

# *La ocurrencia de incendios según distintos ambientes: análisis mediante sistemas de información geográfica y aplicaciones estadísticas*

Villanueva, S. N.; Serafini, M. C.; Sione, W. F. y  
Filippini, O.S

## **Resumen:**

El territorio argentino, debido a su heterogeneidad geográfica, sufre la ocurrencia de incendios, siendo una de las principales causas de modificación de ambientes. Variables de índole natural y antrópicas inciden sobre este fenómeno. Actualmente, existen numerosos productos satelitales elaborados para cuantificar y representar la ocurrencia de incendios que integran tecnología de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para realizar productos globales, estacionales y anuales de focos de calor a partir de imágenes MODIS. El objetivo general consiste en realizar un análisis comparativo entre un área de la llanura pampeana y otra del Parque Chaqueño para evaluar la probabilidad de ocurrencia de incendios según las variables ambientales, en un periodo de cinco años (2007-2011); en este trabajo se presentan los resultados logrados en el área del Parque Chaqueño. La metodología utilizada se basó en la generación de capas de información de las áreas bajo estudio (vegetación, temperatura, precipitaciones, distancia a las ciudades, etc.) que se interrelacionaron con los puntos de calor, obtenidos en base al producto MOD 14 extraídos del satélite Terra MODIS y AQUA, que se complementó con técnicas de análisis estadístico, basadas en el Modelo Lineal Generalizado. El uso de SIG, las técnicas estadísticas y de teledetección en conjunto contribuyen al análisis sistémico.

## **Abstract:**

The Argentine territory suffers the occurrence of fires due to its geographical heterogeneity and this fact is one of the main causes of environmental changes. Natural and anthropogenic variables have influence on this phenomenon. There are currently many satellite products developed for the quantification and representation of fire

occurrence. These products integrate technology of remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) to make global, seasonal and annual hot spots products from MODIS images. The overall aim is to perform a comparative analysis between an area of the Pampas and an area of Parque Chaqueño over a period of five years (2007-2011) in order to assess the probability of fire occurrence according to environmental variables. We present the results for the area of Parque Chaqueño. The methodology is based on the generation of information layers of the areas under study (vegetation, temperature, rainfall, distance to cities, etc.) These layers were interrelated with the hot spots. The hot spots were obtained on the basis of the MOD 14 product provided by the Terra MODIS and AQUA satellite. Statistical techniques based on the General Linear Model were used. The use of GIS, remote sensing and statistical techniques together contribute to systemic analysis.

---

**Villanueva, S. N.** (solangevillanueva@gmail.com), Universidad Nacional de Luján - Dpto. de Ciencias Básicas PRODITEL. **Serafini, M. C.** (proditel@unlu.edu.ar), Universidad Nacional de Luján - Dpto. de Ciencias Básicas PRODITEL; Sione, W. F., Universidad Nacional de Luján - Dpto. de Ciencias Básicas PRODITEL, Universidad Autónoma de Entre Ríos CEREGEO; **Filippini, O.S.**, (filippin@agro.uba.ar), Universidad Nacional de Luján – Dpto. de Ciencias Básicas División Estadística.

## 1. INTRODUCCIÓN

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 las anomalías 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 emisor e infrarrojo lejano. De acuerdo a las temperaturas que alcanzan los incendios (entre 300 °C y 1500 °C, 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 es realizar un análisis comparativo entre un área de la llanura pampeana y otra del Parque Chaqueño para evaluar la probabilidad de ocurrencia de incendios según las variables ambientales, en un periodo de cinco años (2007-2011). En este trabajo se presenta la metodología de análisis para el área del Parque Chaqueño. Identificando a nivel regional las relaciones entre variables ambientales que inciden en el sistema de la región del Parque Chaqueño.

