

Evaluación de peligro de incendios. Informes técnicos

Análisis preliminar de focos de calor MODIS con componentes del FWI en el norte de Argentina

Descripción de la imagen en la portada:
Imagen satelital: MODIS Aqua
Fecha de captura: 19 de septiembre de 2014
Resolución espacial: 250 m
Bandas RGB: 7/2/1
Focos de calor MODIS Terra/Aqua

Autor: Gabriel Zacconi
Servicio Nacional de Manejo del Fuego (SNMF)
Ruta 259 km 4. Esquel, provincia de Chubut
gzacconi@ambiente.gob.ar
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (MAyDS)

Evaluación de peligro de incendios

Informes técnicos

Informe Técnico N° 12

Análisis preliminar de focos de calor MODIS con componentes del FWI en el norte de Argentina

Gabriel Zacconi¹

1. Coordinación Técnica. Servicio Nacional de Manejo del Fuego
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación
Ruta 259 km 4. Esquel (9200). Pcia. de Chubut.

Esquel, Chubut, Argentina

ISSN 2313-9420

Marzo 2018

**Programa Nacional de Evaluación
de Peligro de Incendios y Alerta Temprana**

**Coordinación de Análisis de Riesgo Ambiental
Secretaría de Cambio Climático y Desarrollo Sustentable
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación**



Contenido

1. Introducción	2
2. Materiales y Métodos	
2.1. Área de estudio	5
2.2. Materiales	6
2.3. Métodos	6
3. Resultados	7
4. Conclusiones	12
5. Bibliografía	13

1. INTRODUCCIÓN

En Argentina se registraron entre el año 2000 y 2013 en promedio 113.660 incendios, que afectaron más de 18 millones de hectáreas de bosque nativo, pastizales, arbustales y bosques cultivados**. Dichas ocurrencias constituyeron disturbios muy importantes para los ecosistemas y de influencia determinante en aspectos económicos, sociales y ecológicos (Medina, 2003).

Más precisamente en la región norte del Sistema Federal de Manejo del Fuego (SFMF), que comprende las provincias de Formosa, Chaco, Santiago del Estero y Santa Fe, la ocurrencia de incendios es muy alta, registrándose un importante incremento los últimos años, principalmente en el período seco (figura 1), entre los meses de junio a octubre.

El hombre emplea el fuego como herramienta para producir cambios en el ecosistema desde tiempos remotos (Schüle, 1990). En la región chaqueña, el fuego era utilizado para controlar plantas leñosas y eliminar tejido vegetal muerto y seco, promoviendo el rebrote de los pastos. Actualmente se utiliza para eliminar residuos leñosos luego de tratamientos mecánicos como los rolados (Kunst et al., 2003).

El Sistema Federal de Manejo del Fuego (SFMF) es el organismo encargado de abordar la problemática de incendios forestales y rurales en nuestro país. Es el responsable de la implementación de un Sistema de Evaluación de Peligro de Incendios (SNEPI) basado en el Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS). En una primera etapa, aplicó el subsistema "Índice Meteorológico de Peligro de Incendios", en inglés Fire Weather Index (FWI) (Van Wagner, 1987). Este subsistema cuenta con una serie de códigos e índices que representan el contenido de humedad de los combustibles vegetales y variables de comportamiento del fuego respectivamente, de manera de comparar entre distintas regiones el comportamiento probable de un incendio independientemente de la topografía y el tipo de combustible que se consume (McAlpine et al. 1990). El código de humedad de los combustibles finos (FFMC) representa el contenido de humedad de la hojarasca y otros combustibles finos muertos. Los valores que alcanza este código varían entre 0 y 101 y es indicador de la facilidad de ignición por fuentes antrópicas; un valor igual o mayor a 90 indica alta probabilidad de focos secundarios y de 94 incendios con comportamiento extremo. A su vez, el FWI está compuesto por el código de mantillo (DMC) y el código de sequía (DC), que reflejan el contenido de humedad de los combustibles muertos medios y gruesos respectivamente (Van Wagner, 1987).

Además, el FWI cuenta con tres indicadores y dos intermedios denominados índice de propagación inicial (ISI) e índice de carga disponible (BUI). El ISI representa la velocidad de propagación del fuego mientras que el BUI indica la cantidad total de combustible disponible. Por último el índice final (FWI), que indica la intensidad del fuego. Cabe destacar que estos seis indicadores son adimensionales.

Los valores de los códigos e índices que componen el FWI son calculados diariamente mediante datos de variables meteorológicas registrados en una red de es-

**Fuente: Estadística de incendios forestales, Ex SAyDS, actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (MAyDS).

taciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Estos cálculos se utilizan para el día, 24 h, 48 h y 72 h subsiguientes. Para poder asignar el grado de peligro de incendios de un área determinada se utilizan ciertos rangos de la escala del FWI (Van Wagner, 1987; Owen, 1979 y Lawson, 1972). El SNMF obtiene estas categorías dividiendo en rangos de percentiles a la escala de valores calculados del FWI para una estación meteorológica determinada. De este modo se obtienen las cinco clases de peligro de incendios, "bajo, moderado, alto, muy alto y extremo".

Dado que las clases de peligro mencionadas son definidas en base a datos exclusivamente climáticos, en cada región se efectúan estudios para verificarlas en relación a las características de comportamiento de los fuegos asociados a las diferentes clases de peligro y a los valores de los códigos e índices que componen el FWI, para lo cual se requiere contar con registros históricos de incendios.

