (setiembre a abril) a través de sensores remotos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un análisis multitemporal de la provincia usando imágenes del sensor Modis de los satélites Terra/Aqua. Estas imágenes, que se obtienen gratuitamente en el sitio EOS Data Gateway (EOS- NASA, 2008), poseen gran cobertura de barrido (aproximadamente 2300km), gran resolución temporal (compendio de 16 días), espacial (píxel de 250m) y espectral.

Usando algoritmos la NASA ha generado a partir de las imágenes MODIS distintos productos. Uno de estos productos es el denominado MOD13Q, que tiene 12 bandas. En este trabajo se usan las bandas 1 y 2, correspondientes a los índices de vegetación (NDVI y EVI, respectivamente). Estos índices son muy útiles para el análisis multitemporal y las imágenes sintéticas de 16 días suministran los valores máximos de los píxeles durante el período minimizando así el efecto de las nubes y la nieve.

*BANDA 1: NDVI (Índice de Vegetación Normalizado), (Rouse et al, 1974)*

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$$

Donde: IRC = reflectancia en la banda del infrarrojo cercano; R = reflectancia en la banda roja.

El NDVI es el cociente entre la suma y la diferencia de las bandas infrarroja y roja. Es un índice muy usado, especialmente en la región sur de la provincia, para la evaluación de pastizales.

BANDA 2: EVI (*Índice de Vegetación Mejorado*), (Huete et al, 2002)

$$EVI = G * \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + (C_1 * \rho_{RED}) - (C_2 * \rho_{BLUE}) + L}$$

Donde:  $\rho$  = reflectancia en superficie (NIR banda del infrarrojo cercano, RED banda roja y BLUE banda azul); L = coeficiente de ajuste del entorno (Suelo); C1 y C2 = coeficientes de corrección atmosférica (para las bandas rojas y azul, respectivamente); G = factor de ganancia.

El EVI es calculado a partir de un algoritmo que usa las bandas roja, infrarroja cercana y azul, junto con coeficientes de corrección atmosférica y del efecto del suelo desnudo. Este índice resulta más adecuado para zonas con poca cobertura vegetal y gran efecto del suelo desnudo.

La superficie de la provincia de Santa Cruz está cubierta por dos "tiles" de la grilla de las imágenes Modis, h13-v13 y h13-v14 (FIGURA 1). Se solicitaron los dos de cada fecha y a partir de ellos se construyó un mosaico (TABLA 1).

TABLA 1. Fechas de productos MODIS analizados por año.

DIA JULIANO	CALENDARIO GREGORIANO
1	1 de enero
17	17 de enero
33	2 de febrero
49	18 de febrero
65	6 de marzo
81	22 de marzo
97	7 de abril
113	23 de abril
129	9 de mayo
145	25 de mayo
161	10 de junio
177	26 de junio
193	12 de julio
209	28 de julio
225	13 de agosto
241	29 de agosto
257	14 de setiembre
273	30 de setiembre
289	16 de octubre
305	1 de noviembre
321	17 de noviembre
337	3 de diciembre
353	18 de diciembre

El mosaico construido con las dos imágenes (formato hdf), en el programa Modis Reprojection Tool (MRT) fue re proyectado a faja 2 del sistema Gauss Krüger con datum WGS84 y meridiano central 69 Oeste y con

un tamaño de píxel de 250 X 250 metros (FIGURA 2).

FIGURA 1. "Tiles" de la grilla sinusoidal de MODIS, usados para analizar la provincia de Santa Cruz.