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 y se complementó el análisis con un paquete estadístico habilitado para llevar a cabo análisis de variables: Modelo Lineal Generalizado.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Se encuentra ubicada en el Norte de Santa Fe, Sur Oeste de Chaco y Noroeste de Santiago del Estero, pertenece a la Región Chaqueña argentina (Cabrera, A., 1976). Localizada entre las coordenadas: 26° 49' 49" S - 28° 22' 54" S y 61° 31' 29" y 61° 53' 37" O (Figura 1).

El Chaco Seco, en su mayor parte, es una vasta llanura sedimentaria, modelada esencialmente por la acción de los ríos que la atraviesan en sentido Noroeste-Sudeste, principalmente el Juramento-Salado, el Bermejo y el Pilcomayo. Contiene diversidad faunística, aunque muchos de sus componentes han sufrido una fuerte reducción en sus poblaciones, provocada por la intervención antrópica.

El Chaco Oriental o Húmedo, con algunas diferencias en cuanto a su delimitación abarca la mitad oriental de Formosa y Chaco, el extremo Noroeste de Corrientes y el Norte de Santa Fe. Incluye la porción húmeda de las cuencas de los ríos Pilcomayo y Bermejo, los Esteros, Cañadas y Selvas de Ribera y el Alto Agrícola Chaco Formoseño, estos dos últimos dentro de la Provincia del Chaco (Morello, J.; Adámoli, J., 1968). Posee dos gradientes: térmico y de precipitaciones, el primero, decreciente en sentido Norte Sur y el segundo decreciente en sentido oeste este, que condicionan la aparente uniformidad de la zona, que se manifiesta en diversidad en cuanto a: disponibilidad de agua del sistema hídrico superficial y subterráneo, diversificación de los suelos y en la vegetación: bosque cerrado, un paisaje abierto de parques y sabanas y un horizonte de esteros y bañados enmarcados por selvas en galería. La condición climática subtropical húmedo (Bruniard, E., 1987) implica temperaturas media anuales desde los 23° al norte hasta los 18° al sur de la región. Las lluvias son abundantes con dos picos estacionales (otoño y verano) y un balance hídrico positivo. La vegetación, con la presencia de bosques fluviales, áreas deprimidas con amplio dominio de vegetación herbácea, muchas veces compartidas con especies de palma en fisonomías de tipo sabánica, presenta la mayor diversidad del Parque Chaqueño. Las pulsaciones debidas a las inundaciones y el fuego son una importante característica de las áreas más deprimidas.

Figura 1. Ubicación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales empleados fueron: datos climáticos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN); imágenes satelitales del Landsat V (área I: Path Row 228-079), obtenidas de la página del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) y datos catastrales del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

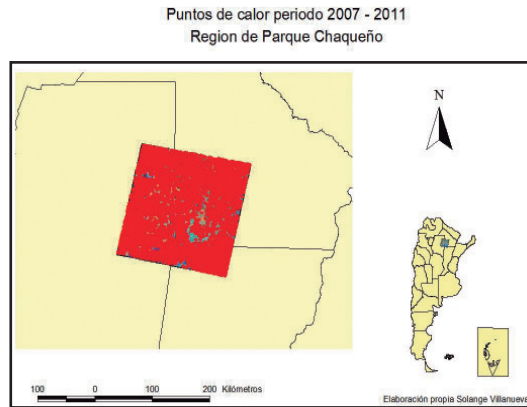
Por otro lado, los datos históricos de puntos de calor fueron obtenidos a partir de la descarga de los productos MOD 14 (producto de anomalías térmicas) del satélite Terra MODIS y AQUA de la página web de la NASA (Tabla 1).

Tabla 1. Variables de análisis y fuente de datos

Variable	Tipo	Fuentes	Resolución Espacial (m)
Anomalías Térmicas	Puntos de calor	NASA	1000
Biomasa	Vegetación	Globcover (2005)	250
Temperatura	Clima	SMN	.....
Precipitaciones	Clima	SMN	.....
Distancia a las ciudades	Antrópica	IGN (2005)	250
Distancia a las rutas	Antrópica	IGN (2005)	250

Las series de puntos de calor fueron re proyectadas para el análisis de datos en un Sistema de Información Geográfica los cuales fueron interrelacionados al área de interés (Figura 2).

Figura 2. Serie de puntos de calor 2007 – 2011



Fuente: Elaboración propia

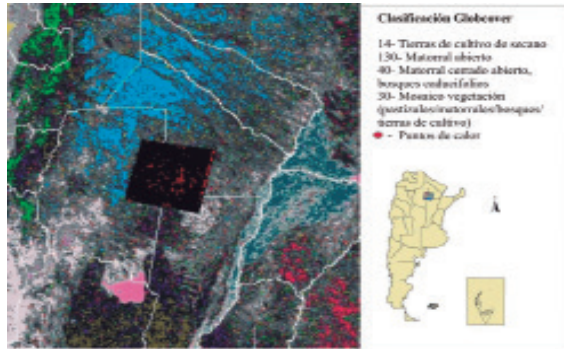
El fenómeno de incendios está relacionado con diversas variables sistemáticas (características del combustible vegetal, temperatura y humedad relativa del aire, vientos, exposición, pendiente, etc.) que inciden en la dinámica de ocurrencia de incendios, considerando esto se llevaron a cabo los siguientes pasos:

### Análisis del tipo de cobertura vegetal

Con la finalidad de identificar el tipo de vegetación asociada con los puntos de calor en cada área, se realizó la integración de la serie de puntos de calor con la

cobertura vegetal Globcover (Figura 3).

Figura 3. Integración de datos. Cobertura vegetal y puntos de calor. Área II



Fuente: Elaboración propia

## Análisis de las actividades antrópicas

El fenómeno de incendios está relacionado con las actividades antrópicas, debido a esta relación se consideraron las variables: distancia al área de influencia de caminos y poblados, consideradas como posibles variables de origen de conflictos.

La cobertura de distancias, mide la distancia Euclidiana (distancia más cercana entre dos puntos) de cada unidad de análisis a la variable analizada.

A partir del Sistema de Información Geográfica del Instituto Geográfico Nacional del año 2005 con la cobertura de puntos de calor, se generó el mapa de distancia al área de influencia de los centros poblados y caminos (Figura 4).

## Serie histórica de puntos de calor

Con el objetivo de ampliar el análisis de los datos de anomalías térmicas detectadas satelitalmente en ambas zonas, se relevó la detección de los puntos mensual y estacional durante 10 años. Se observó la distribución espacial de las anomalías térmicas, registrando periodos de menor y mayor densidad de puntos sobre la superficie terrestre. Dicha observación dio origen al planteo del análisis estadístico de los datos:



## Variables climáticas

Se relevaron las variables climáticas de temperatura y precipitación, en base al informe del SMN, con la finalidad de analizar la correlación entre estas variables y las anomalías térmicas. Se complementó la metodología con métodos estadísticos exploratorios e inferenciales. Aplicando un Modelo Lineal Generalizado (Cayuela, L. 2009), para la variable puntos de calor como variable respuesta, considerada de conteo, adoptando por lo tanto una distribución Poisson para esta variable y una función de enlace logarítmica. Se empleó el paquete estadístico SPSS (Statistical Product and Service Solutions) versión 15.

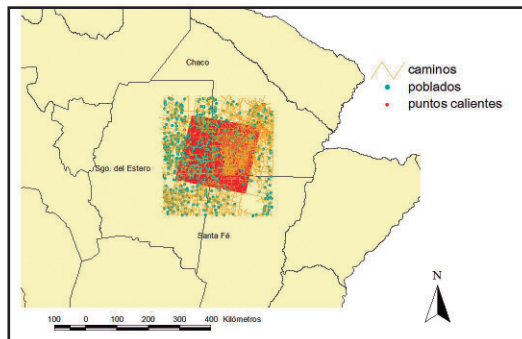
## 4. RESULTADOS

### Procesamiento digital

De acuerdo a la clasificación del Globcover, la concentración de puntos de calor en el área I, estaría asociada con las siguientes categorías: 14) Tierras de cultivo de secano, 130) Matorral abierto, 50) Matorral cerrado, 40) Matorral cerrado a abierto (mayor 15 %), bosques caducifolios de hoja ancha (mayor a 5m), 30) Mosaico vegetación (pastizales / matorrales / bosques) (50 - 70%) / tierras de cultivo (20-50%) (Figuras 3).