La utilización de técnicas de teledetección espacial aplicadas al estudio de los incendios forestales es una temática iniciada hace varios años, que permitió ir ampliando el espectro de estudios a medida que nuevos sensores fueron incorporados a la observación de la Tierra. Entre esos estudios podemos citar: cartografía de áreas quemadas y detección de focos de calor, entre otros (Calle y Casanova, 2009).

Los productos de focos activos de Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), se encuentran dentro de la gama de productos satelitales terrestres que proporcionan información sobre los incendios que arden activamente, incluyendo su ubicación y momento (Justice, Giglio et al., 2002; Kaufman, Justice et al., 1998). Los focos de calor del sensor MODIS se han utilizado extensamente como semejanza a la ocurrencia de fuego, en especial en aquellos territorios donde las estadísticas de incendios no están disponibles o son muy precarias (Chuvieco, 2012).

Debido a los insucientes registros de incendios en la región norte del SFMF con la información necesaria como para ajustar los códigos e índices que componen el FWI, el objeto de estudio de este trabajo es relacionar la ocurrencia de focos de calor MODIS con el código FFMC, por ser un indicador de facilidad de ignición, y con el índice FWI, representativo de la intensidad lineal del fuego, con el fin de verificar la existencia de rangos de estos indicadores en los que se produce mayor cantidad de focos o focos de mayor intensidad. Esta información permitirá anticipar períodos de mayor intensidad de fuego de acuerdo con los valores de los índices pronosticados.

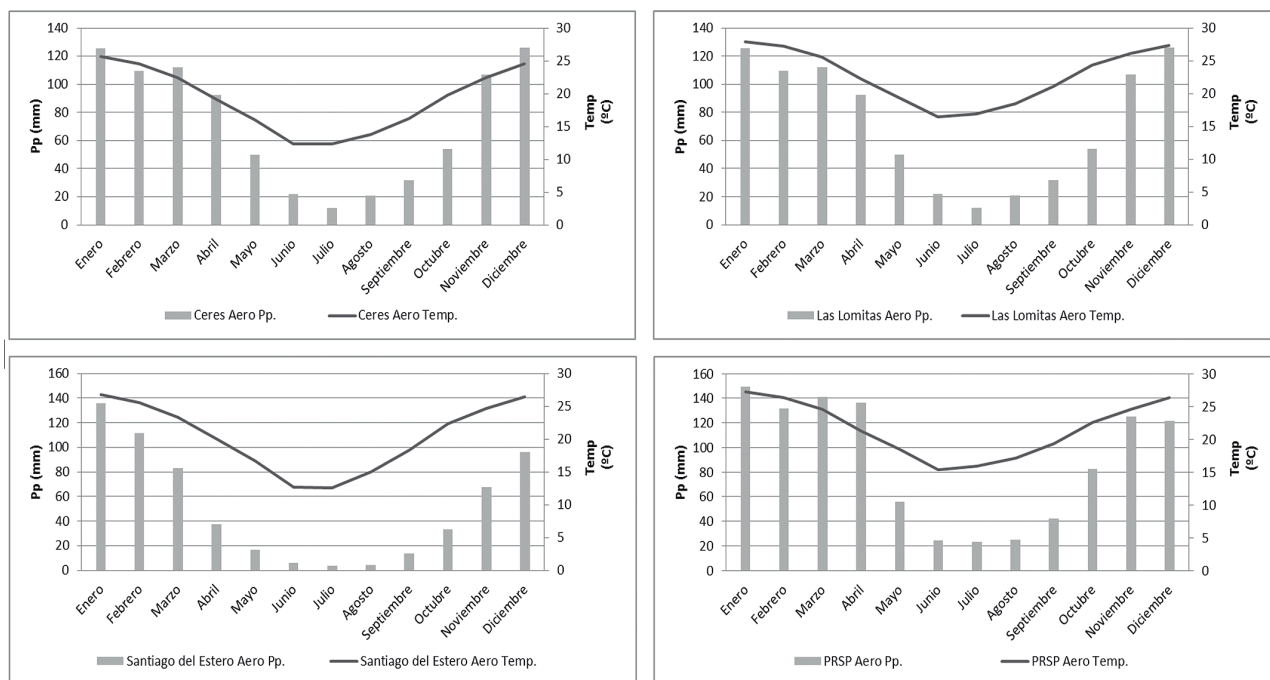


Figura 1: climodiagramas de las estaciones meteorológicas de Ceres Aero (Pcia. de Santa Fe), Las Lomitas Aero (Pcia. de Formosa), Santiago del Estero Aero (Pcia. de Santiago del Estero) y Presidencia Roque Sáenz Peña Aero (Pcia. de Chaco). Valores medios del período 1961 - 1990, registrados por el Servicio Meteorológico Nacional. Elaboración propia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El área de estudio se localiza en la región chaqueña de Argentina, que comprende las provincias de Formosa, Chaco, Santiago del Estero y Santa Fe (figura 2), donde en los últimos años se ha incrementado el número de incendios registrados (tabla 1).

Debido a que los códigos e índices del FWI se calculan mediante estaciones meteorológicas y cada estación tiene un área representativa de sus registros, este trabajo se enmarca en las estaciones meteorológicas de las Lomitas Aero (LL) en Formosa; Presidencia Roque Sáenz Peña Aero (PRSP) en Chaco; Santiago del Estero Aero (SE), en Santiago del Estero; y Ceres Aero (Ce), Santa Fe; pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN). El área representativa de cada una comprende 50 km de radio, sector que fue utilizado como límite para incorporar los focos de calor activos detectados.

Figura 2: área de estudio, regional norte. Elaboración propia.

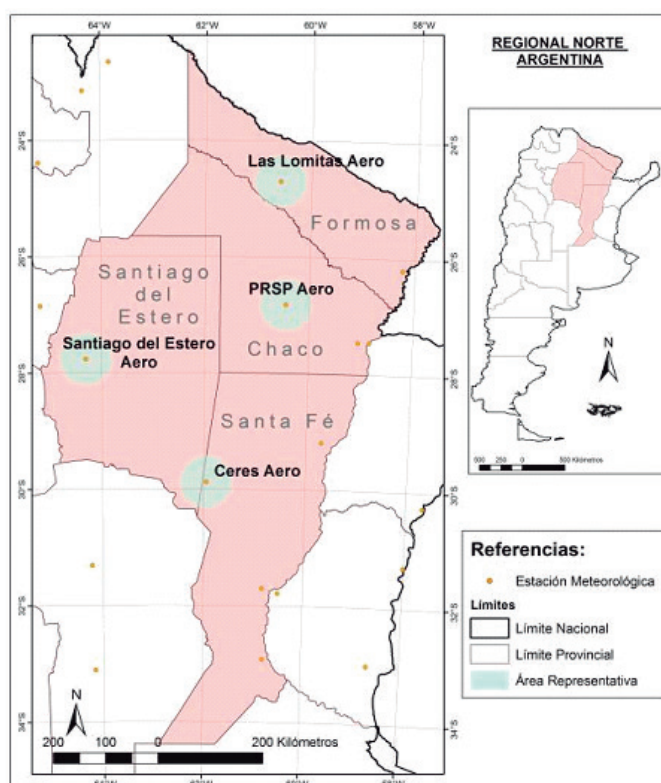


Tabla 1: cantidad de incendios por regional desde el año 2007 al año 2012. Fuente: Estadística de Incendios Forestales. ex SAyDS, actual MAyDS.

Año	Norte	Patagonia	Pampeana	NEA	NOA	Centro	Total
2007	1295	1931	5431	56	1582	758	11053
2008	1915	2285	10499	1335	1246	458	17738
2009	999	2146	3125	359	2988	723	10340
2010	1410	1773	1732	692	1326	593	7526
2011	2411	1491	1342	152	609	745	6750
2012	2327	1005	314	511	808	642	5607

2.2. Materiales

Los datos de focos de calor utilizados en este trabajo son derivados del sensor MODIS montado en los satélites Terra (EOS AM) y Aqua (EOS PM), lanzados al espacio en febrero del año 2000 y junio del año 2002 respectivamente, como parte del Earth Observing System (EOS) (Kaufman, Herring, Ranson y Collatz, 1998; Masuoka, Fleig, Wolfe y Patt, 1998). Los datos obtenidos comprenden el período 2003-2012, obtenidos del servidor Fire Information for Resource Management System (FIRMS).

<http://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/rms>.

Un foco de calor hace referencia a un incendio potencial detectado mediante un algoritmo que utiliza la radiación emitida por el fuego en el rango del infrarrojo medio del espectro electromagnético. El algoritmo examina cada pixel del sector de barrido del sensor y le asigna a cada uno una de las clases: dato perdido, agua, nube, fuego, no fuego o desconocido.

Estos datos corresponden al producto MOD14 (versión 5) y se descargan en formato shapefile con coordenadas geográficas World Geodetic System (WGS 84). Para cada foco detectado se asigna un valor de confianza comprendido entre 0 y 100%, y se establecieron tres clases: baja, nominal y alta. Los usuarios que requieren menores falsas alarmas cuya confianza es baja, pueden considerar la clase nominal alta (Giglio, 2010).

Para el análisis de correlación se contemplaron los meses de junio a octubre de cada año, período que coincide con la mayor ocurrencia de incendios en la regional norte (temporada de fuego).

Los registros de códigos e índices del FWI fueron obtenidos de la Oficina de Coordinación Técnica del SNMF, desde el año 2003 al 2012 para las estaciones mencionadas, exceptuando Las Lomitas Aero, que no posee datos desde el año 2004 hasta el 2010 inclusive. Dichos registros son calculados con los datos meteorológicos de, temperatura (°C), humedad relativa (%), precipitaciones (mm), velocidad del viento (km/h), a las 12 horas (hora local) de las 4 estaciones antes mencionadas del SMN.

2.3. Métodos

Los focos detectados MODIS, ubicados dentro del radio de 50 km de cada estación, fueron incluidos en el análisis y la confianza de los mismos debía superar el 50%, caso contrario se registraba como día sin foco.

El análisis de ocurrencia se basa en contabilizar los focos por estación, por año y en los meses de temporada de incendios. Además, se dividió el FFMCI en clases cada 2 unidades y el FWI en las clases de peligro "bajo, moderado, alto, muy alto y extremo" para visualizar con mayor apreciación la distribución de los focos que se presentan.

3. RESULTADOS

A lo largo de las temporadas 2003-2012, la estación meteorológica que más focos detectados registró fue LL con 7521 y en segundo lugar PRSP con 6686 (tabla 2). Los meses con mayor ocurrencia de focos de calor detectados fue en septiembre para Ce con 706 focos, 3354 en LL y 1855 en SE y en agosto para PRSP con 2460 (tabla 3).

Tabla 2: número de focos de calor por temporada (junio-octubre), en las estaciones Ceres Aero; Las Lomitas Aero; Santiago del Estero Aero y Pres. Roque Sáenz Peña Aero. Área representativa de 50 km de radio. Fuente: FIRMS.

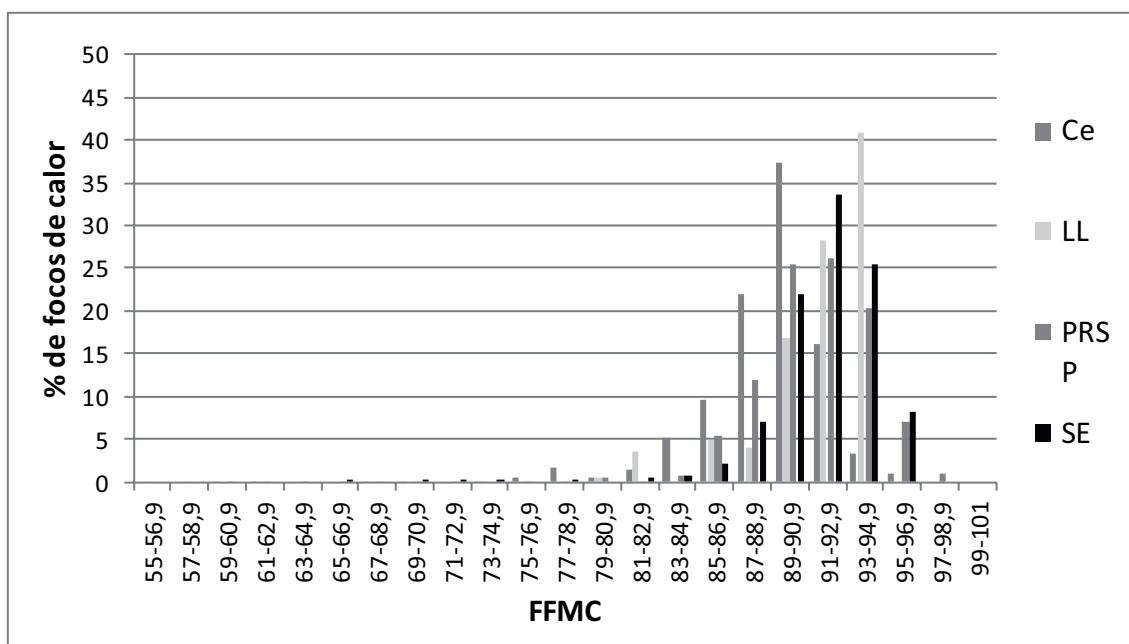
Temporadas	Nº de focos de calor			
	Ceres Aero	Las Lomitas Aero	Santiago del Estero Aero	PRSP Aero
Año 2003	207	259	816	1126
Año 2004	378	249	564	906
Año 2008	310	769	693	1124
Año 2009	88	1007	507	825
Año 2010	267	677	394	247
Año 2011	145	1643	827	457
Año 2012	288	1365	342	230
Total	2239	7251	5613	6686

Tabla 3: número de focos de calor por mes de la temporada, período 2003 - 2012. Fuente: FIRMS.

Temporada (2003 - 2012)	Nº de focos de calor			
	Ceres Aero	Las Lomitas Aero	Santiago del Estero Aero	PRSP Aero
Junio	162	32	115	239
Julio	312	250	758	1509
Agosto	699	2146	1814	2460
Septiembre	716	3354	1855	2035
Octubre	350	1469	1071	443
Total	2239	7251	5613	6686

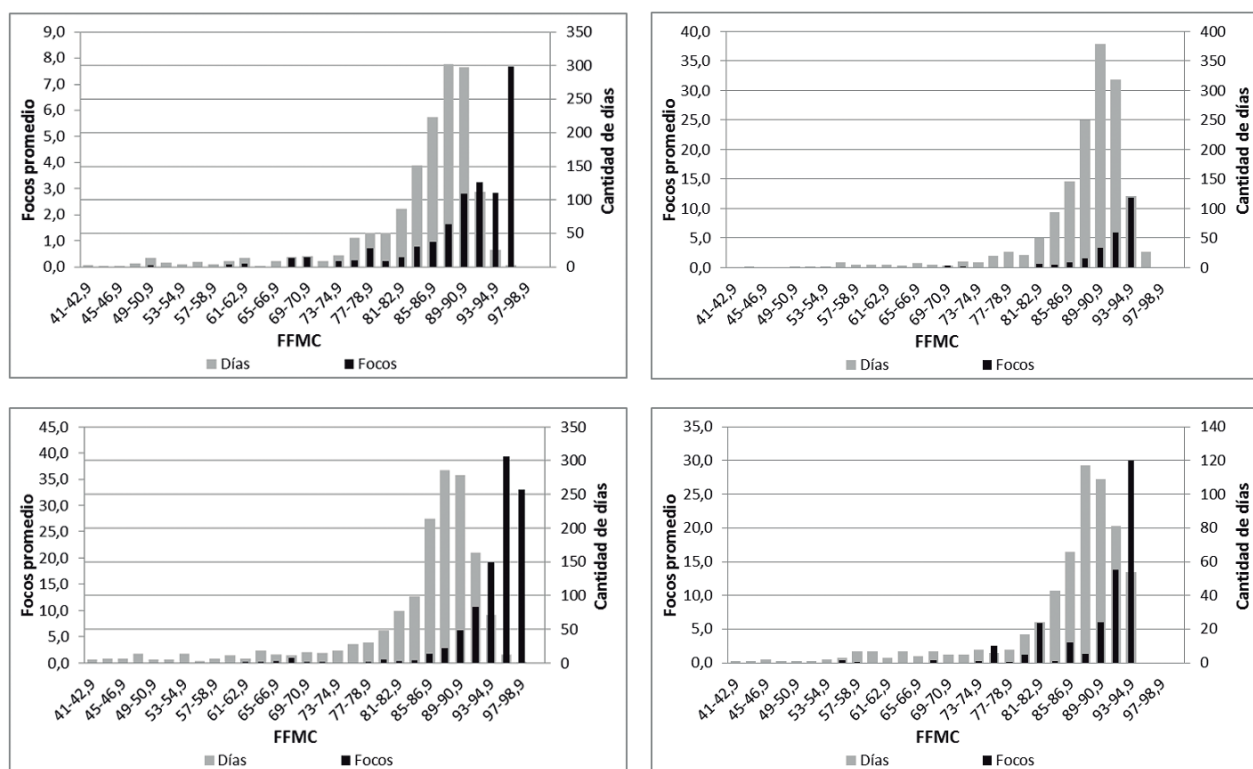
A partir de valores de FPMC de 87 comienza a incrementarse significativamente el porcentaje de focos en todas las estaciones. Se encontró un máximo de 41 % del total de focos de calor en la clase de 93-94,9 en LL; 34 % en la clase 91-92,9 en SE; 27 % también en la clase 91-92,9 en PRSP y 38 % en 89-90,9 en Ce (figura 3).