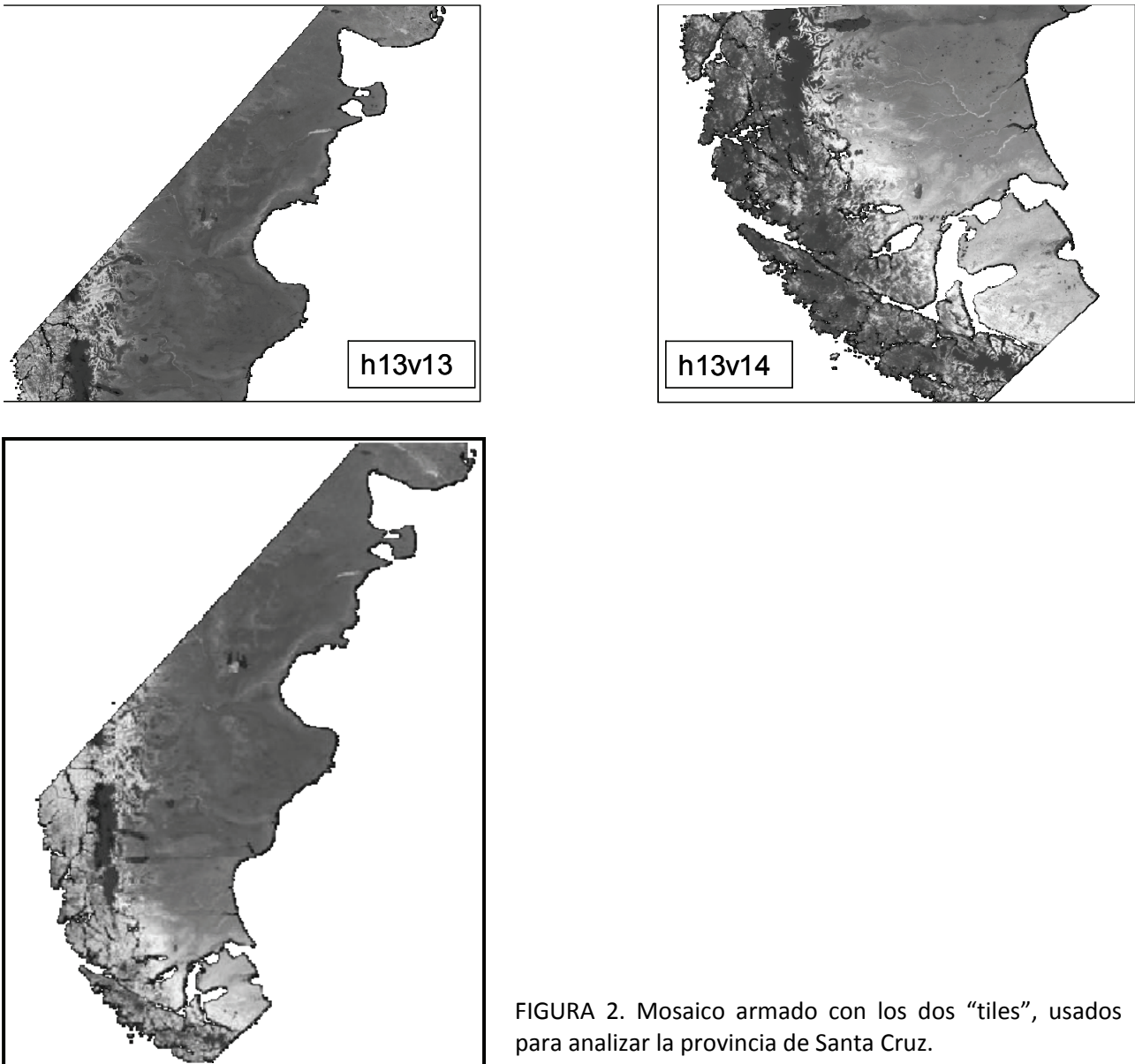


FIGURA 2. Mosaico armado con los dos "tiles", usados para analizar la provincia de Santa Cruz.

Con el programa Erdas Imagine 9.1 se importó cada mosaico a formato IMG y se recortaron con el límite internacional de la provincia aprobado por el IGM según Expediente GG8 2959/5 de enero de 1999 (FIGURA 3).

