XVI SIMPOSIO INTERNACIONAL SELPER 2014

La Geoinformación al Servicio de la Sociedad

Memorias

Sociedad Latinoamericana en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial Capítulo Colombia

30 AÑOS

Medellín, Colombia
29 de Septiembre al 3 de Octubre de 2014

SERIES TEMPORALES DE ANOMALÍAS TÉRMICAS Y SU RELACIÓN CON VARIABLES AMBIENTALES MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DE DATOS SATELITALES Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Villanueva S. N. [(1)] y Serafini M. C [(1)]

1. Programa de Desarrollo e Investigación en Teledetección (PRODITEL)
Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján; (6700) Luján, Buenos Aires, Argentina.
solangevillanueva@gmail.com; proditel@mail.unlu.edu.ar

RESUMEN

Los factores naturales y antrópicos son los causantes de la dinámica de cambio en el uso de la tierra, directamente relacionada con las prácticas de manejo de los recursos naturales, el contexto socioeconómico y las características del ambiente. El territorio argentino se ve afectado por la ocurrencia de incendios en distintas regiones. En este caso particular se estudió un área de la provincia de San Luis (al Norte, perteneciente a la Región Chaqueña), en donde se registraron incendios en el mes de septiembre del año 2013. El objetivo general de este estudio fue evaluar las características del área afectada, mediante las técnicas de teledetección satelital y análisis estadístico. Se empleó la base de datos de suelos, cartografía de cobertura vegetal, se realizó el cálculo de mapa de distancia a áreas urbanas y caminos, la distribución de puntos de calor (obtenidos en base al producto MOD 14 aportadas por el satélite Terra MODIS y AQUA), variables de incidencia directa y se estudió la utilidad del Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) derivado de imágenes Landsat para discriminar la vegetación y determinar su estado. Las imágenes utilizadas fueron del satélite Landsat 8 (fechas de verano e invierno, previas y posteriores a los incendios). Los resultados se correlacionaron entre si con las variables antes mencionadas a

escala estacional e interanual. El análisis de las variables en conjunto, integradas en un Sistema de Información Geográfica, permitió caracterizar el ambiente y evaluar el riesgo a la ocurrencia de incendios. El uso de los SIG, las técnicas estadísticas y de teledetección en conjunto contribuyeron a realizar el análisis sistémico del fenómeno, brindando un aporte para futuros trabajo relacionados con la vulnerabilidad ambiental y sostenibilidad de los recursos naturales.

Palabras claves: Focos de calor; Incendios; Índice de vegetación (NDVI); SIG; Teledetección

TEMPORARY SERIES OF THERMAL ANOMALIES AND THEIR RELATIONSHIP WITH ENVIRONMENTAL VARIABLES THROUGH THE PROCESSING OF SATELLITE DATA AND GIS

ABSTRACT

Natural and anthropological factors are responsible for the changing dynamics of land-use, related to the practices for natural resource management; the socio-economic context and the environment characteristics. The Argentinean territory is affected by fires in different regions. The case study corresponds to an area of the province of San Luis (northern sector, Chaco Eco-Region), where fires were reported in September of 2013. The overall objective of this study was to evaluate the characteristics of the affected area through the use of remote sensing techniques and statistical processing. Soil databases and vegetation cover maps were used; urban distances and road were mapped, and the distribution of hot spots were obtained from the product of thermal anomalies MOD 14 provided by the Terra MODIS and AQUA satellite. In order to segregate vegetation and determine its condition,

the Normalized Vegetation Index (NDVI) was applied to images from the Landsat satellite. The images that were used belonged to the Landsat VIII satellite (summer and winter data, pre- and post- fire). The results were correlated to each other with the different variables mentioned on seasonal and inter-annual scales. The analysis of all the variables, integrated into a GIS, allowed characterizing the environment and evaluating the risk of a fire occurring. (fire risk assessment). The use of GIS, statistical processing and remote sensing techniques contributed to the systemic analysis of the phenomenon, being an input to future work related to environmental vulnerability and natural resources sustainability.

Key words: Hot Spots; fires; Vegetation Index (NDVI); Remote Sensing

INTRODUCCION

En Argentina la ocurrencia de incendios, debido a la heterogeneidad del espacio geográfico en conjunto con las actividades humanas, no tiene un mismo patrón; ésta se ve favorecida por la presencia de vegetación inflamable y anormalidades climáticas como altas temperaturas, bajas humedades relativas del aire y sequía, que desarrollan una elevación de la desecación de los combustibles vivos y muertos aumentando su inflamabilidad.