Figura 3: porcentajes de focos de calor por clases de FFM. Período 2003 - 2012 para las estaciones Ceres Aero, Santiago del Estero Aero y PRSP Aero; 2003 y 2010 - 2012 Las Lomitas Aero. Fuente: FIRMS y SNMF.



En cuanto a la cantidad de días en función del FFM, se presentan máximos en el rango de 87-88,9 de 117, 286 y 302 días para las estaciones de LL, PRSP y Ce respectivamente. Mientras que SE registra un máximo de 378 días con FFM de 89-90,9. Por lo tanto, el número máximo de focos ocurridos por clase y por día es de 30 y 12 focos para LL y SE respectivamente en la clase de 93-94,9; 39 focos en la clase 95-96,9 para PRSP y 8 focos en la clase 93-94,9 para Ce (figura 4).

Figura 4: cantidad de focos de calor en promedio y cantidad de días por clases de FFM. Período 2003 - 2012 para las estaciones Ceres Aero (arriba izquierda), PRSP Aero (abajo izquierda) y Santiago del Estero Aero (arriba derecha); 2003 y 2010 - 2012 Las Lomitas Aero (abajo derecha). Fuente: FIRMS y SNMF.



El número de focos de calor relacionado con las clases de peligro de incendios del subsistema canadiense FWI "bajo, moderado, alto, muy alto y extremo", muestra una relación creciente en todas las estaciones mencionadas, exceptuando en LL, la cual refleja mayor cantidad de focos en la clase "muy alto" con un 64 % de focos, mientras que la clase de peligro "extremo" posee 19 % (figura 5). La cantidad de focos esperados en promedio por día y por clase de peligro muestra una clara relación ascendente donde los máximos valores acurren en la clase extremo. Para la estación Ce fue, de 3 focos promedio; LL 19; PRSP 14 y SE 10 focos promedio (figura 6).

Los gráficos de dispersión de número de focos y FFMCI en todos los casos presentados (figura 7), denotan una curva exponencial con una gran variabilidad de la cantidad de focos en valores aproximados de FFMCI de 85.

Los gráficos de focos de calor y FWI marcan una gran dispersión de la nube de puntos principalmente en LL y Ce (figura 8).

