

Evaluación de peligro de incendios. Informes técnicos

Áreas afectadas por incendios forestales y rurales en la región pampeana y noreste de la región patagónica durante la temporada 2016 – 2017

Evaluación de peligro de incendios

Informes técnicos

Informe Técnico N° 13

Áreas afectadas por incendios forestales y rurales en la región pampeana y noreste de la región patagónica durante la temporada 2016 – 2017

Gabriel Zacconi¹, Mariela Toppazzini¹

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**

ÁREAS AFECTADAS POR INCENDIOS FORESTALES Y RURALES EN LA REGIÓN PAMPEANA Y NORESTE DE LA REGIÓN PATAGÓNICA DURANTE LA TEMPORADA 2016 - 2017

Gabriel Zacconi¹, Mariela Toppazzini¹

Introducción

El fuego es un fenómeno natural que aparece en los registros geológicos poco después de la aparición de las plantas terrestres; influye en los patrones y procesos de los ecosistemas de todo el mundo, incluyendo la distribución y estructura de la vegetación, el ciclo del carbono, y el clima (*Bowman, 2009*). En Argentina, durante los últimos años los incendios forestales afectaron grandes superficies; particularmente en los años 2014 y 2015 afectaron aproximadamente 797673 ha y 497125 ha. respectivamente (*Fuente: Estadística de incendios forestales, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación*).

La Provincia de la Pampa es la más afectada por la ocurrencia de incendios forestales y rurales, desde el año 2005 hasta el año 2015 inclusive se quemaron alrededor de 1509997 hectáreas, donde el año más crítico fue 2014 con 490635 ha; le continúa la Provincia de San Luis con 821877 hectáreas y Río Negro con 699019 ha (*Fuente: Estadística de incendios forestales, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación*). En esta zona del país, la vegetación predominante está comprendida, dentro de las provincias fitogeográficas del Monte y del Espinal; la zona del noreste de la región Patagónica pertenece, según sus condiciones fitogeográficas a la provincia del Monte (*Cabrera, 1973*), ambas son afectadas año tras año por grandes incendios forestales y de pastizales tanto en número como en tamaño. Estas provincias fitogeográficas poseen un clima árido a semiárido con precipitaciones que oscilan los 450 mm, condiciones propias de clima con temporadas estivales de escasas precipitaciones, elevadas temperaturas y bajas humedades relativas. Estas características relacionadas con su régimen hídrico, rangos de temperaturas y dinámica de vientos, entre otras, permiten identificar ciertos meses en los que el peligro de incendios es mayor, los cuales se definen como “temporada de incendios”.

Desde el año 2000 el Servicio Nacional de Manejo del Fuego (SNMF) se encuentra implementando el Sistema Nacional de Evaluación de Peligro de Incendios (SNEPI) en gran parte del territorio argentino. Este sistema es derivado del sistema canadiense, el cual se basa en el monitoreo diario de ciertas variables meteorológicas y el cálculo de indicadores relacionados a distintos aspectos del comportamiento del fuego (ignición, propagación,...), que permiten evaluar el peligro de incendios (*Van Wagner, 1987*).

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.

Entre estos indicadores, podemos mencionar el Índice de Disponibilidad del Combustible (BUI), indicador numérico de la disponibilidad de los combustibles para la combustión y refleja la evolución de la sequía de los combustibles medios y pesados a lo largo de cada temporada de incendios; el Código de Humedad del Mantillo (DMC) que es un indicador de la humedad del combustible medio y de la ocurrencia de incendios por rayos, y el Índice de Peligro de Incendios (FWI) que indica la intensidad de línea del frente de llama y por ende las dificultades y esfuerzos de control.

Los rayos son el elemento principal de las causas naturales de incendios (*Latham y Williams, 2001*). Estas descargas en un escenario de veranos de escasa precipitación y temperaturas diurnas medias superiores a 30°C, donde la humedad del combustible muerto se reduce (Vélez, 2000), incrementarían la probabilidad de ignición del combustible. Sumado a la información de descargas eléctricas, otras variables que nos ayudarán a evaluar la incidencia de incendios naturales son el tipo de combustible y sus niveles de humedad, la topografía (pendiente, altitud, exposiciones) y las características meteorológicas que influyen en el proceso de ignición y propagación (*Pacheco Angulo et al, 2009*). La variable fundamental a considerar es la humedad de la vegetación muerta, lo cual se puede estimar con la utilización de los códigos e índices meteorológicos del SNEPI (*Pacheco Angulo et al, 2009*).

El área bajo estudio en el presente trabajo, mostró al inicio de la temporada de incendios valores de los indicadores que permitían anticipar eventos de fuego extremos y simultáneos. Particularmente, el BUI se encontraba por encima del umbral de 90, valor asociado a comportamiento del fuego severo/errático (*Alexander & Cole, 2001*). Coincidentemente con ello, informes elaborados por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Dirección Provincial de Defensa Civil de Río Negro, mencionaban una carga importante de pasto, el cual estaría disponible en la temporada entrante. El DMC, desde mediados de noviembre, se hallaba por encima de 60, considerado un piso para el inicio del comportamiento extremo del fuego (*Kourtz, 1974; Lawson, 1997*). El FWI, a diferencia de los indicadores mencionados anteriormente, no tiene un seguimiento estacional y se ve afectado de manera diaria por las variables meteorológicas consideradas. De todos modos, en los días de inicio de los incendios presentaba valores elevados que se corresponden con comportamiento extremo (Alexander, 1991).

La teledetección satelital, es una alternativa para cartografiar áreas quemadas, debido a que facilita una visualización de la superficie terrestre, en bandas del espectro sensible a la discriminación de áreas quemadas (*Chuvieco, 2002*). El variado uso de estos datos en el ámbito de incendios forestales, se desarrolló rápidamente en los últimos años, tanto a escalas globales y regionales (*Justice et al., 2002*), como locales (*Miller y Yool, 2002; Roogan y Franklyn, 2001*). De las primeras podemos citar a, imágenes de los sensores NOAA-AVHRR (Chuvieco y Martín, 1994) y MODIS (Roy et al., 2002), de escala local podemos citar el programa de imágenes Landsat del sensor Thematic Mapper (TM) y más reciente el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) de gran utilidad (*Koutsias et al., 1999*). En la actualidad el programa Landsat, se encuentra en su octava versión denominada: "Landsat Data Continuity Mission" (LDCM) es el octavo satélite de observación de la serie Landsat y continúa el legado de archivo de los anteriores satélites convirtiéndose de esta manera en los satélites de observación de la tierra de mediana resolución con más historia (Ariza, 2013).

De acuerdo a lo anticipado, en la última temporada estival (2016 - 2017), se registraron numerosos incendios forestales y de grandes superficies en la zona, debido a las condiciones de sequía que presentó, asociado con altos valores de temperaturas y bajos valores de humedad relativa. A su vez ocurrieron eventos de tormentas eléctricas con caída de rayos siendo una de las principales causas de ignición de los fuegos ocurridos.

El presente trabajo se propuso como objetivos, realizar una descripción de las condiciones meteorológicas previas a la temporada de ocurrencia de incendios, analizar los valores alcanzados por los indicadores de peligro y mostrar mediante gráficos la evolución de los mismos durante la temporada. Asimismo, pretende, mediante el uso de herramientas de teledetección e información recabada de diversas fuentes, realizar un relevamiento de áreas quemadas de los principales incendios ocurridos en la región pampeana y noreste de la región patagónica durante la última temporada de fuego 2016 - 2017.

Las condiciones previas al inicio de la temporada se monitorearon con la utilización del informe mensual de tendencias a tres meses elaborado por el SNMF. En el mismo se realiza un seguimiento de los desvíos de precipitación y temperatura que se esperan, como así también su efecto sobre la producción de pastos; el aumento de la carga y su posterior secado.

Se calcularon los valores de FWI, BUI y de DMC con datos meteorológicos de las estaciones Santa Rosa Aero, Viedma Aero y Bahía Blanca Aero, pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Se analizó la evolución a lo largo de la temporada del indicador BUI, comparándola con la variación promedio de este indicador y los máximos alcanzados, en base a 22 años de datos (figura 4). Asimismo, los valores diarios del BUI y del DMC, fueron contrastados con umbrales asociados al comportamiento extremo del fuego y a la ocurrencia de focos por rayos respectivamente.

La digitalización de las áreas incendiadas se realizó mediante interpretación visual con datos satelitales Landsat 8 OLI de 30 metros de resolución espacial, por su disponibilidad libre y gratuita en internet y con distintas fechas de captura correspondientes a los incendios que a continuación se presentarán. Además, para el análisis se utilizaron focos de calor del sensor Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) de 375 m de resolución espacial derivados montado en el satélite Suomi National Polar-orbiting Partnership (NPP) de 375 m de resolución espacial, e imágenes MODIS Terra/Aqua 7/2/1 de 250 m de resolución espacial. A través de ellos se pudo visualizar los principales sectores activos y avances del fuego.

Los perímetros de los incendios se digitalizaron mediante la combinación de las bandas Landsat 8 OLI en los canales RGB 7/5/2 y se utilizó de base la información obtenida durante los incendios forestales, recibida mediante informes elaborados por las jurisdicciones provinciales y por el Servicio Nacional de Manejo del Fuego.

Para determinar la ocurrencia de incendios por causas de rayos, el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF) del Ministerio de Defensa, suministró a la oficina de Coordinación Técnica del SNMF, información acerca de descargas eléctricas atmosféricas (DEA) en la zona cada vez que se pronosticaban la ocurrencia de tormentas con actividad eléctrica.

Las DEA se obtuvieron a partir de The World Wide Lightning Location Network (WWLLN, <http://wwlln.net>), que es una red de detección de descargas eléctricas atmosféricas (DEA) la cual comenzó en 2003 con 11 sensores en tierra, y en la actualidad está compuesta por más de 70 sensores en todo el planeta (*Hutchins et al., 2012; Virts et al., 2013*). La WWLLN cuenta con cuatro estaciones instaladas en la Argentina siendo la más antigua en la ciudad de Córdoba (FAMAF), luego se instaló en Trelew en la Universidad de la Patagonia Austral y dos estaciones operadas por CITEDEF, en el Observatorio de la Patagonia Austral (OAPA) en y la más reciente (2012) en la División LIDAR en Buenos Aires.

Estas estaciones, más las estaciones ubicadas en América del Sur, proporcionan una buena cobertura de todo el territorio argentino, y permite analizar la DEA tanto en Argentina como en Sudamérica (Nicora, 2014). Se necesitan al menos 5 sensores para registrar la DEA con un error de 5 km de distancia y menor a 10 microsegundos.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende las provincias de La Pampa, centro y sur de Mendoza y sudoeste de Buenos Aires, ubicadas en la Regional V Pampeana (SNMF), y el este de la provincia de Río Negro, Regional VI Patagonia (SNMF).

La vegetación comprende características de la provincia fitogeográfica del Monte (figura 1) en la parte occidental la cual ocupa una gran extensión dentro del territorio argentino. La formación dominante es el matorral, a veces muy abierto, donde predominan zigofiláceas de los géneros *Larrea*, *Bulnesia* y *Plectocarpa* entre ellas jarillas (*Larrea divaricata*, *Larrea cuneifolia* y *Larrea nítida*); retamo (*Bulnesia retama*); pichana (*Cassia aphylla*) por lo general de 2 m de altura. Además, se encuentran comunidades edáficas como bosquecillos de algarrobo (*Prosopis flexuosa* y *Prosopis chilensis*) en las orillas de ríos y en depresiones de capa freática poco profunda (Cabrera, 1973). El clima es seco y cálido; con temperaturas de 13 a 15,5 °C y lluvias que oscilan entre 80 a 250 mm (Cabrera, 1973).

Hacia el este del Monte se encuentra la provincia fitogeográfica del Espinal (figura 1), la cual se caracteriza por especies arbóreas como caldén (*Prosopis caldenia*); ñandubay (*Prosopis algarrobilla*), acompañados con chañares (*Geoffroea decorticans*); sombra de toro (*Jodina rhombifolia*) y herbáceas como olivillo (*Hyalis argentea*) y paja amarga (*Elionurus muticus*) (Cabrera, 1973). El clima es cálido y húmedo en la porción norte, templado y seco en el sur; temperaturas que varían de 15 a 20 °C y precipitaciones de 1170 a 340 mm.

La topografía es variada en el área, principalmente predominan llanuras arenosas, bolsones, mesetas y laderas bajas de montañas.

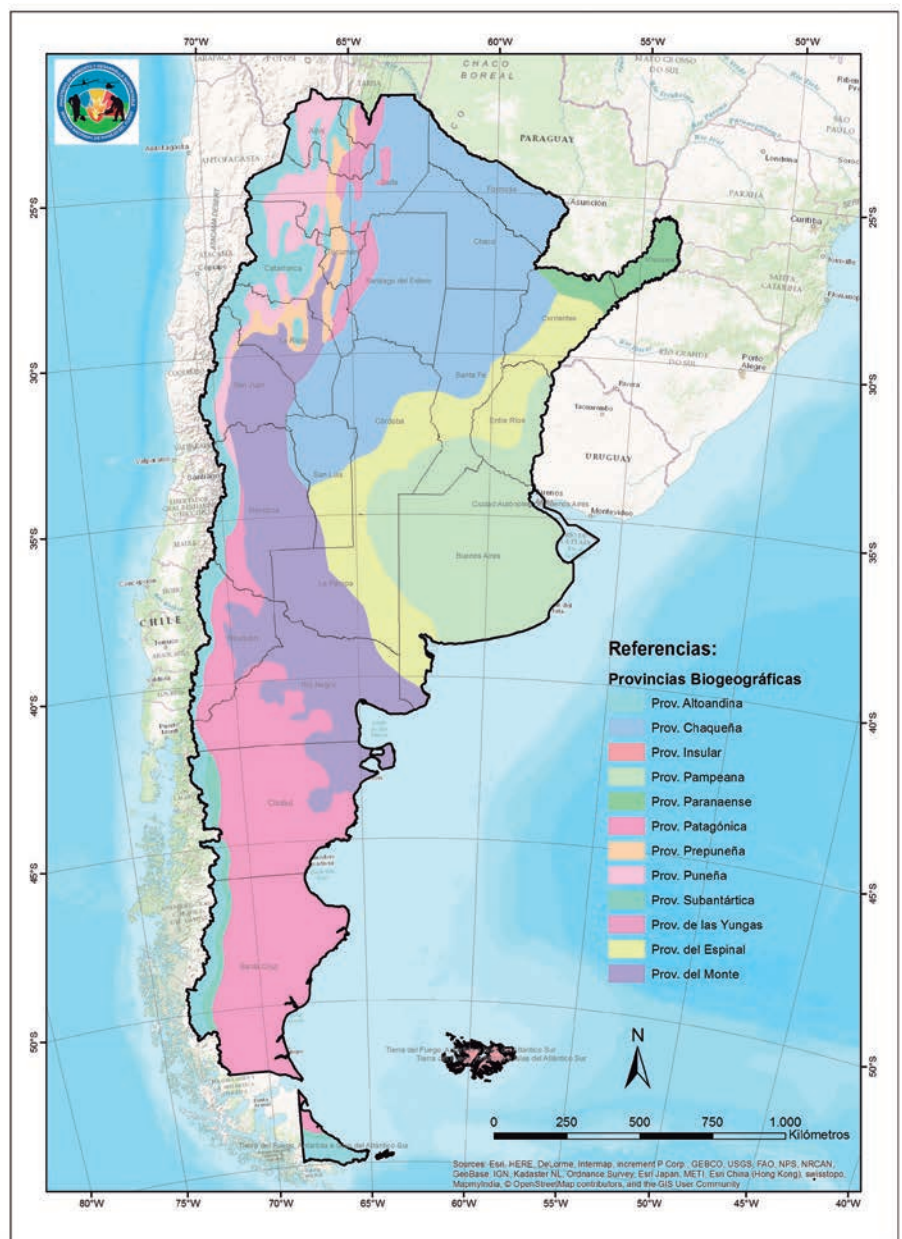


Figura 1: mapa de Regiones Biogeográficas de Argentina.
(Elaboración propia a partir de Cabrera, 1973).

RESULTADOS

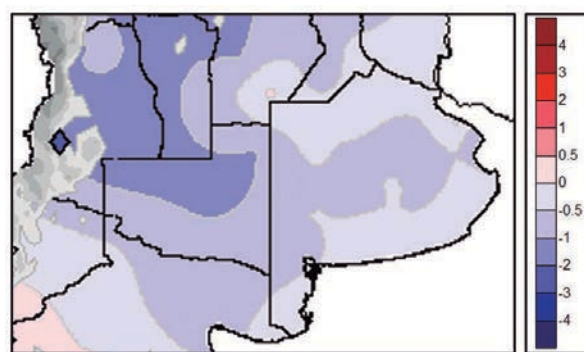
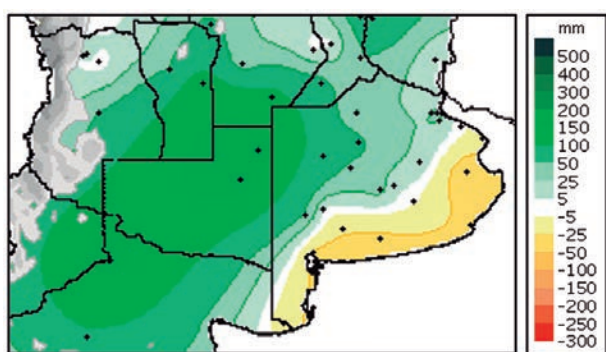
Condiciones meteorológicas previas

La primavera 2016 registró un superávit de precipitaciones principalmente en La Pampa, sur de Mendoza, oeste de Buenos Aires y norte de Patagonia. Durante los meses de noviembre y diciembre, esta situación se revirtió dejando marcas de hasta 100 mm por debajo de la media, lo que se acompañó de temperaturas por encima de las normales para la época (figura 2) (Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Informe Nacional de Peligro de Incendios de Vegetación).

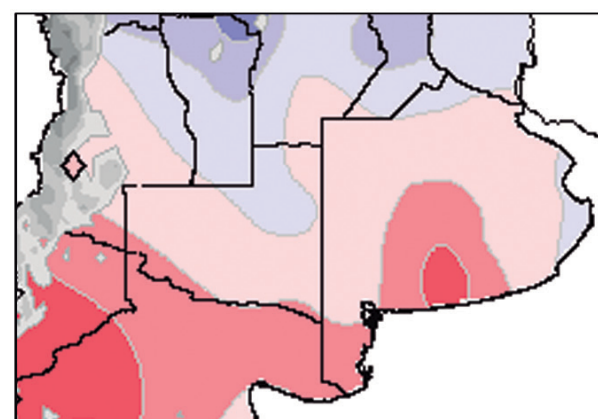
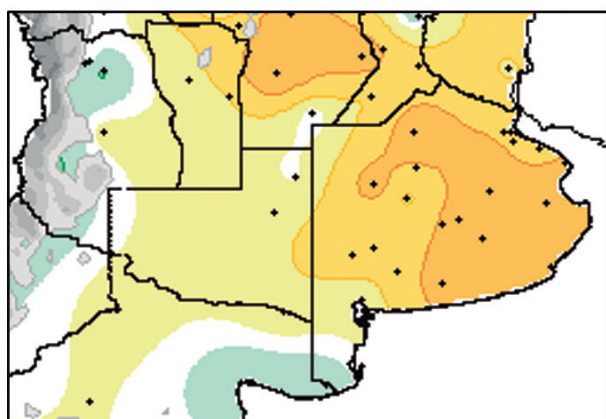
Precipitaciones

Anomalías temperaturas

OCTUBRE



NOVIEMBRE



DICIEMBRE

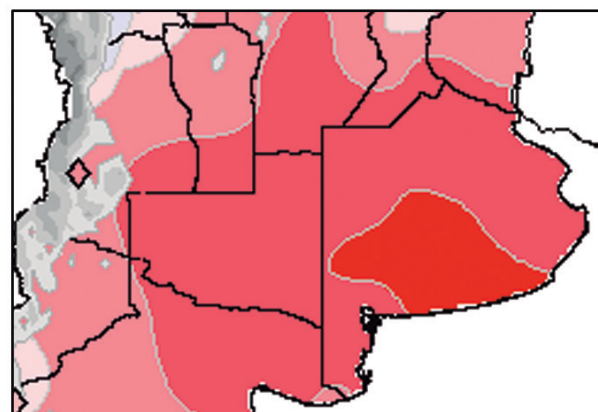
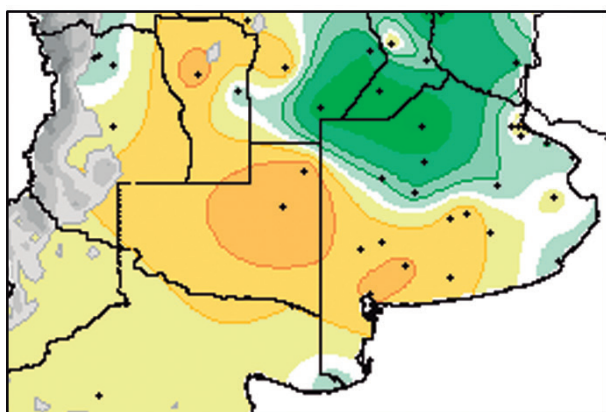


Figura 2: anomalías de precipitaciones y temperaturas durante los meses de octubre a diciembre. Nótese el pasaje de la abundante precipitación en octubre con acumulación de carga de combustible a condiciones de sequía en los dos meses subsiguientes.

En la estaciones meteorológicas de Santa Rosa Aero y Bahía Blanca Aero (figura 3 a y b respectivamente), durante el mes de octubre el BUI se encontraba en niveles muy bajos debido a las abundantes lluvias caídas. A partir de ese momento se produjo rápidamente un ascenso, alcanzando casi los máximos para la época, con valores que superaban ampliamente el umbral de comportamiento extremo crítico (90) mencionado anteriormente. Dichos valores se ubicaban cercanos a 110 para Santa Rosa y 175 para Bahía Blanca. Esto refleja, en cierto modo, el déficit de precipitaciones durante los últimos meses del año, noviembre y diciembre. Mientras tanto, en la estación meteorológica Viedma Aero el BUI alcanza los valores promedio, muy por debajo de los máximos históricos, pero superando el umbral de 90 e indicando iguales condiciones de comportamiento de incendio extremo (figura 3 c).

Por último, se puede mencionar que el Índice de peligro de Incendios (FWI), mostró niveles elevados durante el período de estudio, que se tradujeron en comportamiento extremo del fuego.

Durante el período comprendido entre noviembre 2016 y febrero 2017 se produjeron numerosas tormentas con actividad eléctrica en el área bajo estudio, las cuales, y según los reportes oficiales de ocurrencia de fuego del SNMF, iniciaron 43 incendios. El valor alcanzado por el DMC en las estaciones meteorológicas consideradas alcanzaba a mediados de noviembre de 2016 valores superiores a 20, umbral para el inicio de incendios por rayos. En el mes de diciembre, los mismos se hallaban superiores a 60, lo que indicaría un comportamiento extremo del fuego en caso de producirse incendios. Esta situación se observaba en las estaciones Santa Rosa (La Pampa), Bahía Blanca (Buenos Aires), San Antonio Oeste y Viedma (Río Negro).

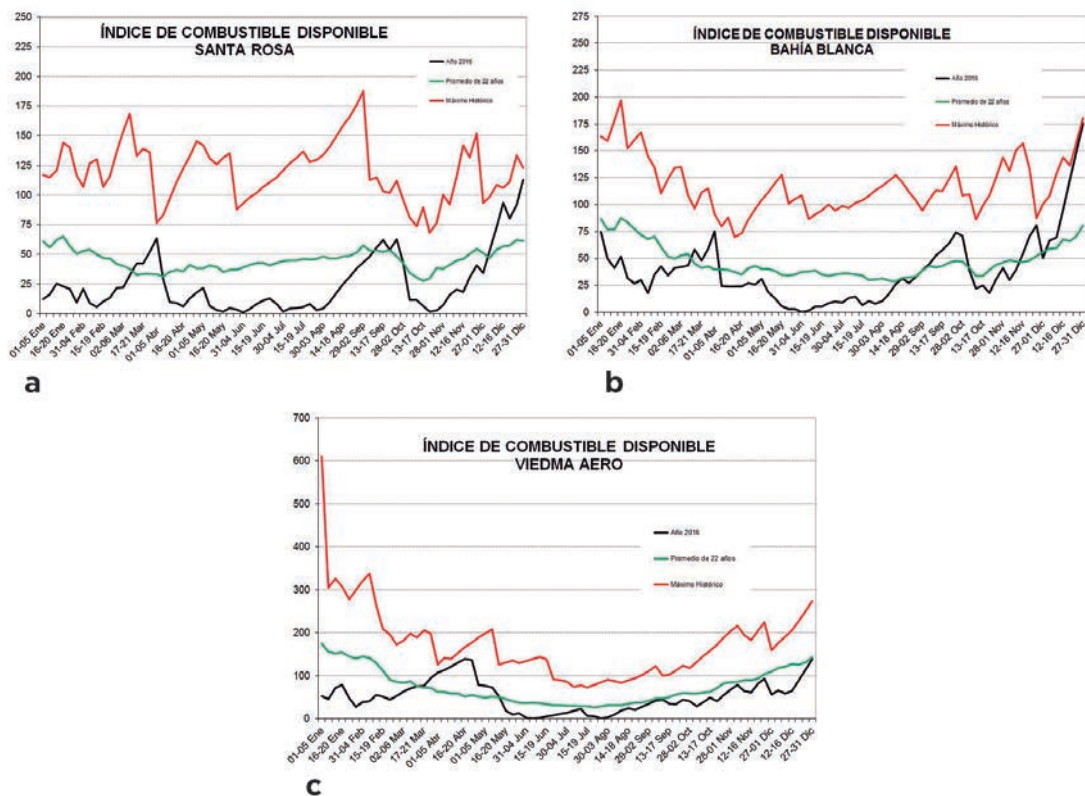


Figura 3: gráfico de evolución de BUI de a) estación Santa Rosa Aero (La Pampa), b) estación Bahía Blanca Aero (Buenos Aires) y c) estación Viedma Aero (Río Negro); al finalizar el año este indicador se encontraba muy cercano a los niveles máximos.

Ocurrencia de Descargas Eléctricas Atmosféricas (DEA)

La temporada 2016-2017 fue particularmente crítica por la ocurrencia de rayos, reportándose al SNMF numerosos incendios en el área de estudio, de los cuales 43 incendios tienen como causa de inicio comprobada la actividad eléctrica. Por citar alguno de los más importantes en cuanto a superficie afectada, podemos nombrar a “La Pastoril” (La Pampa) fecha de inicio el 21 de diciembre de 2016 con 44762 has afectadas, “Conesa” (Río Negro) con 412077 el 21 de diciembre, “San Alberto 2” (Mendoza) el 20 de enero con 12505 has y “Sur de Algarrobo” (Buenos Aires) el día 11 de diciembre con 45962 ha. En todos los casos el valor alcanzado por los indicadores permitía esperar un comportamiento extremo del fuego.

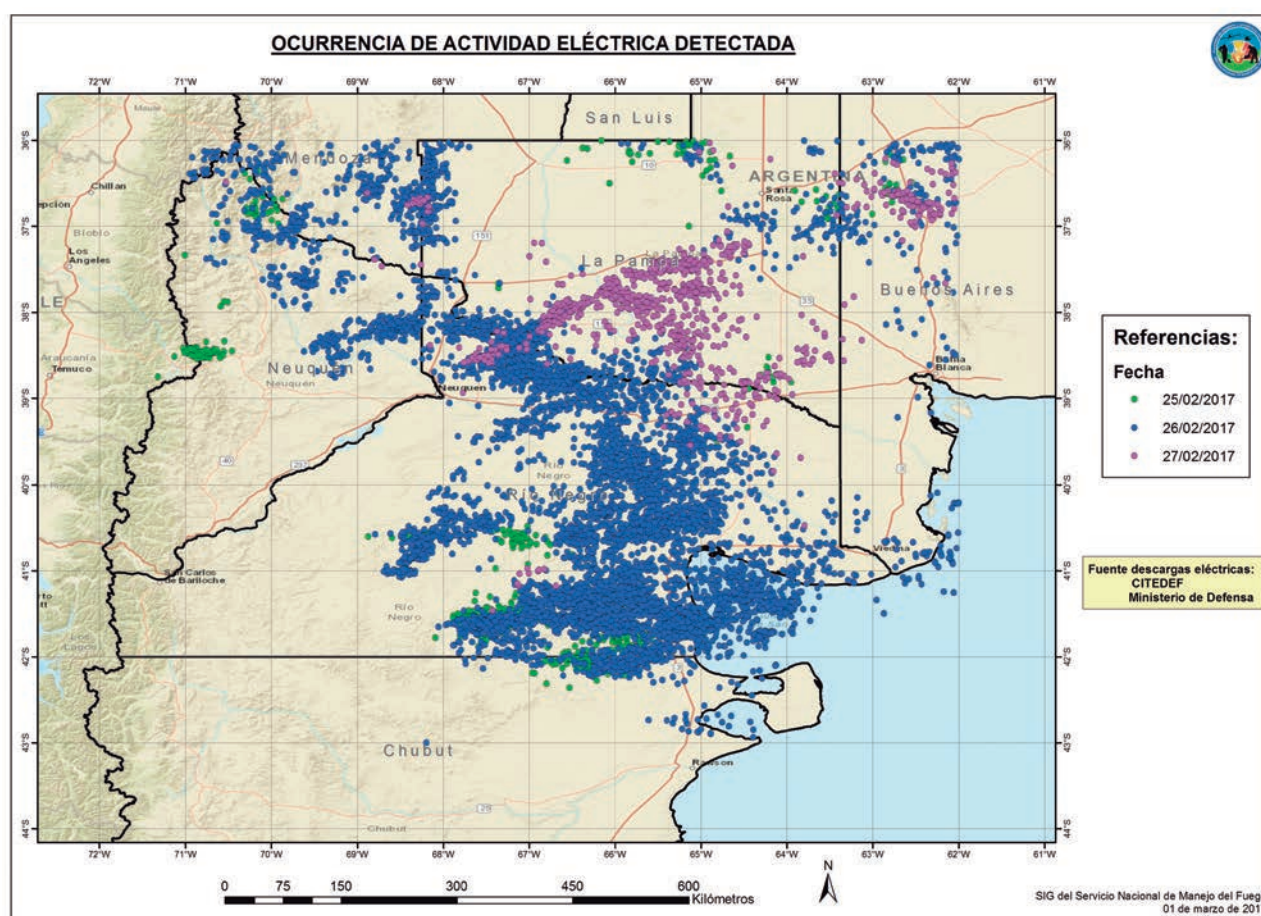


Figura 4: mapa de DEA de los días 25, 26 y 27 de febrero de 2017. (Elaboración propia a partir de información suministrada por CITEDEF, Ministerio de Defensa).

Durante la temporada 2016 - 2017 la superficie afectada en el área de estudio fue de 2.572.484 hectáreas. En la Provincia de La Pampa ocurrieron dos grandes incendios antes de que inicie la temporada, a partir del mes de julio y agosto de 2016 en cercanías a la Colonia de Emilio Mitre y La Pastoril, de 19171 ha y 32.859 ha. Luego a inicios del mes de diciembre se producen las mayores áreas afectadas destacándose el incendio El Milagro con 115.982 ha, donde la localidad de Chacharramendi se vio gravemente amenazada (figura 6). Sobre el día 25 de diciembre de 2016, se registró el inicio del incendio “Ruta 32 y Meridiano” en la Provincia de La Pampa afectando alrededor de 44.000 hectáreas hasta el día 30 de diciembre. A partir del primero de enero de 2017 numerosos focos en el sector se reactivaron, y continuó quemando hasta alcanzar las 308.586 ha aproximadamente, y los cuales se extinguieron sobre el día 10 de enero. Otro de los incendios importantes que podemos destacar es el “Este de Lihue Calel”, iniciado el 6 de enero y extinguido el 17 de enero quemando 88.777 ha. Sobre el día 21 de enero ocurrió por causas de descargas eléctricas el incendio “Ruta 35 y 154” en cercanías a la localidad de Bernasconi con una superficie de 30.425 ha.

En la Provincia de Río Negro, se destaca por la mayor superficie afectada el incendio “Conesa”, con fecha de inicio el 21 de diciembre hasta el 1 de enero entre las ciudades de Río Colorado y General Conesa y con 412.077 ha afectadas. Sobre el día 30 de enero de 2017, se originó el incendio Beltrán-Mc Cain con 111108 ha, el cual se extinguió el 6 de febrero (figura 10). El 16 de febrero ocurrió el incendio denominado “Ruta 4 Sur” con 80685 ha aproximadas, dado por extinguido el 21 de febrero (figura 12), ambos incendios ubicados en cercanías a la localidad de Lamarque y Luis Beltrán.

En Mendoza se destaca “El Zapatino” con 43.308 ha, el cual se inició el día 21 de enero y extinguido el 2 de febrero, próximo a la Reserva de Biósfera Ñacuñan (figura 13).

Se presentan a continuación las áreas afectadas por provincia durante la temporada 2016 - 2017 (tabla 1).

Tabla 1: superficies quemadas por provincia desde noviembre de 2016 hasta abril de 2017.

Provincia	2016	2017	Total
Mendoza	64.383	128.667	193.050
La Pampa	453.700	833.693	1.287.393
Buenos Aires	146.562	75.292	221.855
Río Negro	524.917	345.269	870.186
Total	1.189.562	1.382.921	2.572.484

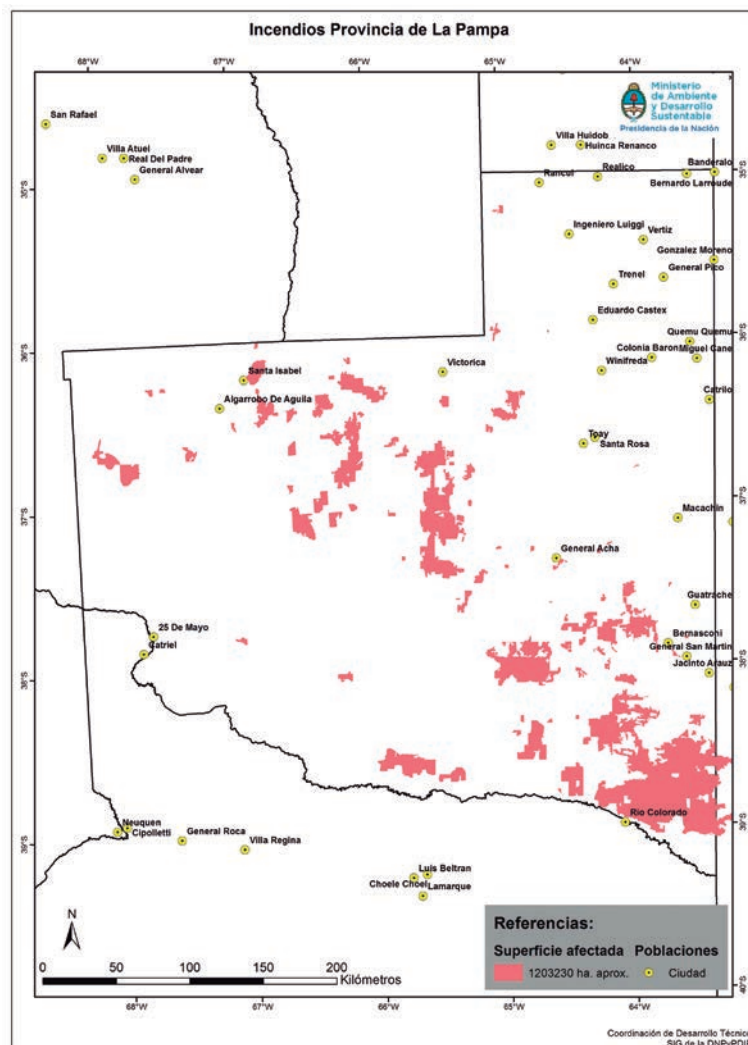


Figura 5: áreas quemadas en la Provincia de La Pampa durante la temporada 2016 - 2017.

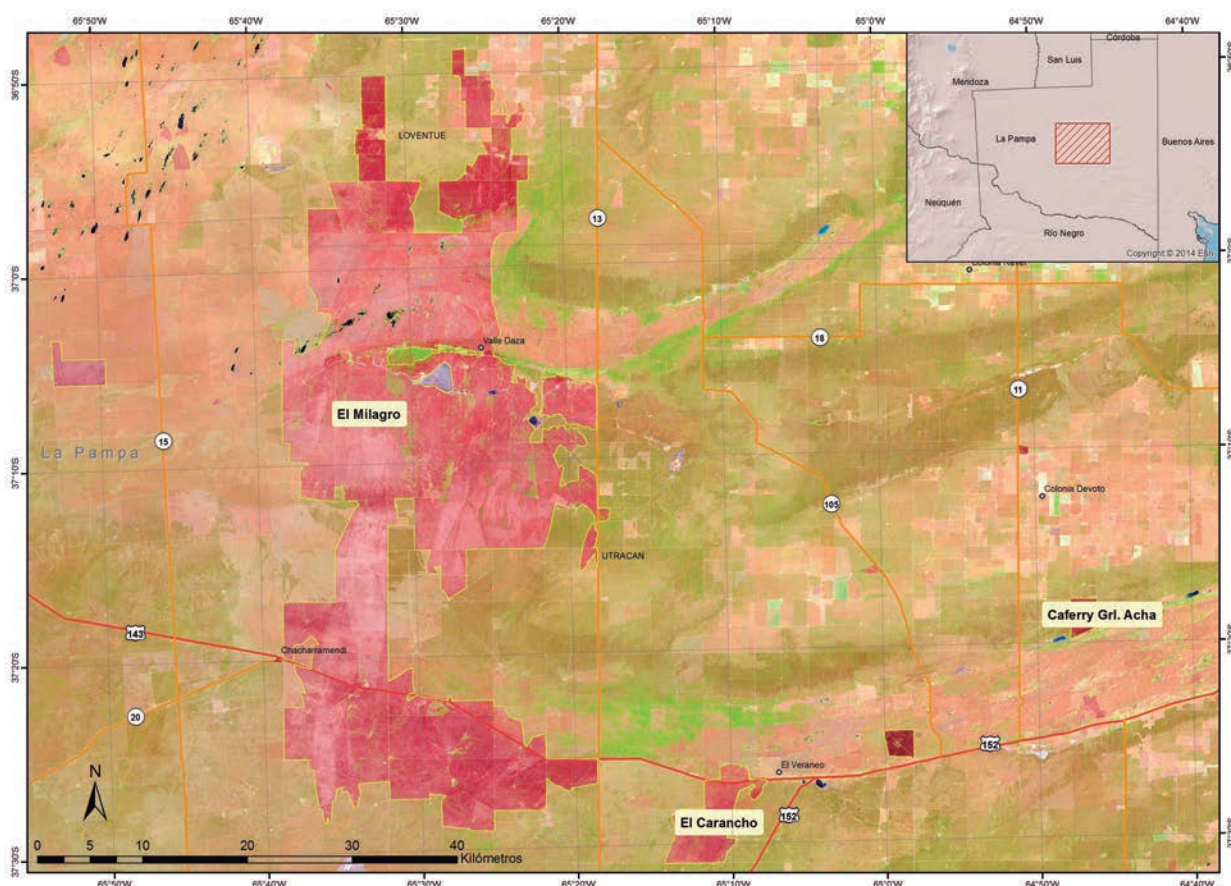


Figura 6: incendio "El Milagro" de 115.982 hectáreas.

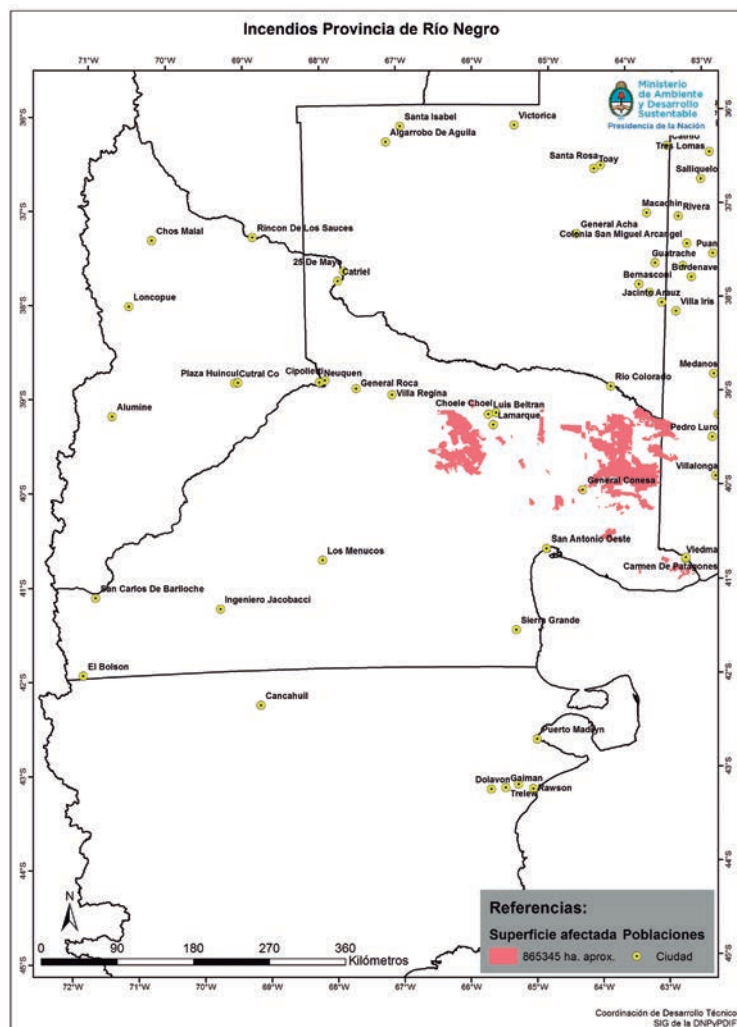


Figura 7: áreas quemadas en la Provincia de Río Negro durante la temporada 2016 - 2017.

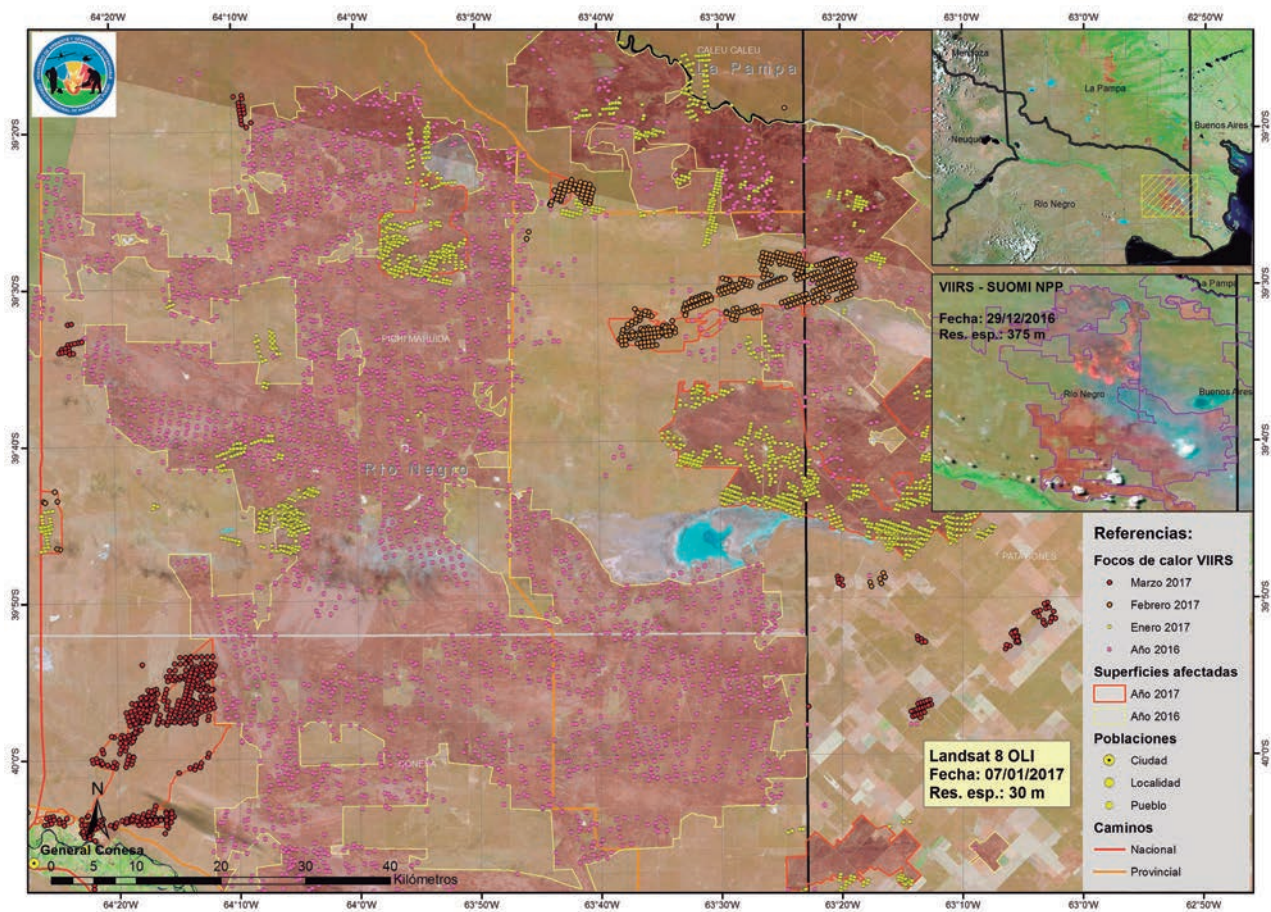
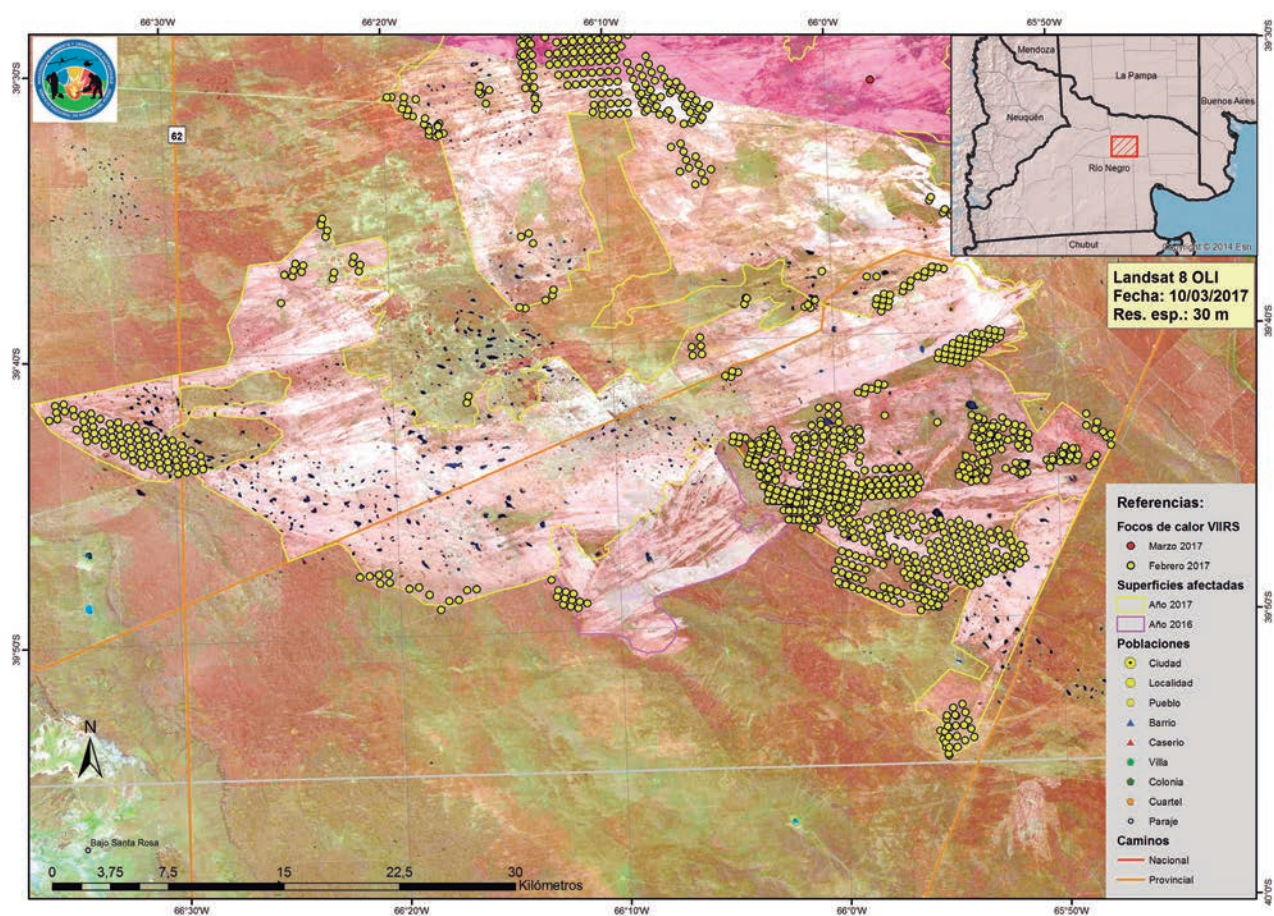
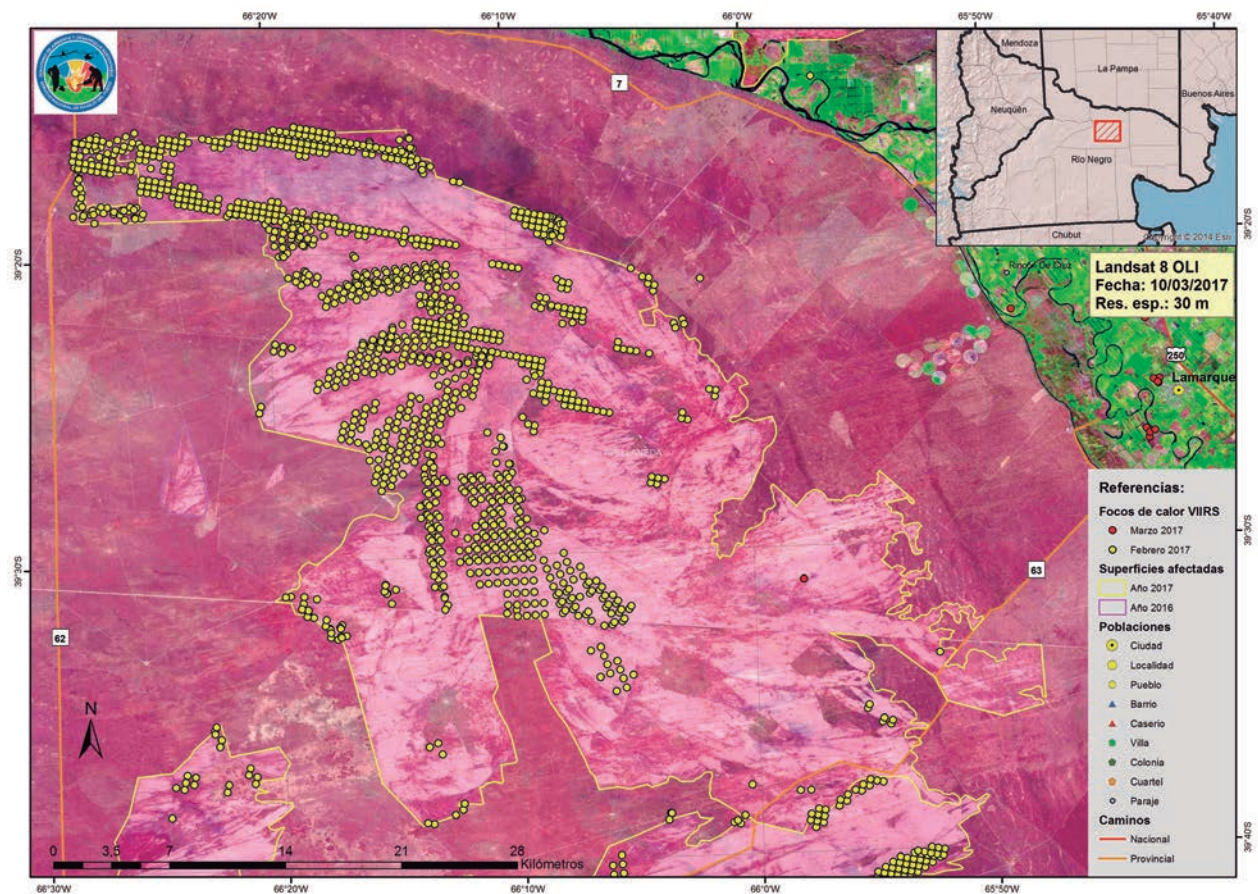


Figura 8: incendio "Conesa" (Río Negro) de 412.077 hectáreas.



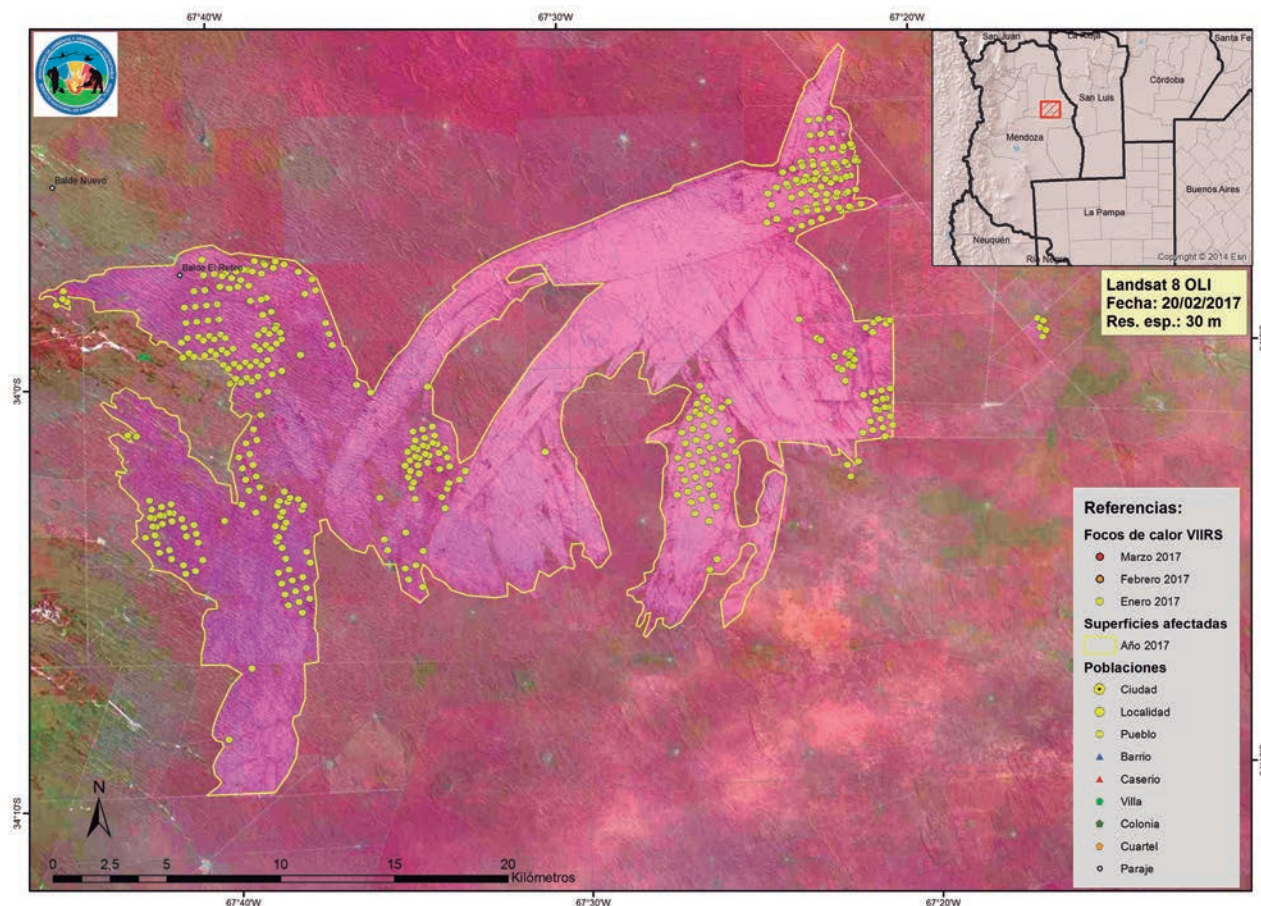


Figura 11: incendio “El Zapatino” (Mendoza) de 43308 hectáreas.

Discusión

El déficit hídrico y los desvíos positivos de temperatura de los meses de inicio de temporada, se vieron reflejados en los valores del Índice de combustible disponible (BUI) de estaciones meteorológicas consideradas. Las condiciones de peligro extremo que marcaban desde el mes de noviembre, fue emitida a diferentes organismos locales y nacionales implicados en el manejo del fuego. Los rayos o descargas eléctricas atmosféricas (DEA) fueron una de las causas fundamentales de varios incendios en la temporada; esta actividad se monitoreó constantemente a través de pronósticos meteorológicos.

El uso de herramientas de teledetección satelital actualizada, permitió conocer avances del frente de llama, detectar focos de calor activos y medir superficies quemadas en una vasta zona y de manera rápida y segura.

Es necesario continuar y mejorar, el proceso de recolección de datos principalmente de campo, que en muchas ocasiones son nulos o escasos para toma de decisiones de rápida respuesta a los sectores operativos de combate.

Por lo expuesto se concluye que la última temporada de incendios forestales y rurales en la zona de estudio, fue muy importante debido a la gran extensión de superficie quemada y a la gran cantidad de recursos de combate de incendios involucrados en los operativos. La emergencia también ocasionó pérdidas en el sector ganadero principalmente, según lo expresado por algunos productores.

Ariza, A., (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission).

Alexander, M. E., 1991. The 1985 Butte FIRE in central Idaho: a Canadian perspective on the associated burning conditions.

Alexander, M. & F. Cole, 2001. Rating fire danger in Alaska ecosystems: CFFDRS provides an invaluable guide to systematically evaluating burning conditions. Fireline. Vol 12. No 4. Alaska Fire Service.

Bowman, David M. J. S.; Jennifer K. Balch; Paulo Artaxo; William J. Bond; Jean M. Carlson; Mark A. Cochrane; Carla M. D'Antonio; Ruth S. DeFries; John C. Doyle; Sandy P. Harrison; Fay H. Johnston; Jon E. Keeley; Meg A. Krawchuk; Christian A. Kull; J. Brad Marston; Max A. Moritz; I. Colin Prentice; Christopher I. Roos; Andrew C. Scott; Thomas W. Swetnam; Guido R. van der Werf; Stephen J. Pyne. (2009). Fire in the Earth System. Science. Vol. 324. Issue 5926. pp. 481-484

Cabrera A. L., (1973). Biogeografía de América Latina.

Chuvieco, E. y Martín, M. P. (1994). Global fire mapping and fire danger estimation using AVHRR images, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 60, 5, pp. 563 – 570.

Chuvieco, E., (2002). Teledetección Ambiental: la observación de la tierra desde el espacio. Barcelona. Ariel Ciencia.

Dirección Provincial de Defensa Civil, Gobierno de Río Negro. Informe Técnico de Pre-temporada 2016-2017. Septiembre 2016.

Hutchins, M.; Holzworth R.; Brundell J. and Rodger, C. (2012). Relative detection efficiency of the world wide lightning location network. RadioSci., 47, RS6005, doi:10.1029/2012RS005049.

Justice, C. O., Giglio, L., et al. (2002): "The Modis fire products", Remote Sensing of Environment, 83, pp. 244-262.

Kourtz, 1974. A system to predict the occurrence of lightning caused forest fires.

Koutsias, N., Karteris, M., Fernández, A., Navarro, C., Jurado, J., Navarro, R. y Lobo, A. (1999): "Burnt land mapping at local scale", en Chuvieco, E. (Ed): Remote sensing of large wildfires in the European Mediterranean basin. Berlin, Springer-Verlag, pp. 123-138.

Kunst, C.R., Bravo S. y Panigatti J.L. (Ed) (2003). Fuego en los Ecosistemas Argentinos. INTA. Santiago del Estero. 332 pp.

Latham, D., y Williams, E. (2001): "Lightning and forest fires", Forest fires. Behavior and ecological aspects en E. A. Johson y K. Miyanishi (Eds). San Diego, California, Academic Press, pp. 375-418.

Lawson et al, 1997. Probability of sustained smoldering ignition for some boreal forest duff types.

Miller, H. J. y Yool, S. R. (2002): "Mapping forest post-fire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal landsat TM and ETM data", Remote Sensing of Environment, 82, pp. 481-496.

Nicora, M. G. (2014). Actividad eléctrica atmosférica en Sudamérica. PhD diss. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas.

Pacheco Angulo, C.E., Aguado Suárez, I. y Nieto Solana, H. (2009): "Análisis de ocurrencia de incendios forestales causados por rayo en la España peninsular", GeoFocus (Artículos), nº 9, pp 232-249.

Roy, D., Lewis, P. E. y Justice, C. O. (2002): "Burned área mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data-a bi-directional reflectance model-based expectation approach", Remote Sensing of Environment, 83, pp. 263-286.

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. 37pp.

Vélez, R. (2000): La defensa contra los incendios forestales. Fundamentos y experiencias. Madrid, McGraw-Hill.

Virts, K. S.; Wallace, J. M.; Hutchins, M. L. and Holzworth, R. H. (2013). Highlights of a new ground-based, hourly global lightning climatology, Bull. Am. Meteorol. Soc., 94. Pp. 1381-1391, doi:10.1175/BAMS-D-12-00082.1.



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación