

Incendios generados por rayos en la zona central de Argentina

Lucía Pini^{1,2,3}, Daiana M Baissac^{1,2}, M Gabriela Nicora^{1,2,3,4}

Resumen En base a la hipótesis de que las descargas eléctricas son la principal causa natural de generación de incendios en este trabajo se estudian las condiciones bajo las cuales estos eventos son desarrollados en la zona centro-sur del país. Inicialmente se lleva a cabo una caracterización general de la actividad eléctrica atmosférica y las condiciones meteorológicas en la región entre 2012 y 2021. También se analiza la distribución y las características de los incendios ocurridos en Argentina desde octubre de 2018 hasta diciembre de 2021 lo que permite la construcción de una base de datos con esta información. Se selecciona un caso de estudio cerca de Bariloche, provincia de Río Negro, identificado como causado por descargas eléctricas y se analizan las condiciones meteorológicas de la zona tanto en los días previos como durante el incendio. Para esto se utilizan datos de redes de localización de descargas eléctricas (WWLLN y ENTLN), de reanálisis (ERA5) y de la estación Bariloche Aero del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para los estudios meteorológicos así como información proporcionada por el Servicio Nacional de Manejo del Fuego (SNMF) sobre la ocurrencia de incendios en Argentina.

Palabras clave Descargas eléctricas, incendios, Patagonia, WWLLN, tormenta.

INTRODUCCIÓN

Las descargas eléctricas representan la principal fuente natural de ignición de incendios forestales en muchas regiones del planeta (Dowdy & Mills, 2012). El continuo cambio climático y la actividad humana alteran los regímenes naturales de incendio, provocando un mayor desconocimiento de estos eventos y planteando una mayor dificultad en las tareas de manejo y mitigación del fuego.

La región norte de la Patagonia es la más afectada por la ocurrencia de incendios forestales y rurales en Argentina, siendo La Pampa y Río Negro dos de las tres provincias que presentaron el mayor número de hectáreas quemadas entre 2005 y 2015 (Zacconi & Toppazzini, 2018). La mayor ocurrencia de eventos o la temporada de incendios en la región norte de la Cordillera Patagónica comprende el período desde noviembre hasta abril, donde los grandes incendios se concentran en los meses de verano, desde enero hasta marzo (Kitzberger & Veblen, 2003; Kitzberger et al., 2022).

El desarrollo de incendios depende principalmente de las condiciones climáticas, el tipo de combustible y topografía del sitio donde se desarrolla el evento y la causa de ignición. La mayor influencia se asocia a las características locales, donde se requiere la disponibilidad de combustible lo suficientemente seco y abundante como para que se produzca la ignición y la posterior propagación del fuego. En este sentido, las variables climáticas más significativas son la precipitación, la temperatura superficial, el contenido de humedad y la velocidad del viento. Dowdy & Mills (2012) expresaron que la probabilidad de que una descarga eléctrica inicie un incendio es más elevada cuanto mayor sea la temperatura del aire a 2 m, menor la humedad relativa y mayor la velocidad del viento, en general por encima de 30 km/h.

Las descargas nube a tierra (CG, Cloud to Ground), también llamadas rayos, son las que se asocian a

¹Centro de Investigaciones en Láseres y sus Aplicaciones, Unidad de Investigación y Desarrollo Estratégico para la Defensa, CONICET, Villa Martelli, Argentina. Email: luciapini98@gmail.com

²CNRS – IRD – CONICET – UBA, Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI), Buenos Aires, Argentina.

³Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.

⁴Departamento de Investigaciones en Láseres y sus Aplicaciones, Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa, Villa Martelli, Argentina.

la generación natural de incendios de vegetación. Estas ocurren entre alguna región con carga eléctrica de la nube y la superficie terrestre y a su vez pueden clasificarse en función de la polaridad (carga neta transferida desde la nube al suelo) en positivas y negativas y de la dirección de propagación en ascendentes o descendentes, donde las negativas descendentes son las más comunes. Analizando la distribución de días de tormenta (Td, Thunderstorm days) en el país, definida como aquel día en el cual el sistema de detección registra al menos una descarga, se observa que por debajo de los 37°S se encuentran los valores mínimos de Td, los cuales no superan los 20 Td/año (Bertone et al., 2022).