Los incendios constituyen fenómenos de cambio en ambientes; la evolución del fuego desde un pequeño foco, que puede extinguirse rápidamente, hasta un incendio de mayores proporciones, depende de diversas variables: cantidad (carga), continuidad (disposición horizontal y vertical) y características del combustible vegetal (fino, grueso, inflamable o no), temperatura y humedad relativa del aire, vientos, exposición, pendiente, entre otros (Defossé *et al*. 2004).

Uno de los principales productos generados a partir del satélite Terra MODIS, son los puntos o focos de calor; estos indican las áreas que presentan una temperatura de superficie

anómala; en la mayoría de los casos se asocia la presencia de un foco a la existencia potencial de un fuego o incendio. La detección de focos de calor se basa en la capacidad de algunos sensores remotos de capturar la energía emitida por la superficie en las longitudes de onda correspondientes al infrarrojo medio emisivo e infrarrojo lejano. De acuerdo a las temperaturas que alcanzan los incendios (entre 300ºC y 1500ºC, según el tipo de vegetación, combustible acumulado, condiciones ambientales, entre otros) se establecen los umbrales que permiten identificar los focos de calor (Giglio *et al.* 1999; 2006).

Un evento de incendio real, debido a sus características en cuanto a tamaño y duración, puede ser representado por más de un foco de calor. Es decir, los focos continuos en espacio y tiempo son considerados como parte de un mismo evento de incendio.

Actualmente, existen numerosos productos disponibles gratuitos que son elaborados con el objetivo de cuantificar y representar la ocurrencia de incendios: el "Fire Information for Resource Management System" (FIRMS), desarrollado por la NASA, integra tecnología de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para realizar productos globales, estacionales, anuales y casi en tiempo real de focos de calor a partir de imágenes MODIS; el producto de "Mapas de Focos de Calor" provisto por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina (CONAE), a partir de la información capturada por el sensor MODIS; los productos de focos de calor generados por el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) a partir del uso de distintos sensores y los productos de puntos de calor generados en México por la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), entre otros.

En este contexto el objetivo principal de este trabajo fue integrar técnicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica para evaluar la ocurrencia o no de incendios a partir de la base de datos histórica (2007-2011) de anomalías térmicas (FIRMS).

El análisis realizado constituye un avance preliminar de investigación del proyecto marco del anuncio de oportunidad SAC-D Aquarius "Aportes del Observatorio Aquarius para una mejor comprensión de variables ambientales".

La finalidad de este trabajo fue evaluar las características del área afectada por incendios en San Luis, República Argentina.

Para lograr la interrelación de variables ambientales que inciden en el funcionamiento de una región se optó por la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) con su correspondiente base de datos.

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en el Noreste de San Luis (Figura 1). Forma parte de la Región Chaqueña (Cabrera 1976).

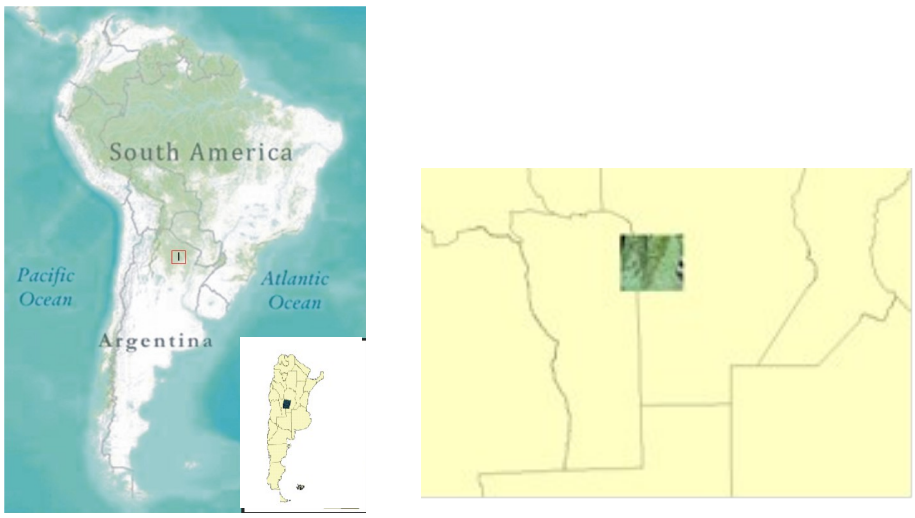

Figura 1: Ubicación del área de estudio

El paisaje de la zona está constituido por sierras, llanuras onduladas, con lomadas arenosas, depresiones y bajos salinos. Los suelos son medianamente fértiles de textura franca a franco-arenosa muy susceptibles a la erosión. Las precipitaciones oscilan entre los 400 y 700 milímetros y las mismas se producen durante los meses de primavera y verano siendo el invierno muy seco.