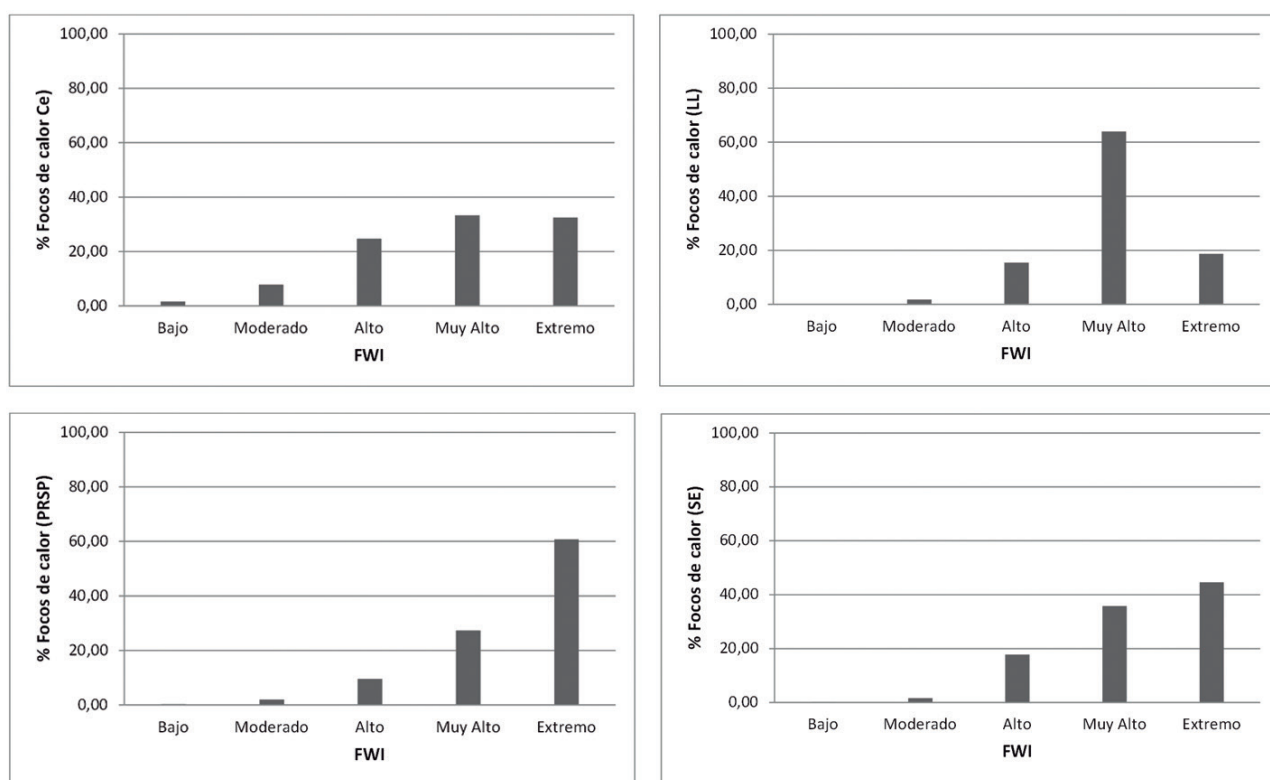


Figura 5: porcentajes de focos de calor por clases de peligro "FWI" (extremo; muy alto; alto; moderado y bajo). Período 2003 - 2012 para las estaciones Ceres Aero, Santiago del Estero Aero y PRSP Aero; 2003 y 2010 - 2012 Las Lomitas Aero. Fuente: FIRMS y SNMF.

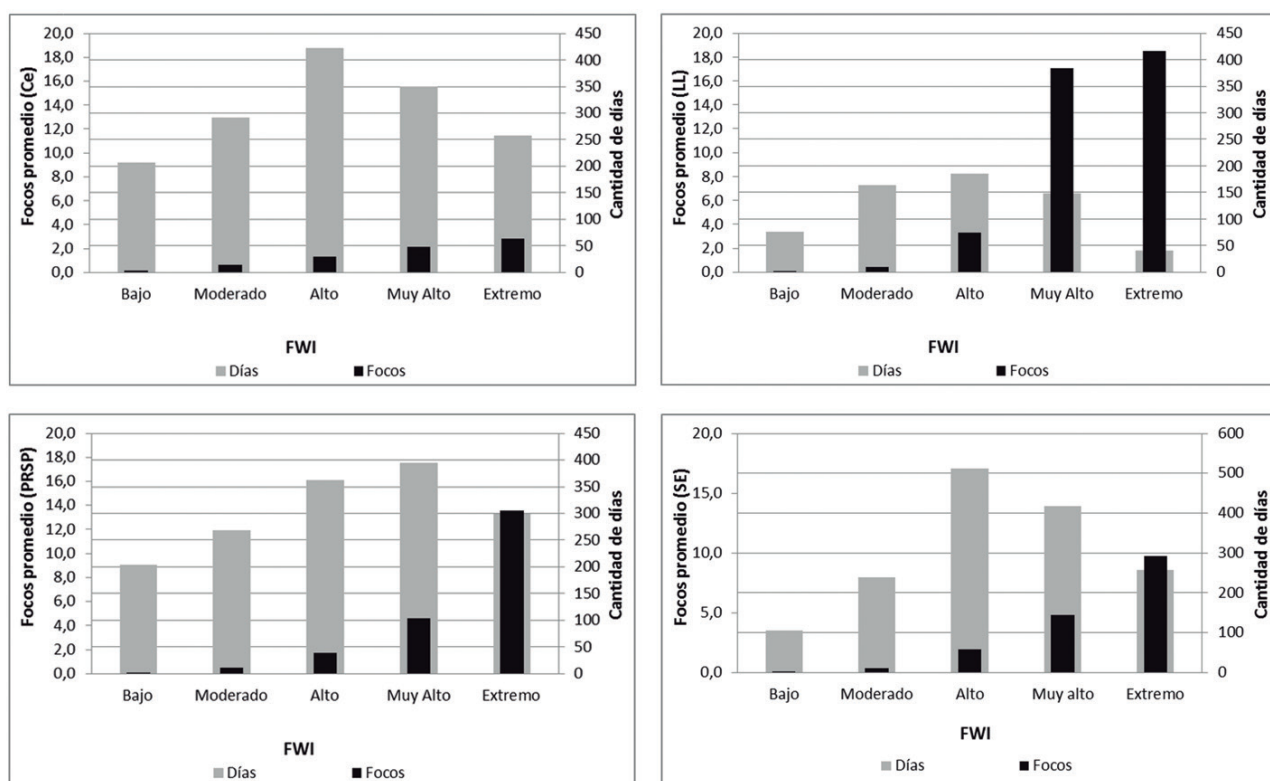


Figura 6: cantidad de focos de calor promedio por clases de peligro "FWI" (extremo; muy alto; alto; moderado y bajo). Período 2003 - 2012 para las estaciones Ceres Aero, Santiago del Estero Aero y PRSP Aero; 2003 y 2010 - 2012 Las Lomitas Aero. Fuente: FIRMS y SNMF.