Kitzberger et al. (2022) mostraron que en Argentina, de 1938 a 2004, los incendios causados por la actividad humana en el norte de la Patagonia representaron el 82,5 % del total. A pesar de ser menos frecuentes, los generados por rayos estuvieron asociados al 42,7 % del área quemada en el mismo período. Esto se debe a que este tipo de eventos suele desarrollarse en áreas remotas o de difícil acceso, lo que dificulta su detección y extinción tempranas. Por otro lado, desde el SNMF indican que en nuestro país, el 95 % de los incendios son generados por causas humanas.

Muchos modelos empíricos predicen aumentos en la probabilidad de incendios bajo las condiciones climáticas futuras, a lo largo de grandes áreas y se espera que la actividad de incendios en el noroeste de la Patagonia aumente significativamente durante el siglo XXI (Kitzberger et al., 2022). En este contexto, conocer y entender las relaciones entre la presencia de actividad eléctrica y el inicio de los incendios es de gran importancia para el análisis del impacto del fuego y el manejo del mismo, con el objetivo de poder reducir el tiempo de respuesta a estos eventos y, por ende, los daños que causan.

METODOLOGÍA

La región de estudio del presente trabajo comprende el sector centro-sur del país desde 37° a 43°S en latitud y desde 61.5° hasta 73.5°O en longitud durante el período 2012-2021. Esta zona fue elegida por ser una de las más afectadas por incendios forestales de gran magnitud en el país a pesar de presentar poca actividad eléctrica atmosférica.

Para estudiar las descargas eléctricas se utilizaron datos sobre la localización de las mismas extraídos de la World Wide Lightning Location Network (WWLLN, <http://wwlln.net/>) y la Earth Networks Total Lightning Network (ENTLN), ambas redes de detección terrestre. La WWLLN es una red global que utiliza receptores de ondas de radio de muy baja frecuencia (VLF), mientras que la ENTLN emplea sensores de banda ancha que detectan señales en un rango de frecuencia desde 1 Hz hasta 12 MHz.

Inicialmente se caracterizó la actividad eléctrica de la región de estudio mediante datos de localización de la WWLLN grillando la región con un espaciamiento de 0.2° en latitud y longitud (celdas de 20 x 20 km²). De esta manera se pudo obtener una cantidad promedio de rayos (flashes) anual para cada nodo de la grilla, pudiendo calcular posteriormente el número de días de tormenta (Td) y de flashes por Td en cada nodo. Para el caso de estudio seleccionado se utilizaron los datos de la variable flash proporcionados por la ENTLN para analizar la distribución de flashes por día y en la totalidad del período temporal definido para el evento en una zona más cercana al mismo.

El análisis general de las condiciones meteorológicas en la región se llevó a cabo con la información provista por el reanálisis atmosférico ERA5, una base de datos desarrollada por el European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) que combina modelos meteorológicos con observaciones adquiridas a lo largo de todo el planeta para brindar información de múltiples variables asociadas a estudios climáticos. De esta base de datos se utilizaron los datos de precipitación, temperatura media del aire a 2 metros de la superficie y viento a 10 metros para caracterizar climáticamente la región de estudio desde 2012 a 2021. Estas variables meteorológicas, junto a la humedad relativa y el BUI (Buildup Index), el cual sirve como indicador de la disponibilidad de combustibles medios y pesados para la combustión, fueron analizadas para el caso de estudio seleccionado a partir de datos provenientes de la estación meteorológica Bariloche Aero del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Por último, la distribución de incendios se analizó a través de los informes técnicos de ocurrencia generados por el Servicio Nacional de Manejo del Fuego (SNMF) y elaborados a partir de incendios reportados por las distintas jurisdicciones del país. Con estos reportes fue posible construir una base de datos con información de los incendios que sucedieron en Argentina desde el 25/10/2018 hasta el 31/12/2021, donde finaliza nuestro período de estudio. Las causas de incendio fueron agrupadas en cuatro grupos: Descarga Eléctrica, Negligencia, Humanas Intencionales y Sin Determinar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución anual promedio de Td y de Flashes entre 2012 y 2021 presenta una tendencia creciente hacia el sector noreste, donde los valores máximos son de aproximadamente 35 Td/año y 300 flashes/año, respectivamente. En las provincias de Río Negro y Neuquén se observan valores promedio de hasta 15 Td/año y 100 flashes/año, respectivamente.

Los resultados del promedio de Flashes por Td se presentan en la Figura 1a. Algunos sectores exhiben los máximos valores, como al oeste de Neuquén y Río Negro, o también en la zona del Mar Argentino, alcanzando hasta 15 flashes/Td. Es interesante destacar que en la parte sur de la región, en cercanías de Bariloche, no suele haber gran cantidad de Td o de rayos al año; sin embargo, la mayor cantidad de Flashes por Td podría indicar que las tormentas son menos frecuentes, pero más eléctricamente activas allí.

En cuanto a las condiciones climáticas de la región, se observa una importante variación longitudinal en el contenido de precipitación. Los mayores valores (3000-4000 mm/año) se presentan hacia el oeste, disminuyendo notablemente hacia la parte central (250 mm/año) y aumentando otra vez en el sector este de forma más leve (600 mm/año). La temperatura superficial presenta sus valores más bajos en la zona de los Andes y en el centro de la Patagonia. Este último sector muestra además los vientos más intensos que en general provienen del noroeste en toda la región.

El total de incendios reportados y localizados desde el 25 de octubre de 2018 y hasta 2021 para todo el territorio argentino fue de 5382. Analizando su distribución espacial se pueden distinguir distintos sectores con mayor concentración de eventos, siendo uno de ellos la zona cordillerana de los Andes desde Neuquén hasta Chubut, con poca extensión longitudinal. También se presentan sectores con poca o nula actividad de incendios, como en la mayor parte de la Patagonia al sur de Río Negro, exceptuando la zona de los Andes previamente mencionada.

Del total de incendios registrados en el país (5382 eventos), sólo 229 (4.25 %) son los que presentan la causa de ignición determinada. De estos, 118 incendios (51.53 %) están asociados a descargas eléctricas que representan las causas naturales de ignición de interés en este trabajo. La Figura 1b representa la distribución de los incendios identificados como generados por descargas eléctricas en la región de interés entre 2017 y 2021. En este caso, para complementar la información proporcionada por los reportes de ocurrencia, se incorporaron datos de los años 2017 y 2018 provistos por personal del SNMF. Se detectaron un total de 101 eventos ocurridos entre noviembre y abril, con una concentración significativa en los meses de diciembre y enero, representando un total de 63 eventos (62.38 %). Respecto a la ubicación de los focos, la zona de los Andes es la que muestra una mayor concentración. Hacia el este, en los alrededores del río Negro o en la provincia de La Pampa, también se presentan eventos aunque de manera dispersa.

Caso de estudio: Incendio “Complejo Lago Martín”

El incendio “Complejo Lago Martín” (41.51°S, 71.7°O) se desarrolló en las cercanías de los lagos Steffen y Martín, dentro del Parque Nacional Nahuel Huapi, en la provincia de Río Negro. Su fecha de inicio fue el 7 de diciembre de 2021 y a partir del 28 de marzo de 2022 se encontró en estado controlado, extinguiéndose completamente el 13 de abril del mismo año. Según el reporte emitido por el SNMF, se identificaron tres focos de incendio. La superficie afectada total fue de 6453 hectáreas y

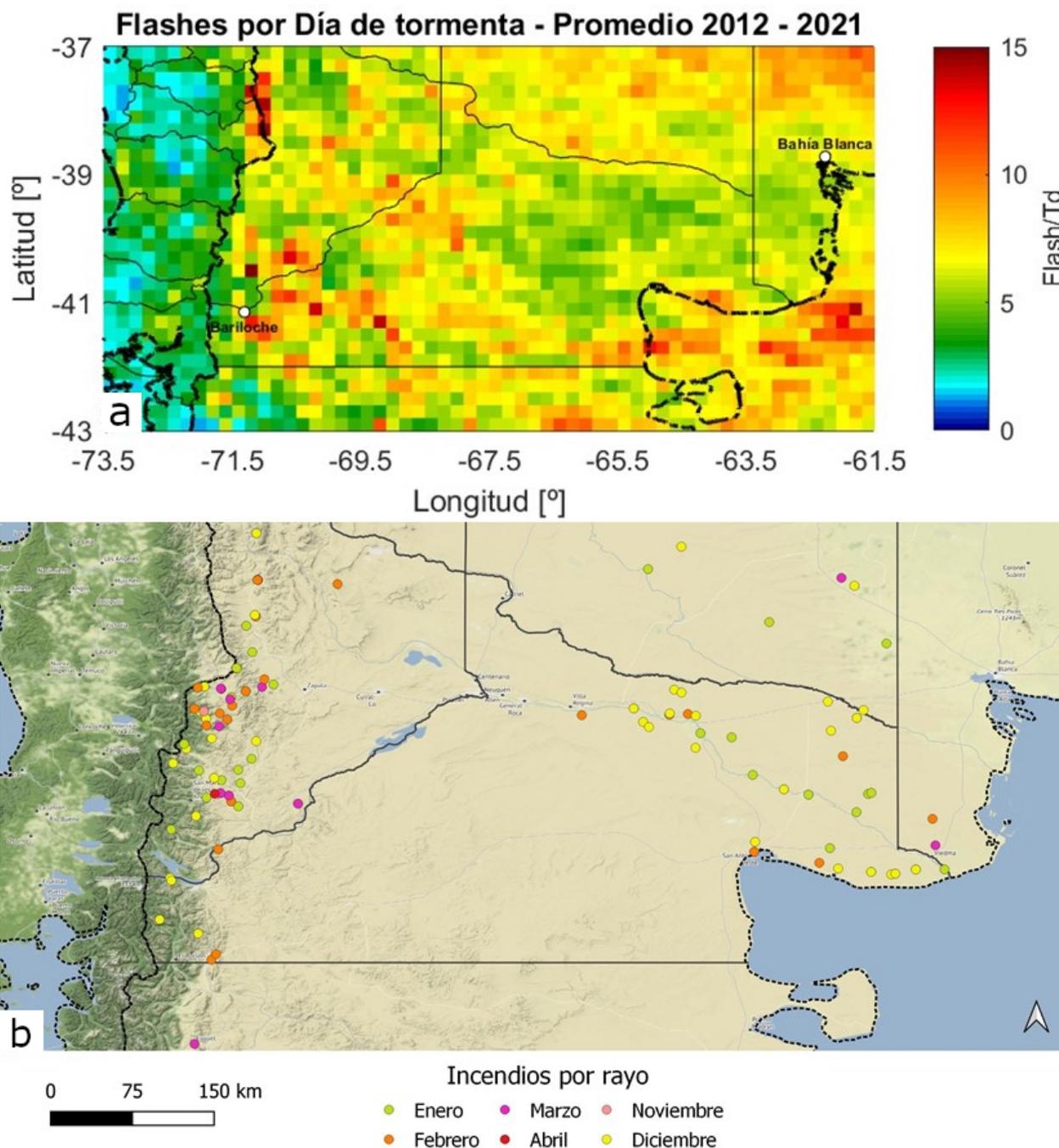


Figura 1. a) Distribución anual promedio de Flashes/Td en la región de estudio entre 2012 y 2021. b) Incendios generados por descargas eléctricas en la región de estudio entre 2017 y 2021, diferenciados por su mes de ocurrencia.

la vegetación quemada fue únicamente bosque nativo. La causa del incendio fue identificada como climática, debido a la ocurrencia de descargas eléctricas durante la mañana del 7 de diciembre.

Para analizar el incendio con mayor detalle, se estudió la zona delimitada entre 41.44° y 41.6°S en latitud y 71.46° y 71.76°O en longitud. De esta manera, se representaron en un mapa (Figura 2) los tres focos de incendio junto a las 51 descargas CG que ocurrieron en esa región (durante el 07/12), teniendo en cuenta la localización brindada por la red ENTLN. Además, se realizó un esquema de la superficie quemada gracias al informe técnico emitido por el SNMF para este incendio en particular.

Del estudio general realizado para la década 2012-2021, se obtuvo que en la zona donde se desarrolló

Incendio Complejo Lago Martin

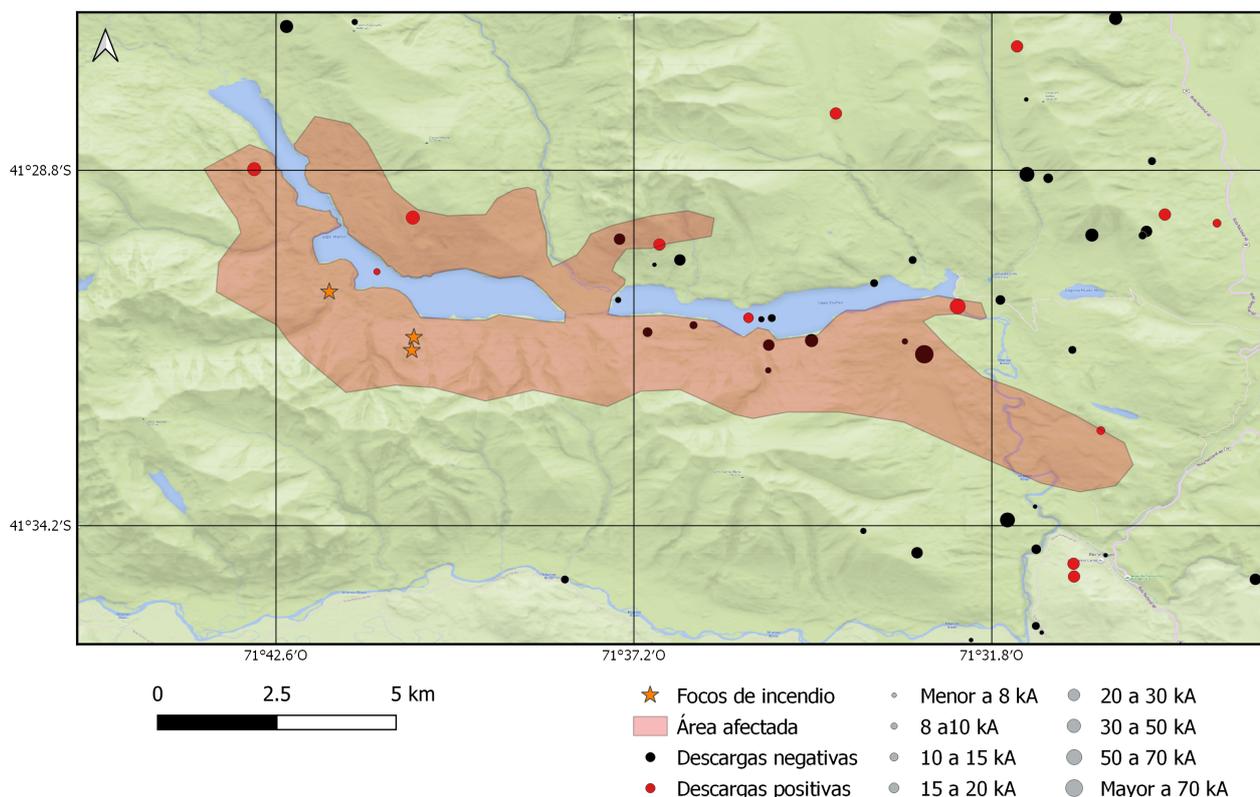


Figura 2. Incendio “Complejo Lago Martín”. Descargas CG durante el 07/12/2021; descargas positivas (rojo) y negativas (negro); el tamaño de los puntos varía con la intensidad de la corriente de pico. Las estrellas naranjas representan los tres focos del incendio. En rojo claro se muestra una estimación del área total afectada.

este incendio, en promedio se presentan menos de 50 flashes/año y aproximadamente 7 flashes/Td. Esto indica que la tormenta del 07/12/2021, con sus 51 descargas CG detectadas, presentó una gran cantidad de flashes para la zona. En las inmediaciones de los focos, se presentan sólo 3 descargas positivas, con una corriente pico de entre 9 y 38 kA. La descarga ubicada en la ladera donde se localizan los focos, hacia el oeste del lago, fue la de mayor duración (42 ms), con una corriente de aproximadamente 30 kA. Por último, la mayoría de las descargas CG detectadas en este sector son de polaridad negativa, con una corriente pico menor a 50 kA y todas ocurrieron entre las 11:00 y 12:00 UTC (hora local + 3).

Las condiciones meteorológicas asociadas al incendio fueron estudiadas, desde el 03/12 hasta el 09/12. Tomando un área cercana al evento, comprendida entre 41° y 42°S y entre 71° y 72°O, se detectaron 845 descargas CG, todas durante el 07/12. Analizando la evolución del BUI en la temporada 2021/2022, se presentaron valores cercanos a los máximos históricos hasta los primeros días del mes de diciembre, lo que indicaría una alta cantidad de combustible disponible para la ignición durante esos días.

Los valores medios de precipitación, temperatura máxima y humedad relativa para la estación Bariloche Aero típicos para el mes de diciembre son 25 mm, 21°C y 54 %, respectivamente. El único día que presentó precipitaciones fue el 07/12, alcanzando 8 mm, una cantidad considerable. La temperatura superficial mostró una tendencia de aumento en los días previos al incendio, alcanzando valores máximos de hasta 30°C el día 06/12, indicando condiciones más cálidas que lo habitual. Luego, hubo una disminución de la temperatura en el día del incendio, que volvió a crecer en los días posteriores. El máximo porcentaje de humedad relativa se alcanzó el día del incendio, con un valor medio de 58.13 %, debido al paso de la tormenta. En los días previos al evento, las condiciones

de humedad eran relativamente bajas, presentando valores diarios por debajo del valor medio en la zona. Por último, el registro de viento muestra un leve aumento en su intensidad el día anterior al incendio hasta alcanzar los máximos valores del período el 07/12, de hasta 50 km/h en las horas de la tarde-noche. Esta gran magnitud del viento podría haber ayudado a la propagación del fuego, iniciado durante la mañana.

Analizando todos los resultados en conjunto, la tormenta que ocurrió durante el 07/12, con elevada cantidad de descargas eléctricas, pudo haber sido la causante de la ignición. Sumado a esto, las condiciones previas fueron las adecuadas para el desarrollo y posterior propagación del fuego, con condiciones relativamente bajas de humedad y altas en temperatura, en conjunto con una alta disponibilidad de combustible (expresado por el índice BUI), como se mostró anteriormente. Por otro lado, la ausencia de precipitación en los días posteriores y las condiciones del viento podrían haber permitido que el incendio se propague eficazmente.

CONCLUSIONES

En este trabajo, inicialmente se realizó una caracterización general de la AEA y las condiciones meteorológicas en la región de estudio. También se analizó la actividad de incendios en Argentina durante los últimos años del período de estudio. Por último, se estudiaron las condiciones meteorológicas y las descargas eléctricas generadas en la zona del caso de estudio seleccionado, en los días anteriores y durante el incendio.

De la caracterización meteorológica general se puede concluir que, normalmente, la cantidad de Td y de descargas eléctricas (flashes) aumenta hacia el noreste de la región. En cuanto a los flashes por Td, se presentan algunos sectores con valores máximos, indicando regiones con mayor electrificación. Por otro lado, del análisis de las variables climáticas estudiadas se extrae que, en la región, se presenta una importante variación longitudinal en el contenido de precipitación. La zona central de la Patagonia presenta bajos valores de temperatura superficial y vientos intensos, que en general provienen del noroeste en toda la región.

La falta de determinación de causas de ignición es evidente en los reportes del SNMF, donde solo el 4.25 % de los incendios registrados tiene su causa identificada. De estos, más de la mitad (51.53 %) fueron generados por descargas eléctricas. La disponibilidad de esta información sería sumamente beneficiosa para este tipo de estudios, en donde se busca comprender mejor las condiciones en las que se desarrollan los incendios forestales.

En cuanto al análisis del caso de estudio, se observaron condiciones meteorológicas favorables para la generación y propagación del incendio. Los días previos al incendio estuvieron caracterizados por temperaturas elevadas, escasos valores de precipitación y alta disponibilidad de combustible para la ignición. La ocurrencia de gran cantidad de descargas eléctricas y el aumento en la intensidad del viento pudo haber facilitado la generación y la posterior propagación del fuego.

Por último, se pudieron identificar, en las cercanías de los focos, descargas de polaridad positiva, las cuales suelen asociarse más frecuentemente a una corriente de larga duración y baja intensidad, conocida como Long Continuing Current (LCC). Esta corriente, en general, se vincula con gran parte de los daños por efectos térmicos, como es el caso de los incendios. Además, estas descargas positivas cercanas presentaron, en general, larga duración, de hasta 42 ms.

Este trabajo mostró un estudio interdisciplinario en donde se debieron unir distintas bases de datos, de detección y localización de descargas eléctricas, de datos meteorológicos y de ocurrencia de incendios. Con esto, conocer las condiciones en las que se generan los incendios causados por rayos es fundamental para los tomadores de decisión de diferentes áreas, encargadas del estudio o el manejo de los incendios de vegetación.

Agradecimientos Los autores desean agradecer a la WWLLN, una colaboración de alrededor de 50 universidades e instituciones, como también a la ENTLN por proveer la localización de las descargas eléctricas utilizadas en este trabajo. Además, un agradecimiento especial reunión al personal vinculado a Parques Nacionales, por brindarnos información valiosa sobre el caso de estudio.

REFERENCIAS

- Bertone, F., Nicora, G., & Vidal, L.** (2022). Thunderstorm days over Argentina: Integration between human observations of thunder and the world wide lightning location network lightning data. *International Journal of Climatology*, 42(16), 9072–9087. <https://doi.org/10.1002/joc.7800>
- Dowdy, A. J. & Mills, G. A.** (2012). Atmospheric and fuel moisture characteristics associated with lightning-attributed fires. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(11), 2025–2037. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0219.1>
- Kitzberger, T., Tiribelli, F., Barberá, I., Gowda, J. H., Morales, J. M., Zalazar, L., & Paritsis, J.** (2022). Projections of fire probability and ecosystem vulnerability under 21st century climate across a trans-Andean productivity gradient in Patagonia. *Science of The Total Environment*, 839, 156303. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156303>
- Kitzberger, T. & Veblen, T. T.** (2003). *Fire and Climatic Change in Temperate Ecosystems of the Western Americas*. Springer, New York (Capítulo Influences of Climate on Fire in Northern Patagonia Argentina, 296–321). https://doi.org/10.1007/0-387-21710-X_10
- Zacconi, G. & Toppazzini, M.** (2018). Áreas afectadas por incendios forestales y rurales en la región pampeana y noreste de la región patagónica durante la temporada 2016-2017. *Informe Técnico*, 13.