De acuerdo a estudios realizados por Anderson *et al.* (1970) y Peña Zubiate *et al.* (1998) el área comprende distintas unidades fisiogeográficas (Figura 2): La Unidad 3, Sierras de San Luis y Comechingones corresponde con la zona bajo estudio. Se divide por las geoformas en valles, sectores rocosos, pampas serranas y taludes, con precipitaciones que oscilan en los 600 mm. Los suelos correspondientes a los valles se caracterizan por ser de estructura granular, oscuros y provistos de materia orgánica; en las laderas son débilmente desarrollados, con moderada materia orgánica y en los sectores rocosos son someros y fuertemente inclinados. En el área serrana el uso se ve limitado por las condiciones edáficas y climáticas; en las laderas suaves y terrazas se realizan cultivos anuales de papa y maíz, el resto del área es destinada al pastoreo. Con respecto a la vegetación natural esta unidad está representada por pastizales, pajonales y bosques abiertos. Las pampas serranas poseen suelos ligeramente ondulados, de forma irregular, sin presencia de árboles, cuyas restricciones para el uso son las bajas temperaturas y moderada erosión hídrica. Actualmente corresponden a tierras de cultivo y pastoreo sobre campos naturales.

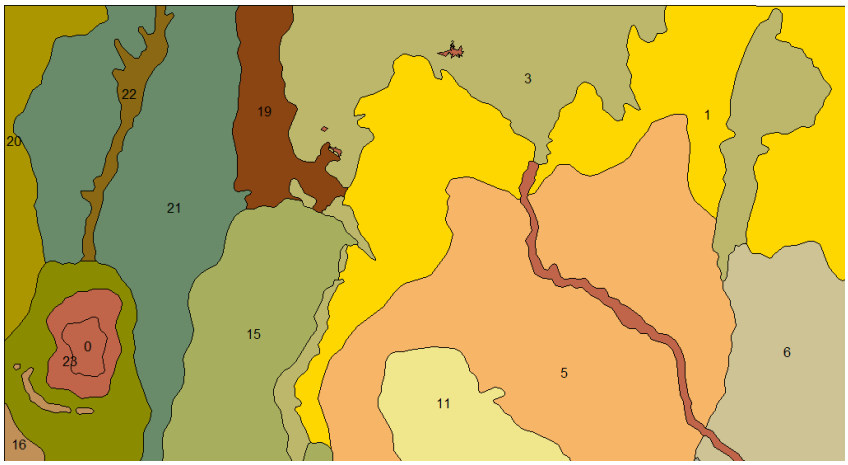

Figura 2: Unidad fisiográfica presente en el área de estudio, Sierras de San Luis y Comechingones (U3)
Fuente: Peña Zubiate *et al.* 1998

Los suelos son poco desarrollados, de textura gruesa, con restricciones de uso debido a limitaciones climáticas moderadas y edáficas severas y con alta susceptibilidad a la erosión hídrica. El uso de la tierra es pastoreo ocasional y limitado. Con respecto a la vegetación natural se caracteriza por bosques semicerrados de *Prosopis flexuosa, Geoffroea decorticans, Aspidosperma* quebracho blanco y Acacia *caven* con gramillares y pastizales; arbustales cerrados de *Acacia furcatispina* y *palmares de Trithrinax campestres*. En el Norte de la provincia, predominan los procesos de erosión hídrica en distinto grado (desde moderada hasta con presencia de cárcavas y barrancas), mientras en el ámbito del sur provincial, se conjugan las variables físicas y socioeconómicas propicias que promueven los mecanismos de erosión eólica y desertificación: textura arenosa de los suelos, bajos niveles de materia orgánica, semi-aridez casi permanente, irregularidad de las precipitaciones y vientos que se caracterizan por su intensidad y frecuencia. Esta susceptibilidad física puede verse agravada en caso de pastoreos excesivos, labranzas

inoportunas, utilización de maquinaria agrícola inadecuada, desconocimiento de la aptitud de los suelos e incorporación de tierras marginales entre otros aspectos.

El concepto de tierra marginal representa dos expresiones. La existencia de limitaciones físico-químicas (textura arenosa, carencia de estructura, escasez de nutrientes) de los suelos situados en áreas condicionadas por el clima, constituyen factores que explican la primera acepción de tierra marginal. Al referirnos a este tipo de ambientes, se plantea la necesidad de restringir la utilización de los mismos a su capacidad de uso.

La marginalidad, en un segundo sentido, puede también derivar de una explotación esquilmante del suelo durante varios años, o referirse a tierras que se han utilizado tradicionalmente con fines productivos, pero que dejaron de cultivarse en un momento determinado por condiciones socioeconómicas y/o de mercado. El laboreo de estas áreas marginales constituye un factor decisivo en la manifestación de los procesos degradativos y el posterior abandono de las explotaciones. El concepto de tierra marginal como sinónimo de abandono de tierras induce y representa el verdadero riesgo de desertificación. Otros factores que influyen sobre este problema son las grandes pérdidas de cubierta vegetal a causa de los reiterados incendios (http://www.grupopayne.com.ar).

MATERIALES Y METODOS

Las imágenes ópticas seleccionadas corresponden al satélite Landsat 8 (Path Row: 229 - 083) obtenidas de la página web de la NASA, USGS. Para su selección se consideraron características tales como: baja nubosidad y buena calidad radiométrica. Las fechas descargadas corresponden con los meses de abril, junio, agosto, septiembre y diciembre de 2013 (Figura 3).

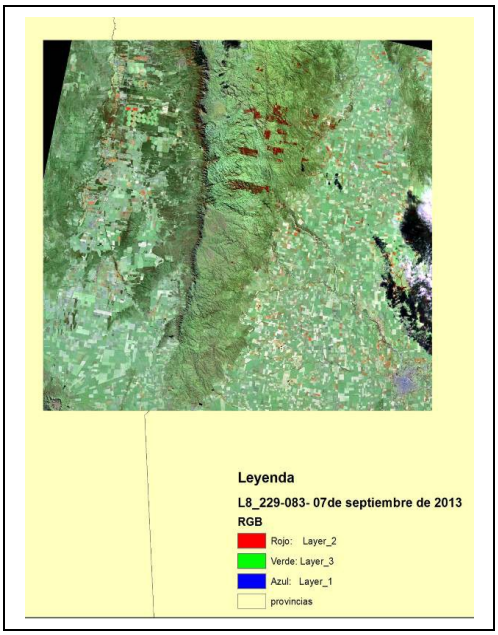

Figura 3: Sub-Imagen del área de estudio

Software utilizado

-ERDAS

- ARC-GIS 10.2

Se utilizaron datos catastrales del Instituto Geográfico Nacional (IGN), Sistema de Información Geográfico 250.

Los datos históricos de puntos de calor fueron obtenidos a partir de la descarga de los productos MOD 14 (producto de anomalías térmicas) del satélite Terra MODIS y AQUA de la página web de la NASA (Tabla 1). Datos climáticos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN); mapa de suelos (Peña Zubiate et al. 1998). Modelo Digital del Terreno (SRTM), extraído de la Universidad de Maryland.

Tabla 1: Variables de análisis y fuente de datos

Variable	Tipo	Fuentes	Resolución Espacial (m)
1.Anomalías Térmicas	Puntos de calor	NASA	1000
2.Biomasa	Vegetación	Elaboración PRODITEL	30
3.Índice de vegetación	Vegetación	Generación propia a través de software Arc GIS (Método: Algebra de bandas)	30
Temperatura	Clima	SMN	…..
Precipitaciones	Clima	SMN	…..
Distancia a las ciudades	Antrópica	IGN (2005)	250
Distancia a las rutas	Antrópica	IGN (2005)	250

Las precipitaciones disminuyen hacia el Oeste, con valores menores a 300 mm anuales en la región Noroeste de la provincia y valores superiores a 700 mm en la región de las sierras de San Luis y Comechingones (Figura 4).