A partir del mapa de distancias se registró la relación entre la influencia antrópica y la localización de puntos de calor registrados en el área. La distancia más cercana hallada entre un punto de calor, caminos y poblados fue de 100 m (Figura 4).

Figura 4. Integración de datos: Relación de caminos y poblados con puntos calientes



Fuente: Elaboración propia

## Procesamiento estadístico de los datos

A partir de la base de datos generada, teniendo en cuenta la relación existente entre las variables consideradas: puntos de calor (variable dependiente); temperatura, precipitaciones, distancia a caminos y poblados (variables independientes), en el periodo de cinco años, lo que se traduce en un total 60 casos de posibles relaciones entre variables; los resultados evidenciaron que del total de casos analizados un 98.3% ha quedado incluido mientras que un 1.7% excluido por presentar datos faltantes en algunas de las variables incluidas. En la Tabla 2 se muestran los resultados:

Tabla 2: Resumen del procesamiento de los casos

	N	Porcentaje
Incluido	59	98,3%
Excluido	1	1,7%
Total	60	100,0%

En la tabla 3 se observa la distribución de cada una de las variables. La variable dependiente “puntos calientes” tiene 59 casos y presenta alta variabilidad relativa. Mientras que las dos covariables temperatura y distancia a caminos tienen un coeficiente de variación pequeño, lo que indicaría que presentan una muestra homogénea y con alta representatividad de los valores medios de temperatura y distancia: (Coeficiente Variación (%) Temperatura=24.00; y Coeficiente Variación (%) Distancia= 0.23.)

Tabla 3: Información de variable continua

		N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Variable dependiente	Puntos calientes	59	0	76	12,54	17,887
Covariable	Temperatura	59	11	28	20,92	5,023
	Distancia Caminos	59	739,9	2827,2	1541,253	357,0200

Tabla 4: Bondad de ajuste(b)

	Valor	gl	Valor/gl
Desviianza	934,115	56	16,681
Desviianza escalada	934,115	56	
Chi-cuadrado de Pearson	1154,379	56	20,614
Chi-cuadrado de Pearson escalado	1154,379	56	
Log verosimilitud(a)	-567,396		
Criterio de información de Akaike (AIC)	1140,792		
AIC corregido para muestras finitas (AICC)	1141,228		
Criterio de información bayesiano (BIC)	1147,025		
AIC consistente (CAIC)	1150,025		

Variable dependiente: Puntos calientes

Modelo: (Intersección), Temperatura, DistanciaCaminos

a La función de log-verosimilitud completa se muestra y se utiliza para calcular los criterios de información.

El contraste para la devianza es el test para contrastar el modelo que se toma frente a la alternativa del modelo saturado. La devianza expresa una aproximación de la variabilidad de los datos. Por ello, para obtener una medida de la variabilidad explicada por el modelo, se requiere comparar la devianza del modelo nulo (Null deviance) con la devianza residual (Residual deviance), esto es, una medida de cuanto de la variabilidad de la variable respuesta no es explicado por el modelo.

La Devianza toma valor cuando se la compara con otro modelo, en este caso podemos decir que el valor 934.115 veces explica la diferencia entre el “máximo likelihood” obtenible y el “maximum likelihood” retenido por el modelo.

La Chi cuadrado de Pearson es la clásica medida de asociación lineal conocida. Ambas medidas de asociación (Devianza y Chi cuadrado de Pearson) tienen una razón entre su valor y sus grados de libertad aproximado, en este caso, 56. Dicho valor es mayor que 1 indicando un adecuado ajuste.