En los años bisiestos (2000, 2004 y 2008) hay que añadir un día a partir del 1 de marzo. El día juliano corresponde al calendario Juliano, que es el que precedió al gregoriano (que utilizamos actualmente). Fue instaurado por Julio César, en el año 45 a.C. y se basa en un año de 365,25 días exactamente. Tiene 365 días por año que no se dividen en meses y un año bisiesto cada cuatro años, sin excepción. Se utiliza especialmente en astronomía para marcar las fechas de variabilidad de las estrellas.

En principio se trabajó únicamente con las fechas correspondientes a la estación de crecimiento (setiembre a abril) y se promediaron los mosaicos correspondientes a las dos fechas de un mes para obtener el mosaico mensual. Los meses se conformaron de la siguiente manera:

- Setiembre: días julianos 241 y 257.
- Octubre: días julianos 273 y 289.
- Noviembre: días julianos 305 y 321.
- Diciembre: días julianos 337 y 353.
- Enero: días julianos 1 y 17.
- Febrero: días julianos 33 y 49.
- Marzo: días julianos 65 y 81.
- Abril: días julianos 97 y 113.

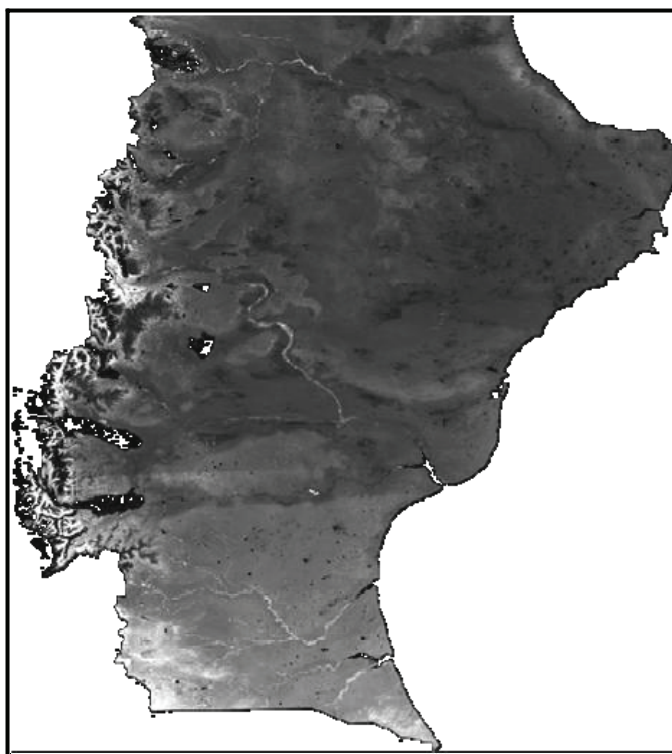


FIGURA 3. Mosaico recortado con el límite de la provincia de Santa Cruz.

Se realizó un promedio para ambas fechas y se usó el valor del mes. Todos los análisis se hicieron para los dos índices de vegetación (NDVI y EVI).

Se procesaron así todos los compuestos a partir del 18 de febrero del 2000 (primera fecha en que las Modis están disponibles) hasta la fecha.

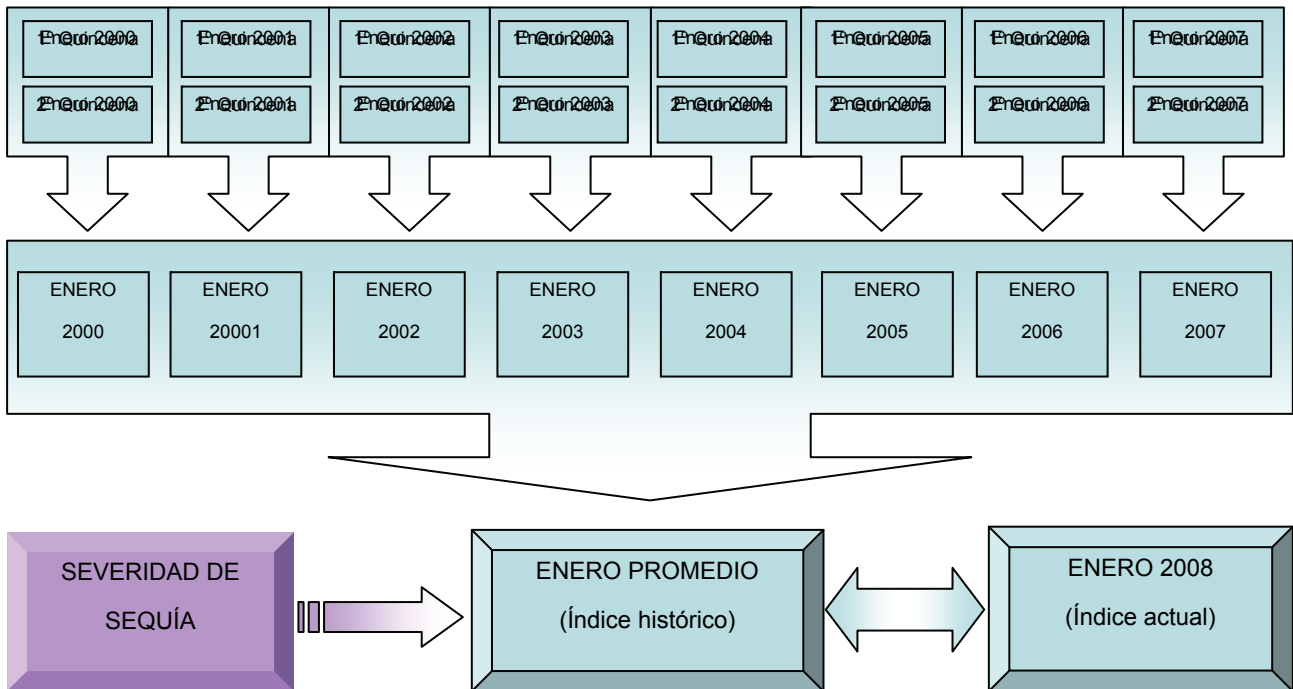
Se promediaron luego todos los meses disponibles para conseguir el valor histórico de cada mes: enero desde el 2001 y los meses restantes (febrero, marzo, abril, setiembre, octubre, noviembre y diciembre) desde el 2000.

Se analizó la temporada de crecimiento (setiembre 2007 a abril 2008) con respecto a los valores históricos. Para ello se realizó la diferencia entre la media del Índice de Vegetación (NDVI o EVI) a largo plazo de un mes determinado (índice histórico) y el índice de vegetación de ese mes (índice actual), obteniendo así la variación de los índices de vegetación para cada mes (FIGURA 4).

Se clasificaron las diferencias en 5 rangos (FIGURA 5):

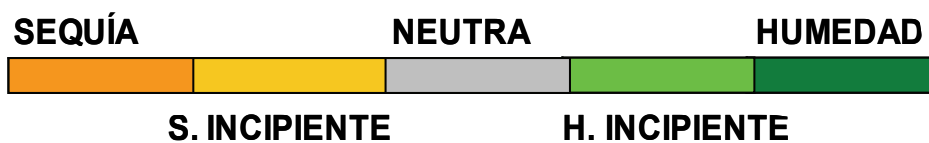
- Las diferencias negativas indican que el mes analizado es mejor que la media histórica de ese mes. Se dividieron en humedad incipiente y humedad.
- Las diferencias positivas indican que el mes analizado es más seco que la media histórica de ese mes. Se dividieron en sequía incipiente y sequía.
- Valores cercanos a 0 evidencian que el mes analizado es similar a la media histórica de ese mes. A esta clase se la denominó neutra.

FIGURA 4. Ejemplo (usando el mes de enero) de la forma de trabajo.



Se colorearon los mapas de las diferencias mensuales entre el índice histórico y el índice actual usando la escala de colores de la FIGURA 5. Se representó, porcentualmente, la participación de cada clase en la superficie total de cada uno de los Departamentos, usando gráficos de barras. También se representó, porcentualmente, la incidencia de las dos clases de sequía para toda la provincia, diferenciando por Departamento.

FIGURA 5. Escala de colores usada para las distintas clases en que se separaron las diferencias.



En esta primera etapa se analizó únicamente la información de las imágenes y no se tuvieron en cuenta datos meteorológicos ni productivos.

Para verificar la relación existente entre condiciones meteorológicas y sequía se observó la evolución de variables meteorológicas del invierno precedente (mayo a agosto de 2007). Se incorporaron los mapas de temperatura media (en °C) y precipitaciones totales (en mm) tomados de la página del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2008) y recortando la información correspondiente a la provincia.

En una próxima etapa se prevé: 1) ajustar la metodología de trabajo y buscar consenso para unificarla en Patagonia, y 2) incorporar variables meteorológicas para calcular índices de sequía.

Se están recolectando datos meteorológicos de distintas fuentes:

- Página del NCDC que tiene disponibles datos de los Servicios Meteorológicos de Argentina y Chile.
- Estaciones meteorológicas instaladas por el INTA en el marco del Proyecto “DESARROLLO DE UN SISTEMA REGIONAL DE INFORMACIÓN PARA LA TOMA DE DECISIONES PÚBLICAS Y PRIVADAS”, se

usarían todas las de la provincia y, además, las del sur de Chubut y norte de Tierra del Fuego.

- Datos de establecimientos ganaderos.

Se está trabajando en la formalización de acuerdos para conseguir datos meteorológicos disponibles en distintos organismos. Están avanzadas las tratativas con el Servicio Meteorológico Nacional, Vialidad Provincial y algunas empresas mineras como Fomicruz, Cerro Vanguardia y Triton, entre otras.

## RESULTADOS

Se nota durante 2007 y 2008 una disminución de los índices respecto a la media histórica. Esto indica una menor cantidad de biomasa verde que en principio puede explicarse, entre otros factores, por la menor cantidad de precipitaciones. En el contexto provincial se manifiesta especialmente de diciembre a febrero, situación que se prolonga hasta abril, sin demasiados cambios en algunos Departamentos (ver material complementario en CD Actas de las II<sup>o</sup> Jornadas de Información Geográfica y Ordenamiento Territorial, 2008).

En este material complementario se presentan los mapas de temperatura media (en °C) y precipitaciones totales (en mm) del Servicio Meteorológico Nacional del invierno anterior (mayo a agosto de 2007), (ver ANEXO 1 en CD Actas).

Para cada mes se presentan:

- Mapa diferencia entre el índice histórico y el índice actual del mes en estudio.
- Mapas de temperatura media (en °C) y precipitaciones totales (en mm) del Servicio Meteorológico Nacional.
- Gráfico de barra que muestra la incidencia de las dos clases de sequía: sequía incipiente y sequía, para toda la provincia (en porcentaje), diferenciando por Departamento. Este gráfico permite visualizar rápidamente cual es el departamento más afectado.
- Gráficos de barra que muestran la participación (en porcentaje) en cada uno de los departamentos, de cada clase: humedad, humedad incipiente, neutra, sequía incipiente y sequía.

Este análisis se realizó para los dos índices de vegetación analizados: **NDVI** (Índice de Vegetación Normalizado), (ver ANEXO 2 en CD Actas) y **EVI** (Índice de Vegetación Mejorado), (ver ANEXO 3 en CD Actas).

## DISCUSIÓN

Los factores que inciden en la severidad de la sequía son variados (climáticos, edafológicos y de manejo, entre otros) y limitan los alcances de este trabajo, que debe entenderse como un monitoreo del fenómeno y no como un análisis.

La bibliografía muestra de manera evidente la relación existente entre la biomasa fotosintéticamente activa y los índices de vegetación obtenidos por sensores remotos. Numerosos trabajos, especialmente en la zona sur de la provincia, afirman esto usando el NDVI. Pareciera que el EVI es especialmente útil porque minimiza la reflexión del suelo (Huete et al., 1999). El uso de los dos índices arrojó resultados similares.

Los valores de los índices reflejan el estado de la vegetación. Al comparar los valores de los índices con la media histórica tenemos dos situaciones: una diferencia negativa con respecto al índice histórico indica que el mes analizado es mejor que su media histórica, es decir que hay mayor cantidad de biomasa fotosintéticamente activa, mientras que una diferencia positiva con respecto al índice histórico indica que el mes analizado es peor que su media histórica, es decir que ha disminuido la cantidad de biomasa fotosintéticamente activa.

El análisis de la evolución de los índices de vegetación durante la temporada de crecimiento setiembre 2007 a abril 2008, en toda la provincia y en los Departamentos en forma individual, permite detectar distintas problemáticas departamentales, a partir de los datos de las imágenes satelitales. Es indiscutible la necesidad de incorporar a este análisis datos meteorológicos.

Los datos indican que ha existido en el período una sequía, en noviembre- diciembre de 2007, que afectó especialmente a la zona noreste de la provincia (Departamento Deseado), pero también a la zona sur (Departamentos de Güer Aike y Lago Argentino). Esta sequía se extendió en enero al Departamento de Río Chico, en el centro de la provincia. A partir de febrero, las condiciones de precipitación mejoraron en la zona centro-sur, pero se mantuvo la sequía en el Departamento Deseado. En abril, el último de los meses evaluados, la sequía afectaba más del 60% de este Departamento.

Es importante destacar que el trabajo se realizó únicamente en laboratorio, y que debería complementarse con trabajo a campo para determinar la biomasa superficial, especies, etc.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Miriam Díaz Vivar, Gabriel Oliva y Guillermo Clifton.

## BIBLIOGRAFÍA

- EOS - NASA. 2008. Earth Observing System. USA. <http://redhook.gsfc.nasa.gov/~imswww/pub/imswelcome/>
- GILABERT M.A., GONZALEZ PIQUERAS L. y GONZALEZ PIQUERAS J. y GARCIA HARO J., (1997) Acerca de los Índices de Vegetación. *Revista de Teledetección*, 8, 1-10.
- HUETE A., JUSTICE C., (1999) MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm theoretical basis document. 120 p.
- HUETE A., ALFREDO R., KAMEL D., TOMOAKI M., RODRIGUEZ E., PATRICIA E., XIANG G., FERREIRA L.G., (2002) Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS Vegetation Indices. *Remote Sensing of Environment*. 83: 195–213.
- KAURIVI J., HUETE A. y DIDAN K., (2003) Multitemporal MODIS-EVI relationships with precipitation and temperature at the Santa Rita experimental range. *USDA Forest Service Proceedings RMS-P-30*: 121-124.
- KAWAMURA K., AKIYAMA T., YOLOTA H., TSUTSUMI M., WATANAB O. and WANG S., (2003) Quantification of grazing intensities on plant biomass in Xilingol steppe, China using Terra MODIS image. *International Workshop on Monitoring and Modeling of Global Environmental Change*, 21-22, Kyoto, Japan. 8p.
- NCDC. 2008. National Climatic Data Center. NOAA. USA. <http://gis.ncdc.noaa.gov/aimstools/gis.jsp>
- ROUSSE J.W., HAAS R.H., SCHELL J.A. y DEERING D.W., (1974) Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, *Proceedings, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351*, 3010-3017.
- SMN. 2008. Servicio Meteorológico Nacional. Argentina. <http://www.smn.gov.ar>
- XULIN G., WEI G., PIERROT R., YUNPEI L., YOUNFEI Z. y ELISE P., (2004) Canadian prairie drought assessment through MODIS vegetation indices. *Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability. Proceedings of SPIE Vol. 5544*:149-158.