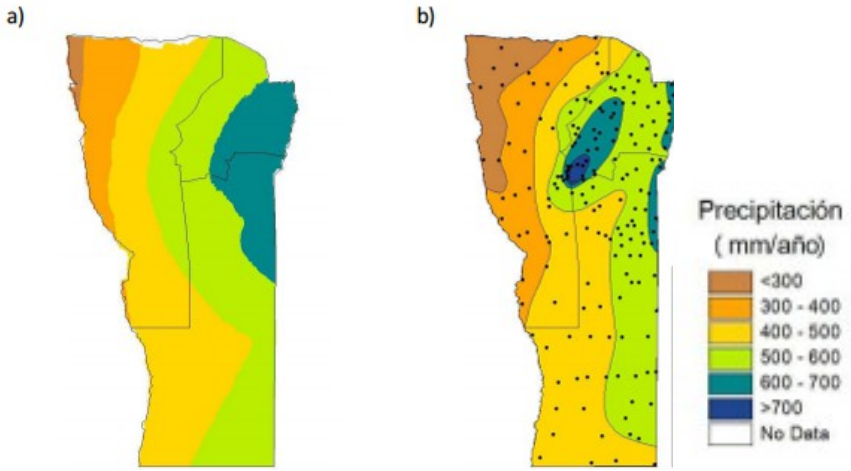

Figura 4: Mapa de precipitaciones. La distribución de las precipitaciones anuales en la provincia de San Luis según a) Modelo de interpolación de resolución de 1 km para el período 1950 – 2000 (Hijmans et al., 2005) y b) Modelo de interpolación de según BRS (2000). Puntos = estaciones meteorológicas.

En el Noreste de San Luis se identifican los suelos que se ubican en los siguientes ambientes: i) Valles y sectores de alta rocosidad, caracterizados por la presencia de terrazas aluviales3 (Haplustoles) y suelos muy someros (Ustortentes Líticos), ii) Pampas serranas: llanuras ligeramente onduladas, de forma irregular; se localizan a más de 1000 msnm y con precipitaciones anuales mayores a 600 mm. Desde el punto de vista edáfico se distinguen aquellos con material loéssico de los arcillosos (Haplustoles).

Es posible identificar un tercer grupo de suelos denominado de pampas serranas de altura (>1200 msnm) clasificados como Hapludoles, y iii) Taludes: En ellos se encuentran suelos genéticamente poco desarrollados, de textura gruesa. Son materiales de depósitos coluviales. Tentativamente clasificados como Ustortentes Líticos. Principales limitaciones: Erosión hídrica, suelos someros, climáticas (Figura 5).

Orden	Gran Grupo	Paisaje	Símbolo
MOLISOL	Haplustol	Depresión de Concarán y áreas inteserranas	5
	Haplustoles Someros	Sierras de San Luis y Comechingones	6
ENTISOL	Ustortent	Planicie semiárida del caldenal	2
	Ustipsament	Planicie medanosa semiárida	7
	Torripsament	Planicie medanosa árida	3
	Torriortent	Planicie pedemontana	1
	Torriortentes calcáreos	Umbral serrano	9
ARIDISOL	Paleortid	Planicie pedemontana árida	4
	Calciortid y Salortid	Depresiones salinas	8

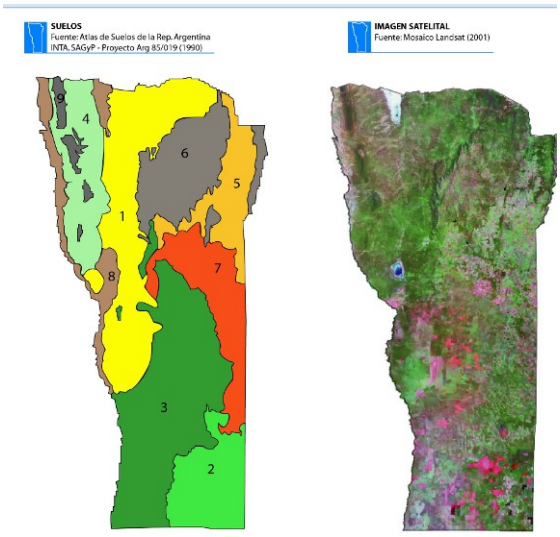

Figura 5: Mapa de suelos. Fuente Peña y Zubiate 1998

Metodología

Se llevó a cabo un proceso de recolección de datos acerca de incendios ocurridos durante el año 2013 en Argentina, registrándose los mismos en el mes de septiembre en diversas provincias, tal es el caso de Córdoba y San Luis.

Considerando que el fenómeno de incendios está relacionado con diversas variables sistemáticas: características del combustible vegetal, temperatura y humedad relativa del aire, vientos, exposición, pendiente, etc., que inciden en la dinámica de ocurrencia de incendios se llevaron a cabo los siguientes análisis de datos:

Sobre la imagen Landsat 8 (del 16 de abril y 07 de septiembre de 2013) se realizó un mapa de uso y cobertura de suelo, mediante interpretación visual; las clases temáticas consideradas fueron: bosque cerrado, monte, pastizal, bosque implantado y quemado.

Para extraer información de las imágenes se realizó a cada fecha de imagen del año 2013 el índice de vegetación mediante el álgebra de bandas (NDVI = IRC - R / IRC + R) utilizando las bandas 4 y 5 (rojo e infrarrojo cercano de la imagen Landsat 8) obteniendo los índices de vegetación para luego llevar a cabo su posterior análisis visual, mediante el producto color (el índice varía entre -1 y 1, cuanto mayor sea el resultado, mayor vigor presenta la vegetación).

Por otro lado, se utilizó, a modo de complemento de análisis, una imagen correspondiente a la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) path/row 229/083, la misma fue seleccionada y descargada del servidor online de la Universidad de Maryland (ESDI-GLCF-EE.UU), con una resolución espacial de 90 metros, de fecha febrero de 2000. El modelo digital es generado a partir de imágenes radar en banda C cuya longitud de onda es de 5,6 cm. El tipo de SRTM seleccionada corresponde al Unfilled_finished_B, que de

acuerdo a la bibliografía, presenta pocos valores sin completar (Sanders 2007; Verdin *et al.* 2007).

Se obtuvo la serie de focos de calor de un periodo de tiempo de 5 años (2009/2013) y se georreferenciaron para superponerlos espacialmente con el resto de los datos, interrelacionarlos y analizarlos mensualmente junto con las variables climáticas de temperatura y precipitación.

RESULTADOS

Las series de puntos de calor fueron reproyectadas para el análisis de datos en un Sistema de Información Geográfica los cuales fueron interrelaciona das con el mapa de uso y cobertura del suelo (Figura 6).

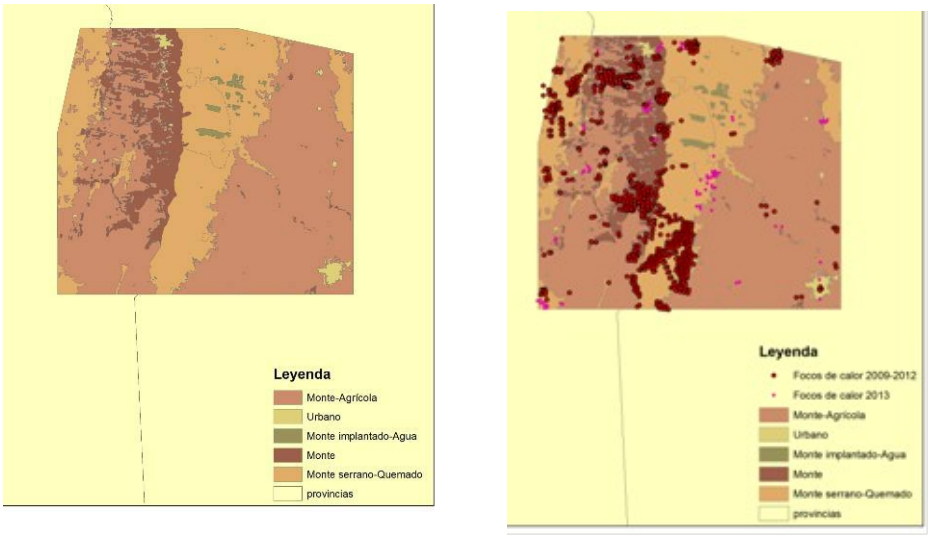

Figura 6: Serie de puntos de calor 2009 – 2013

La serie de anomalías térmicas, durante el periodo de análisis no muestra desvíos significativos, la cuantificación de anomalías da resultados semejantes.

Las anomalías térmicas se generan sobre áreas de monte serrano y monte; de acuerdo con la bibliografía, estos tipos de cobertura son propicios para el desencadenamiento de posibles

incendios en la región, también se puede inferir que esta situación es potencialmente favorecida por el tipo de suelos, de tipo haplustoles, suelos poco aptos para agricultura, tierras de pastoreo, campos naturales que son mas vulnerables a las situaciones climáticas.

En el área agrícola prácticamente no se observan anomalías térmicas, la concentración más importante de puntos se localiza en la zona Sur Central de la Sub-Imagen.

La distribución espacial de las anomalías térmicas obtenidas de distintas fuentes (Figura 7) difiere en la localización, registrando periodos de menor y mayor densidad de puntos sobre la superficie, esta diferencia probablemente se debe a los distintos algoritmos que fueron aplicados (Figura 7).

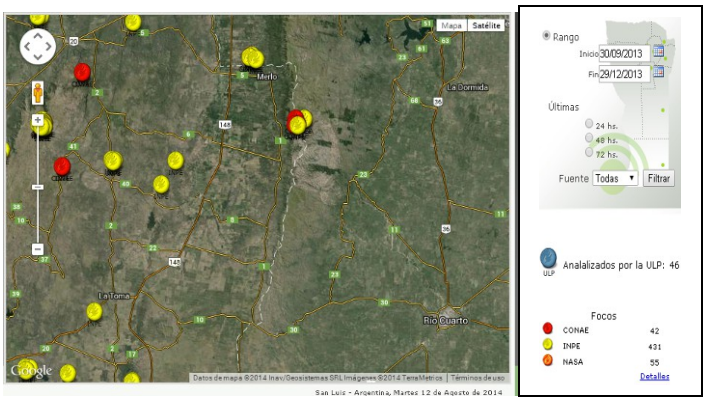

Figura 7: Focos de calor de distintas fuentes: CONAE; INPE; NASA. Extraído del SIG de la Universidad de San Luis

El resultado de los índices de vegetación se traduce en la imagen con colores que van desde naranjas a rojos (alto/medio indice de vegetaciòn) en contraste con aquellos sectores en los que existe escasa presencia o ausencia total de vegetación, donde los colores se muestran en tonos de amarillos (Figura 8 y 9).

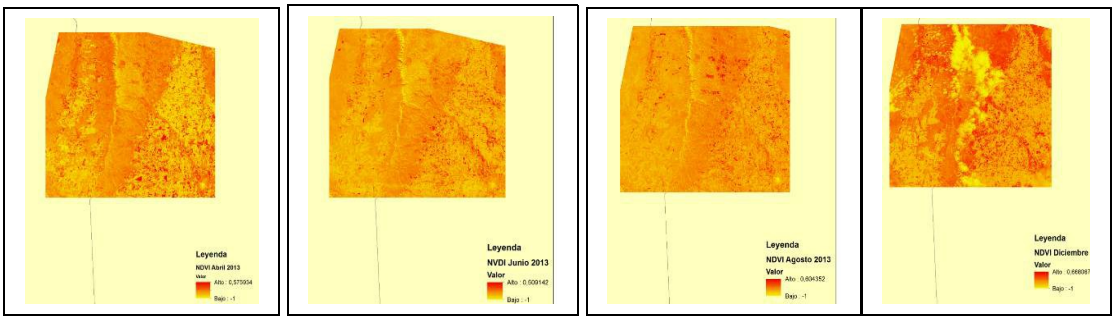

Figura 8: NDVI multitemporal (abril, junio, agosto, diciembre 2013)

Interrelacion de datos : NDVI y Anomalias Térmicas

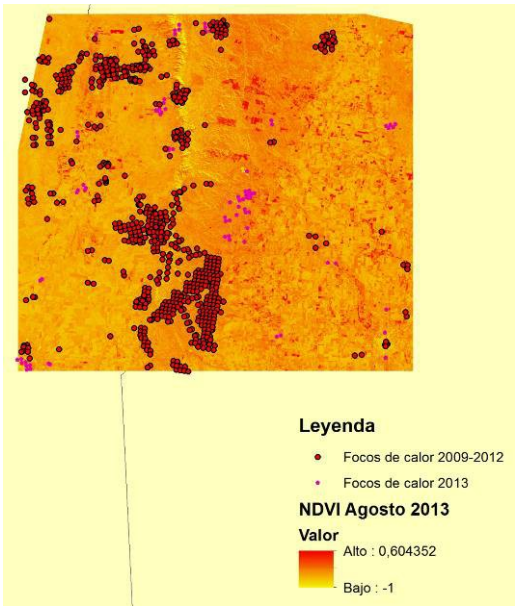

Figura 9: Mapa NDVI y focos de calor

Los focos de calor se muestran en las áreas con bajo valor de NDVI, lo cual es factible, dado que las anomalías térmicas se generan sobre suelos con baja aptitud y sobre biomasa seca o con aptitud combustible.

Mapa de pendientes y anomalías térmicas

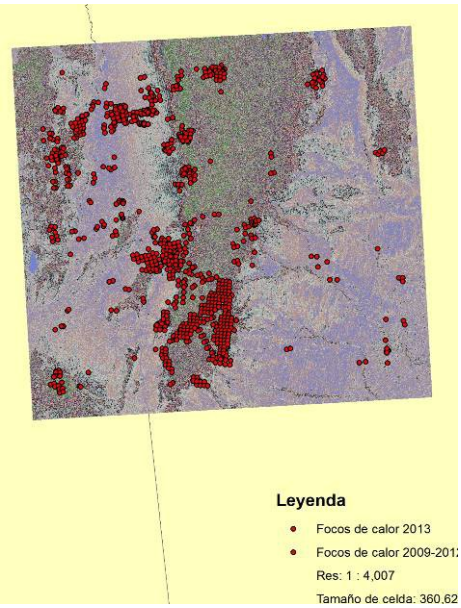

Figura 10: Mapa de pendientes y focos de calor

Respecto a la relación entre los focos de calor y la pendiente del terreno, se observa que la mayor concentración se genera sobre la superficie baja del área, cubierta con vegetación de tipo pastizal y bosque serrano.

CONCLUSIONES

La integración de la información entre las variables ambientales y las series temporales de anomalías térmicas permitió evaluar las áreas mas afectadas a la ocurrencia de incendios en el Norte de San Luis; respecto a las variables climáticas, las precipitaciones disminuyen hacia el Oeste, con valores menores a 300 mm anuales en la región Noroeste de la provincia y valores superiores a 700 mm en la región de las sierras de San Luis y Comechingones.

De la interrelación entre el mapa de uso y cobertura del suelo, generado a partir de interpretación visual y el mapa de suelo con los focos de calor es posible decir que el sensor detecta las anomalías térmicas en áreas de monte, pasturas y monte serrano, por poseer estas áreas características de vegetación y edáficas que favorecen el desarrollo de de estas anomalías.

Por otro lado es posible inferir, de acuerdo a la interrelación entre los índices de vegetación y los focos de calor, que estos ocupan áreas con bajo índice de vegetación.

Las condiciones ambientales de la zona, sumada a la alta influencia de la variable antrópica, mediante la práctica de quema de pastizales, inciden en la dinámica de incendios en la Región Chaqueña Argentina.

REFERENCIAS

Bruniard, E. D & Alberto J, A (1987). Atlas geográfico de la Provincia del Chaco. Tomo 1: el medio natural. Instituto de Geografía. Facultad de Humanidades – UNNE. Argentina.

Cabrera, A. (1976). Regiones fitogeográficas Argentinas. 2º ed. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. ACME SACI, Buenos Aires.

Cayuela, L. (2009) Modelos lineales generalizados (GLM), EcoLab, Centro Andaluz de Medio Ambiente, Universidad de Granada

Defosse, G; Rostagno; Del Valle, H & Dentoni. (2004). El fuego en la porción austral de la región del Monte. Pp. 167-180 in: C Kunst; S Bravo & JL Panigatti (eds). Fuego en los ecosistemas argentinos. INTA, Buenos Aires, Argentina.

Eastman, J.R. (2006). IDRISI - A grid based geographic analysis system. Clark University, Graduate School of Geography, Worcester, Massachusetts 01610-1477, USA.

Giglio L., Kendall J.D. & Justice C.O. (1999). Evaluation of global detection algorithms using simulated AVHRR infrared data. International Journal of Remote Sensing 20:1947-1985.

Giglio, L., Van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Collatz, G.J. & Kasibhatla, P.S. (2006). Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. Atmospheric Chemistry and Physics 6:957-974.

Morello J.H. & J. Adámoli (1968) Las Grandes Unidades de Vegetación y Ambiente del Chaco Argentino. Serie Fitogeografía, 10: 1-125p. Segunda parte. INTA, Buenos Aires.

Paginas Web visitadas: www.inpe.br/; www.conae.com.ar

Peña Zubiate C. A., Anderson D. L., Demmi M. A., Saenz J. L. y D´Hiriart A. 1998. Carta de suelos y vegetación de la provincia de San Luis. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, INTA y Gobierno de la provincia de San Luis. 115 pp.

Sanders, B. F., 2007. Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling: Advances in Water Resources, v. 30, p.1831 - 1843.

Verdin, K.L., Godt, J.W., Funk, C., Pedreros, D., Worstell, B., Verdin, J., 2007. Development of a global slope dataset for estimation of landslide occurrence resulting from earthquakes: Colorado: U.S. Geological Survey, Open-File Report 2007-1188, 25 p.