El Criterio de Información de Akaike es otra medida que indica el ajuste del modelo, la idea es la de imponer una penalización por añadir regresores (variables predictoras) al modelo. Al comparar dos o más modelos, se preferirá el que tenga el menor Criterio de Información de Akaike.

Tabla 5: Contraste Omnibus(a)

Chi-cuadrado de la razón de verosimilitudes	gl	Sig.
218,994	2	,000

Gl: Grados de libertad.

Sig: Significancia

La tabla 5 y 6 muestra El Contraste Ómnibus, compara el modelo ajustado con el modelo conformado con solo la intersección. Se observa que la prueba es rechazada por lo cual es posible afirmar que el modelo es estadísticamente significativo ( $P < 0.01$ ), es decir, al menos uno de los coeficientes calculados para el modelo es estadísticamente significativo.

Tabla 6: Contrastes de los efectos del modelo

	Tipo III		
	Chi-cuadrado de Wald	gl	Sig.
Origen			
(Intersección)	699,023	1	,000
Temperatura	155,498	1	,000
DistanciaCaminos	59,765	1	,000

Variable dependiente: Puntos calientes

Modelo: (Intersección), Temperatura, Distancia Caminos

Tabla 7: Estimaciones de los parámetros

Parámetro	B	Error típico	Intervalo de confianza de Wald 95%		Contraste de hipótesis		
			Inferior	Superior	Sig.	Inferior	Superior
			Chi-cuadrado de Wald	gl			
(Intersección)	5,618	,2125	5,202	6,034	699,023	1	,000
Temperatura	-,090	,0072	-,104	-,075	155,498	1	,000
Distancia Caminos (Escala)	-,001	,0001	-,001	-,001	59,765	1	,000

B: Indica las estimaciones de los coeficientes del modelo

Variable dependiente: Puntos calientes

Modelo: (Intersección), Temperatura, DistanciaCaminos

En la Tabla 7 se observa que los coeficientes que acompañan a las 2 variables utilizadas son estadísticamente significativos, siendo considerado para el futuro la inclusión de otras variables como tipo de material combustible, pendiente y otras variables climáticas que podrían interactuar con la variable temperatura.

La interpretación de los resultados, cuando consideramos “distancia a los caminos”, resultó ambientalmente significativo; dado que el coeficiente que acompaña a esta variable es negativo, es decir, existe una relación inversa entre la variable puntos de calor y distancia a caminos. Dicha relación significa que a medida que aumenta la distancia a caminos disminuirán la cantidad de puntos de calor, esta relación podría corresponderse con las actividades antrópicas en el área que probablemente aumentan la probabilidad de ocurrencia de incendios.

## 6. CONCLUSIÓN

La integración de la información permitió evaluar la serie de puntos de calor y la influencia que ejercen las variables ambientales en la dinámica de estas anomalías térmicas que deben ser complementadas con el trabajo de campo, el cual permitirá definir la relación que existe entre los puntos de calor y la ocurrencia de incendios.

La intersección de la cobertura vegetal y los puntos de calor aportaron información sobre las características del área; para obtener mejor nivel de detalle se recomienda la inclusión de un mapa de cobertura vegetal a escala de mayor detalle.

Mediante el análisis estadístico se logró observar la importancia que tiene la variable antrópica, esto podría indicar que en esta área, además de las condiciones ambientales ejercen una alta presión las actividades antrópicas que inciden en la dinámica de incendios en la Región Chaqueña Argentina.

Los resultados señalan la necesidad de extender el estudio incluyendo otras variables, como contenido de humedad, velocidad del viento, índices de vegetación, etc., que pueden influir sobre la ocurrencia de los incendios, así como también extender el estudio a otras regiones para obtener un análisis comparativo y detectar las áreas de mayor riesgo de acuerdo a sus características ambientales.

## REFERENCIAS

- Bruniard, E. D y 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 y 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. y 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/](http://www.inpe.br/); [www.conae.com.ar](http://www.conae.com.ar)