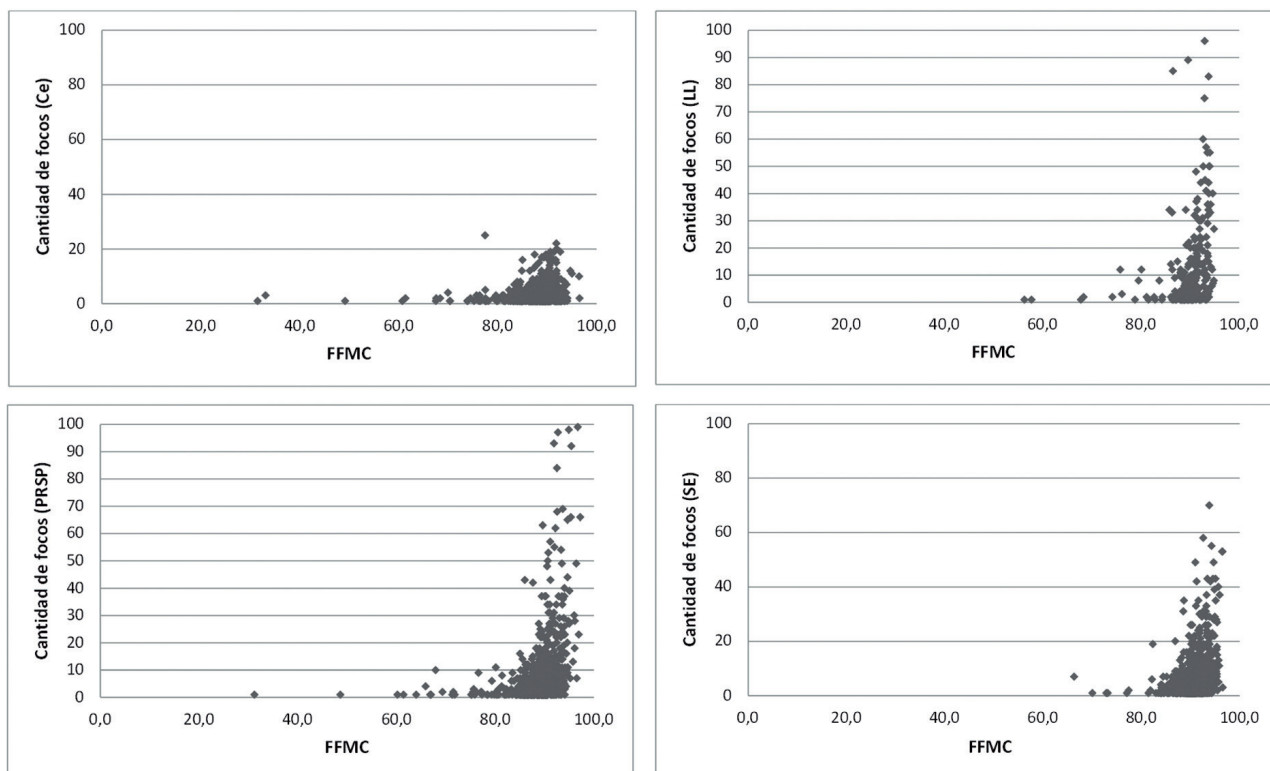


Figura 7: gráficos de dispersión de puntos, número de focos de calor y FFMC. Período 2003 - 2012 para las estaciones Ceres Aero, Santiago del Estero Aero y PRSP Aero; 2003 y 2010 - 2012 Las Lomitas Aero. Fuente: FIRMS y SFMF.

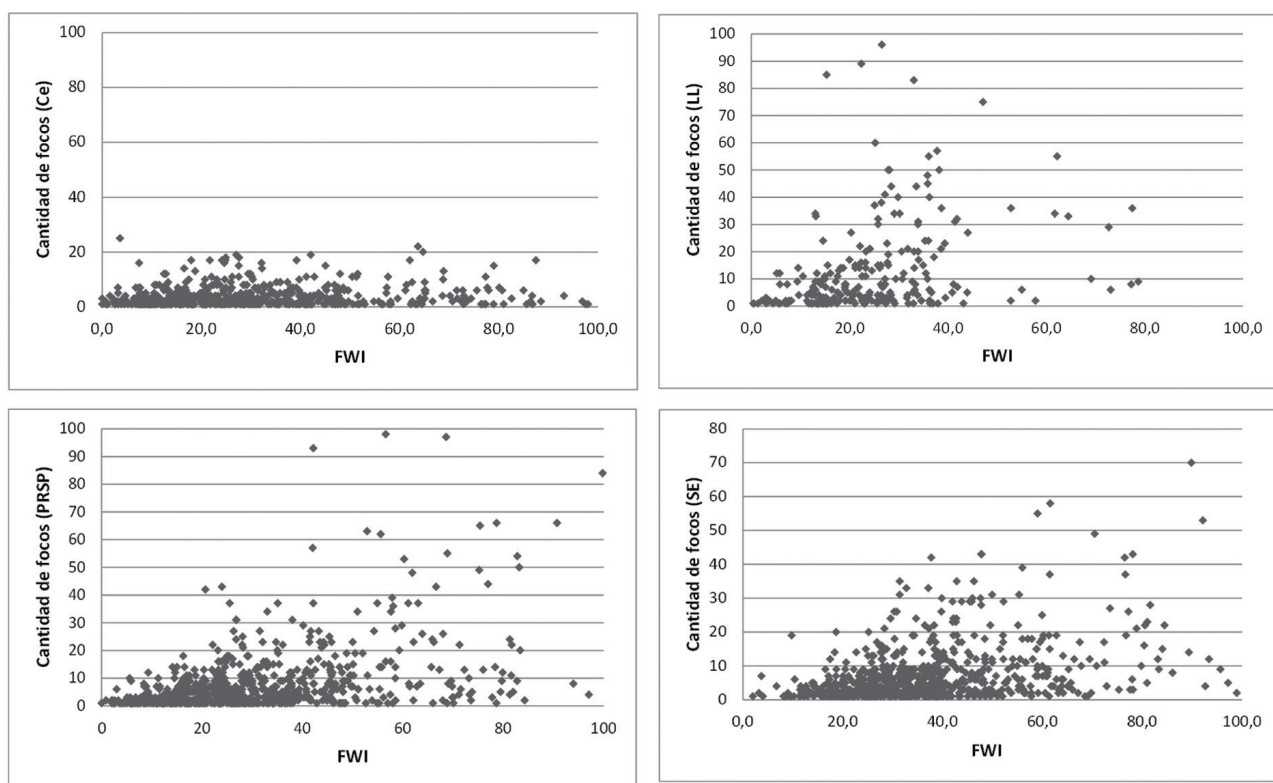


Figura 8: gráficos de dispersión de puntos, número de focos de calor y FWI. Período 2003 - 2012 para las estaciones Ceres Aero, Santiago del Estero Aero y PRSP Aero; 2003 y 2010 - 2012 Las Lomitas Aero. Fuente: FIRMS y SFME.

4. CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos, podemos concluir que, a lo largo del período analizado en las cuatro estaciones mencionadas, el mayor porcentaje de focos de calor ocurre con rangos de FFMC cercanos a 90, umbral en el cual coincide donde se esperan mayor cantidad de focos secundarios. El número de focos esperados por día muestra un comportamiento creciente a medida que se incrementa las clases de FFMC iguales o mayores a 93. Esta situación se visualiza en que se encuentran muy pocos días con valores cercanos a 93 de FFMC. Lo mismo ocurre con el FWI en la clase extremo, en la cual se espera la mayor ocurrencia de focos por día.

En las series de datos, se observa además una gran variabilidad de focos por clases, tanto de FFMC y FWI, lo que genera cierta dificultad en tomar decisiones del comportamiento de los mismos, los cuales merecen en muchos casos observaciones de campo, como superficie afectada, energía liberada, tipo de combustible que se quema, causas y con qué objetivos se quema, con el fin de descartar o incluir con mayor precisión focos de calor en el análisis y por lo tanto disminuir la variabilidad de los datos en las series.

Si bien los focos de calor registrados no dejan de ser una aproximación a la ocurrencia real de incendios forestales y rurales, constituye una base de datos preliminar para la elaboración de trabajos de manera de predecir la ocurrencia de incendios potenciales con el índice meteorológico.

No obstante, sería necesario elaborar registros y bases de datos confiables de incendios ocurridos en esta región como fuente para la elaboración de investigaciones futuras en la predicción de ocurrencia de incendios.

5. BIBLIOGRAFÍA

Calle, A. y Casanova, J. L. (2009). Aplicaciones de la Teledetección para evaluar los incendios forestales. Cap 8.4. En, la defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. 2º Edición. 841 pp.

Chuvieco, E.; Cifuentes, Y.; Hantson S.; Agustín López A.; Ramos R. y Torres J. (2012). Comparación entre focos de calor MODIS y perímetros de área quemada en incendios mediterráneos. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. Revista de Teledetección, 37. 9 – 22 pp.

Estadística de incendios forestales. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. <http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=13180>

Giglio, L. (2010). MODIS Collection 5 active re product user's guide version 2.4. Science system and applications Inc. University of Maryland, Department of Geography. 61 pp.

Justice, C. O.; Giglio, L.; Korontzi, S.; Owens, J.; Morisette, J. T.; Roy, D.; Descloitres, J.; Alleaume S.; Petitcolin, F. and Kaufman, Y. J. (2002). The MODIS re products. Remote Sensing of Environment, 83, 244 - 262.

Kaufman, Y. J.; Justice, C. O.; Flynn, L. P.; Kendall, J. D.; Prins, E. M.; Giglio, L.; Ward, D. E.; Menze, W. P. and Setzer, A. W. (1998). Potential global re monitoring from EOS-MODIS. Journal of Geophysical Research, 103, 32215 – 32238.

Kaufman, Y. J.; Herring, D. D.; Ranson, K. J. and Collatz, G. J. (1998). Earth Observing System AM1 mission to earth. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36, 1045 - 1055.

Kunst, C.; Bravo, S.; Monti, E.; Cornacchionne, M. y Godoy, J. (2003). El fuego y el manejo de pasturas naturales y cultivadas en la región chaqueña. Fuego en los Ecosistemas Argentinos. INTA. Santiago del Estero, 332 pp.

Lawson, B. D.; Frandsen, W. E.; Hawkes, B. C. and Dairymple, G. N. (1997). Probability of sustained smoldering ignition for some boreal forest du types. Natural resources Canada. Canadian Forest Service. North Forest centre. Edmonton, Alberta. Fores. Manag. Note 63. 11 pp.

Masuoka, E.; Fleig, A.; Wolfe, R. W. and Patt, F. (1998). Key characteristics of the MODIS data products. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36, 1313 - 1323.

McAlpine, Stocks B.J.; Van Wagner C. E.; Lawson, B. D.; Alexander, M. E. and Lynham, T. J. (1990). Forest re behavior research in Canada. In Proceedings of international conference on forest re research. A. 02: 1 – 12. (University of Coimbra. Coimbra).

Medina, A. (2003). Reconstrucción de Historias de Fuego en Bosques mediante Técnicas Dendrocronológicas. Cap. 12, 133 – 143 pp. En: Kunst C.: Fuego en los Ecosistemas Argentinos. INTA. Santiago del Estero 332p.

Owen, D. H.; 1979. Fire Weather Indexes. Decision aids for forest operations in British Columbia. Province of British Columbia. Ministry of Forest. 68 pp.

Shüle, W. (1990). Fuego en los Ecosistemas Argentinos. Cap. 18, 199 – 215 pp.
En: Kunst C. y Rodríguez N.: Fuego Prescripto.

Van Wagner, C. E.; 1987. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forestry Service, Ottawa; Ontario. Forestry Technical Report 35. 37 pp.



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación