

Análisis de la frecuencia de focos de calor en el noroeste de la provincia del Chaco entre 2001-2021

Juan Ariel Insaurralde^{oe} 

Eloy Montes Galbán[¶] 

Dante Edin Cuadra^Ω 

Resumen

En las últimas décadas, la provincia del Chaco ha experimentado una intensa expansión del frente agropecuario con la transformación de las coberturas naturales por coberturas antropogénicas. Este proceso ha generado conflictos por la tenencia de la tierra, desplazamientos de población y alteraciones ambientales, particularmente en la dinámica espacial de las coberturas y en la fragmentación del paisaje por uso del fuego como técnica para la transformación. En este contexto, el presente estudio analiza la distribución temporal y espacial de los focos de calor registrados entre 2001 y 2021, a partir de los datos obtenidos por el sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Se aplicaron métodos geoestadísticos para identificar patrones de agrupamiento y tendencias en diversos sectores del área de estudio. Los resultados revelan la existencia de zonas estables con mayor concentración de eventos de focos de calor en el sector centro sur del área de estudio. Además, se identificaron los meses en los que fueron más frecuentes los focos de calor, determinando una marcada estacionalidad. El análisis comparativo con las coberturas espaciales indica que la cobertura leñosa ha sido la más afectada a lo largo del periodo analizado.

Palabras clave: Argentina, Chaco, coberturas, focos de calor, teledetección.

Ideas destacadas: en este artículo de investigación se analizó la distribución espacial y temporal de los focos de calor captados mediante sensores remotos en un área de reciente expansión agropecuaria en la provincia del Chaco, Argentina. Asimismo, se estimaron cuántas coberturas fueron afectadas por ese fenómeno con mayor recurrencia.



RECIBIDO: 15 DE MARZO DE 2022. | EVALUADO: 22 DE JULIO DE 2022. | ACEPTADO: 05 DE JULIO DE 2023.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Insaurralde, Juan Ariel; Montes Galbán, Eloy; Cuadra, Dante Edin. 2025. "Análisis de la frecuencia de focos de calor en el noroeste de la provincia del Chaco entre 2001-2021". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 34 (2): 456-472. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v34n2.101639>.

^{oe} Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba – Argentina.  insaurralde.iibyt@gmail.com – ORCID: 0000-0002-1674-4421.

[¶] Universidad Nacional de Luján, Luján – Argentina.  emontesgalban@conicet.gov.ar – ORCID: 0000-0002-4075-4873.

^Ω Universidad Nacional del Nordeste, Resistencia – Argentina.  dante.cuadra@comunidad.unne.edu.ar – ORCID: 0000-0001-8562-2105.

 Correspondencia: Juan Ariel Insaurralde, Instituto de Investigaciones Biológicas (IIBYT), Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba, Argentina.

Analysis of the Frequency of Hot Spots in the Northwest of the Chaco Province between 2001-2021

Abstract

In recent decades, the province of Chaco has experienced an intense expansion of the agricultural front with the transformation of natural land cover by anthropogenic land cover. This process has generated conflicts over land tenure, population displacements and environmental alterations, particularly in the spatial dynamics of land cover and in the fragmentation of the landscape due to the use of fire as a transformation technique. In this context, the present study analyzes the temporal and spatial distribution of fire hot spots recorded between 2001 and 2021, based on data obtained by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer sensor. Geostatistical methods were applied to identify clustering patterns and trends in various sectors of the study area. The results reveal the existence of stable zones with a higher concentration of hot spot events in the south-central sector of the study area. In addition, the months in which hot spots were most frequent were identified, determining a marked seasonality. The comparative analysis with the spatial coverages indicates that the woody cover has been the most affected throughout the period analyzed.

Keywords: Argentina, Chaco, coverages, hot spots, remote sensing.

Highlights: in this article, the spatial and temporal distribution of heat sources captured by remote sensors in an area of recent agricultural expansion in the province of Chaco, Argentina, was analyzed and the coverages that were most frequently affected by this phenomenon were estimated.

Análise da frequência de fontes de calor no noroeste da província de Chaco entre 2001-2021

Resumo

Nas últimas décadas, a província do Chaco tem experimentado uma intensa expansão da frente agrícola com a transformação da cobertura natural por cobertura antropogénica. Este processo tem gerado conflitos pela posse da terra, deslocamentos populacionais e alterações ambientais, particularmente na dinâmica espacial da cobertura vegetal e na fragmentação da paisagem através do uso do fogo como técnica de transformação. Neste contexto, o presente estudo analisa a distribuição temporal e espacial dos focos de calor registados entre 2001 e 2021, com base em dados obtidos pelo sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Foram aplicados métodos geoestatísticos para identificar padrões de agrupamento e tendências em vários sectores da área de estudo. Os resultados revelam a existência de zonas estáveis com uma maior concentração de eventos de pontos quentes no sector centro-sul da área de estudo. Para além disso, foram identificados os meses em que os hot spots foram mais frequentes, determinando uma marcada sazonalidade. A análise comparativa com as coberturas espaciais indica que o coberto lenhoso foi o mais afetado ao longo do período analisado.

Palavras-chave: Argentina, Chaco, coberturas, focos de calor, teledetectação.

Ideias destacadas: este artigo de pesquisa analisou a distribuição espacial e temporal de fontes de calor captadas por sensores remotos em uma área de recente expansão agrícola na província de Chaco, Argentina. Da mesma forma, estimou-se quantas coberturas foram afetadas por esse fenômeno com maior recorrência.

Introducción

Desde la puesta en órbita de los primeros satélites de observación terrestre, el monitoreo constante de los recursos naturales ha sido posible gracias a la continuidad de programas satelitales como el Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), Landsat y Sentinel, entre otros. Estos programas proveen una gran cantidad de información sobre las coberturas terrestres y los fenómenos que ocurren sobre ellas, como los focos de calor, los cuales son registrados regularmente a escala global, permitiendo realizar diversos análisis espaciales y temporales (Di Bella et ál. 2008).

El avance de la frontera agropecuaria en el norte argentino está generando profundos cambios socioeconómicos en las zonas afectadas, así como significativas transformaciones en el uso del suelo con consecuencias negativas para la calidad ambiental y servicios ecosistémicos. Zarrilli (2016, 2020) destaca estos cambios en relación con el cultivo de soja, los desmontes y los procesos de desplazamiento poblacional (Cuadra 2012). En este contexto, el uso del fuego como técnica para la transformación de las coberturas naturales por coberturas de uso agropecuario adquiere un rol central, al estar estrechamente vinculado con dichos procesos de transformación.

Para analizar estas dinámicas, se emplean datos derivados de sensores remotos, tanto para la detección de focos de calor como para la caracterización de coberturas espaciales. El estudio de los focos de calor ha sido ampliamente desarrollado a nivel global, consolidándose como una herramienta clave para monitorear áreas afectadas y evaluar procesos de transformación de uso del suelo.

El análisis de los focos de calor puede abordarse desde dos dimensiones complementarias: espacial y temporal. La dimensión espacial puede analizarse mediante diversas técnicas, entre ellas la detección de áreas calientes (*hotspots*) a través del cálculo de densidades espaciales. Por su parte, el patrón temporal puede ser examinado mediante análisis exploratorio de datos, lo que permite estimar valores de tendencia central y calcular frecuencias de ocurrencia a lo largo del tiempo. Estas aproximaciones estadísticas ofrecen una comprensión más profunda del comportamiento de los eventos térmicos en el área de estudio.

La integración de este tipo de información con datos de coberturas espaciales permite identificar, a partir de la disponibilidad temporal tanto de datos de focos de calor como de mapas de coberturas, la frecuencia con la que este proceso se observa en determinada cobertura. Para

este análisis se cuenta con información espacial entre los años 2001 a 2021, lo cual permite asociar este fenómeno a las zonas agro productivas y además a las coberturas leñosas naturales.

El objetivo general de este trabajo es analizar la distribución espacial y temporal de los focos de calor en el área de estudio, con base en información satelital disponible para el período 2001–2021. Específicamente, se propone identificar áreas de concentración de focos de calor mediante mapas de calor (*hotspots*), generados a partir de estimaciones de densidad de *kernel*; determinar los períodos con mayor y menor frecuencia de ocurrencia de estos eventos mediante el cálculo de estadísticos descriptivos; y estimar la frecuencia de focos de calor en función de las diferentes coberturas espaciales, con el fin de comprender su relación con los procesos de transformación territorial y uso del suelo.

Antecedentes

El estudio del fuego a partir de sensores remotos puede ser abordado desde múltiples perspectivas de análisis. Numerosos trabajos (Cocke, Fulé y Crouse 2005; Bastarrika y Chuvieco 2006; Navarro Cerrillo et ál. 2008; Di Bella et ál. 2008; Martín y Rejalaga 2010; Kunst 2011; Mazo y López 2013; Lu, He y Tong 2016; Arellano et ál. 2017; Guerrero et ál. 2017; Delegido et ál. 2018; Cruz López 2018) centran su interés en la determinación de la superficie afectada por incendios a partir de álgebra de mapas con insumos derivados de imágenes satelitales. Estos insumos permiten diversos análisis, por ejemplo, la determinación de la severidad del quemado en un análisis comparativo entre una escena previa al fuego y posteriores al evento de fuego (Chuvieco y Anaya 2010).

Otro enfoque de investigaciones se orienta al estudio de la ocurrencia de focos de calor en distintas regiones del mundo, con el objetivo de determinar áreas con mayor frecuencia de estos eventos. A escala global, Giglio et ál. (2006) documentaron una alta recurrencia de focos de calor en diversas regiones del mundo. En el caso de Sudamérica, Opazo y Chuvieco (2013) Sugiero: determinaron que Brasil presenta la mayor frecuencia de focos de calor debido a su extensión territorial, mientras que, en países más pequeños, la frecuencia de focos de calor fue elevada en razón del desarrollo de sus actividades agrícolas.

En Argentina, Lizárraga (2010) identificó que, durante un período de 11 años, la mayor ocurrencia de focos de calor se registró en las provincias del norte del país, siendo

Santiago del Estero, Chaco, Salta, Santa Fe, Formosa, Corrientes y Entre Ríos las más afectadas. Según este autor, los meses de agosto y septiembre presentan los picos más altos de frecuencias en la región del Noreste Argentino (NEA). A nivel regional, Zaconi (2018) evalúa la relación entre el índice Meteorológico de Peligro de Incendio (FWI) y la frecuencia de focos de calor detectados por el sensor MODIS en Formosa, Chaco, Santa Fe y Santiago del Estero. Otras investigaciones sobre este fenómeno identificaron patrones espaciales y temporales particulares. En las sierras de Córdoba, Arganaraz (2016) utilizó bases de datos de imágenes entre 1999 y 2011 para establecer relaciones explicativas entre la ocurrencia de focos de calor y factores antropogénicos, biofísicos, climáticos. En las provincias de Salta y Jujuy, Lizárraga (2015) observó una tendencia al aumento en la frecuencia de los focos de calor en Jujuy, mientras que en Salta se mantuvieron estables, aunque el año 2013 fue particularmente crítico. En todos los casos, la presencia de focos de calor estuvo estrechamente ligada a las actividades antropogénicas.

Otros estudios han aplicado este tipo de análisis al monitoreo de áreas naturales protegidas. Lizárraga (2021) determinó que las zonas de influencia del Parque Nacional Río Pilcomayo (1.069 focos de calor) y del Parque Nacional El Impenetrable (2.096 focos de calor) registraron la mayor cantidad de focos de calor en 2021, en comparación con otras áreas protegidas.

En un contexto relacionado, Agüero y Garay (2017) analizaron la relación entre los focos de calor y las actividades agropecuarias en los Llanos de La Rioja, combinando imágenes satelitales de alta resolución espacial con trabajo de campo, para caracterizar y tipificar los eventos registrados en enero de 2017.

En términos espaciales, Bonfanti y Sánchez (2021) abordaron esta problemática en un área limítrofe con la zona de estudio de este trabajo, complementando el mismo hacia el este de la provincia del Chaco. A partir de un análisis de cinco años de observación (2015-2020), los autores identificaron una alta frecuencia de focos de calor asociados a las coberturas herbáceas vinculadas con prácticas agropecuarias tradicionales. Asimismo, destacaron la existencia de normativas específicas sobre el uso del fuego en la región y propusieron recomendaciones sobre dichas prácticas.

Área de estudio

El área de estudio se localiza en el sector noroeste de la provincia del Chaco, Argentina, y abarca los departamentos

de Almirante Brown, General Güemes y Maipú. La delimitación de esta región se basa en trabajos previos (Cuadra, Insaurralde y Galbán 2020) y tiene una superficie aproximada de 46.384 km². Limita al norte y noreste con la provincia de Formosa; al sur, con los departamentos 9 de Julio, Comandante Fernández, General Belgrano e Independencia; al este, con los departamentos Libertador General San Martín y Quitilipi; y al oeste, con las provincias de Salta y Santiago del Estero.

La región se caracteriza por una dinámica de expansión agropecuaria con un frente de avance mayormente consolidado en el sector sur del área de estudio. La histórica deforestación, junto con los cambios en los sistemas productivos —especialmente el reemplazo de cultivos tradicionales por monocultivos de oleaginosas y forrajes—, ha impulsado un proceso de transformación territorial sustentado en desmontes a gran escala. Esta dinámica permite el incremento de superficies destinadas tanto al cultivo como a la ganadería, fenómeno que también se ha observado en otras áreas del norte argentino, bajo la influencia de modelos productivos de alcance global (Paolasso, Krapovickas, y Gasparri 2012; Schmidt 2015). En la Figura 1 se puede observar la localización del área de estudio y la representación de algunas características.

Metodología

A partir de los datos provistos por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), se extrajeron los polígonos correspondientes a los departamentos de General Güemes, Almirante Brown y Maipú, ubicados en el noroeste de la provincia del Chaco. Posteriormente, se disolvieron los límites de los polígonos para generar los límites del área de estudio. Para el análisis de los focos de calor, se emplearon los datos del sensor MODIS, obtenidos de Fire Information For Resource Management System (FIRMS)¹. Se seleccionaron los registros correspondientes al periodo comprendido entre 01 de enero de 2001 y el 31 de diciembre de 2020, se extrajeron únicamente los datos localizados dentro del área de estudio. Adicionalmente, se eligieron los datos con una calidad $\geq 30\%$, según las especificaciones de la *Guía de usuario de los datos MODIS* (Giglio et ál. 2018).

La temperatura de brillo constituye la variable más relevante dentro del conjunto de datos obtenidos, debido a que establece una relación entre la intensidad captada

¹ Obtenido desde el sitio web: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>.

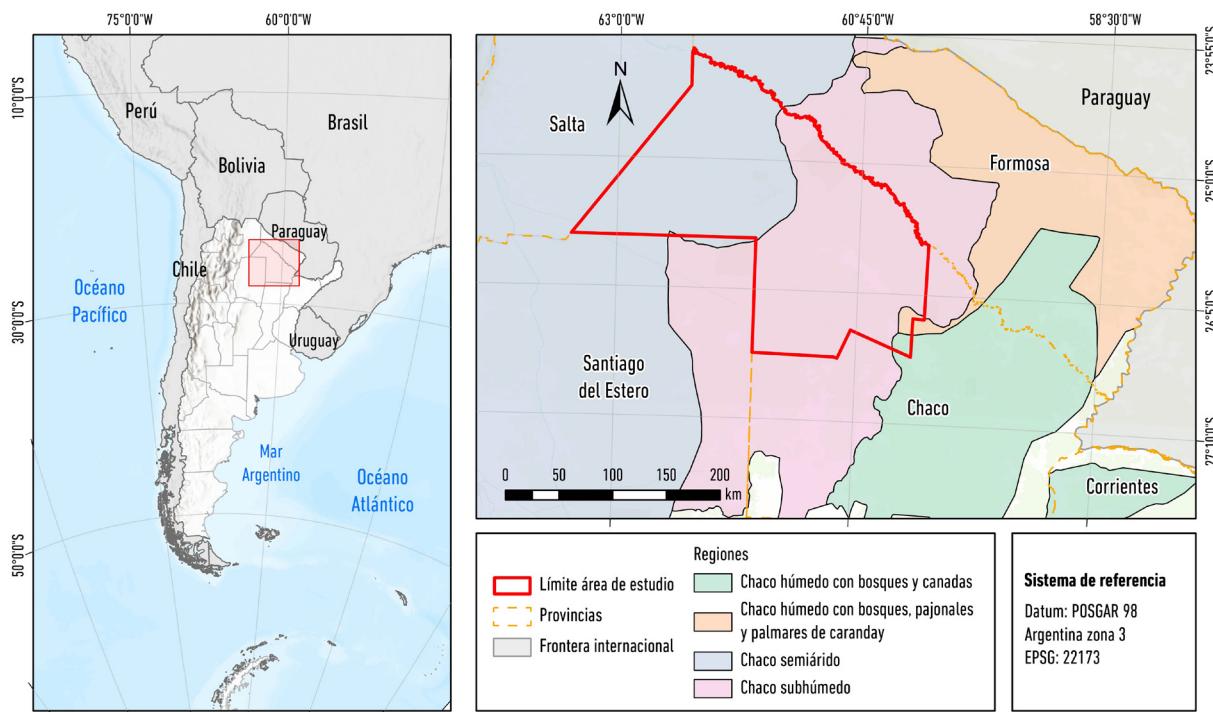


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.

Datos: elaboración propia a partir del IGN (2022).

por el sensor y la energía emitida en la superficie de los focos de calor. Cabe destacar que el sensor MODIS presenta limitaciones en la identificación de estos eventos, que se reducen, en las mejores condiciones, a un área de aproximadamente 1.000 m² (Giglio et al. 2021).

Una vez filtrados los datos de focos de calor, los mismos fueron sometidos a un proceso de análisis exploratorio con el fin de generar información de base y estimar valores estadísticos para esta variable. A partir de la información generada, se estimaron las frecuencias mensuales tanto para la serie completa de 20 años de observación como para cada año de la serie histórica, se construyeron diversos gráficos para representar las variaciones observadas.

Con el propósito de identificar patrones espaciales del fenómeno en estudio, se realizaron análisis de densidad de *kernel* o *hotspot*, tanto de manera anual como para la serie temporal completa. A partir de estos análisis, se extrajeron los valores superiores a 50 % y a 75 %, respectivamente, con el fin de delimitar una zona núcleo o de concentración de la densidad de los focos de calor.

Finalmente, mediante un análisis de superposición, se realizó un conteo de los focos de calor según cada tipo de cobertura, se tomó como referencia la cartografía del

proyecto MapBiomas Chaco². Se consideraron todos los años de observación para obtener un recuento anual de focos de calor por cobertura, lo que permitió analizar su frecuencia en relación con los distintos tipos de superficie.

Resultados

Patrones de distribución temporal de los focos de calor

La distribución anual de los focos de calor presentó un valor promedio de 2.711 eventos durante el periodo de observación de 20 años (2001-2021). El valor mínimo se registró en 2001, con un total de 828 eventos, mientras que el máximo ocurrió en 2020, con 5.121 eventos. En diez de los años analizados, los valores superaron el promedio general. Asimismo, se identificaron tres períodos —algunos consecutivos y otros aislados— en los que

² MapBiomas Chaco es un proyecto de mapeo de coberturas con extensión ecorregional disponible en: <https://chaco.mapbiomas.org/>.

la cantidad de eventos superó el tercer cuartil (3.467): los años 2003 y 2004, luego 2007, 2008 y 2009; y finalmente 2020. Esto permite inferir que la serie temporal de datos de focos de calor no presenta un comportamiento homogéneo. Es probable que este patrón se vea afectado principalmente por factores climáticos como eventos de sequía, que tienden a incrementar la frecuencia de estos focos, tal como lo sostiene Aglae-Díaz et ál (2023) en su estudio en la provincia de Formosa, que limita al norte del área de estudio. Al comparar los períodos de incremento extremo (Figura 2) con evaluaciones regionales de sequía (Bettolli, Rivera y Penalba 2010) se observa coincidencia con máximos negativos de sequía en la región del Chaco, especialmente durante el evento de 2008-2009. De forma

concordante, De Marzo et ál. (2021) identificaron que, en la ecorregión del Chaco seco, los incendios causados por acción humana sobre bosques naturales aumentaban durante los períodos de sequía. Kunst (2011), por su parte, advierte que la acumulación de material combustible en épocas húmedas también representa un factor de riesgo, ya que estos períodos generan una mayor disponibilidad de biomasa inflamable. No obstante, más allá de la influencia climática a escala regional, estos eventos deben entenderse también como el producto del manejo intencional del fuego en contextos agroproductivos, lo cual implica una complejidad analítica relacionada con factores económicos, legales, sociales y políticos, que se manifiestan en transformaciones espaciales.

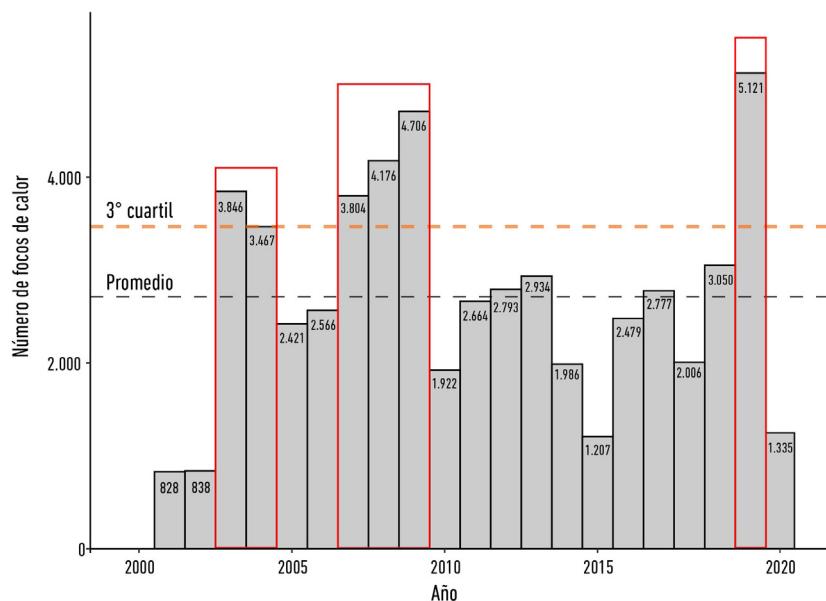


Figura 2. Número de focos de calor anual para la serie 2001-2021.

Datos: FIRMS (2001-2021).

Por su parte, el recuento mensual de focos de calor durante la serie analizada (Figura 3) mostró un máximo en el mes de agosto, con un valor acumulado de 17.849 eventos, seguido de septiembre, con 15.839. Los meses de julio y octubre presentaron valores superiores a la media, aunque sin superar el tercer cuartil, o ubicándose en niveles muy cercanos a este. En contraste, los valores tienden a disminuir en los meses de noviembre y diciembre.

De estos datos se desprende un patrón estacional marcado: por un lado, un ciclo alto de ocurrencia de focos de calor que inicia en julio y concluye en diciembre; por otro, un ciclo con bajos valores entre enero y junio.

Las estaciones de invierno y primavera coinciden con el periodo de mayor actividad, mientras que verano y otoño corresponden al ciclo de menor incidencia.

Este patrón es similar en otras regiones o provincias del territorio nacional, Lizárraga (2015) identificó una distribución unimodal de los focos de calor en las provincias de Salta y Jujuy. Zaconni (2018) observó un incremento en la frecuencia de eventos durante la estación seca —de julio a octubre— en las provincias de Formosa, Chaco, Santiago del Estero y Santa Fe. Estos meses constituyen el periodo crítico para el Sistema Federal de Alerta contra incendios.

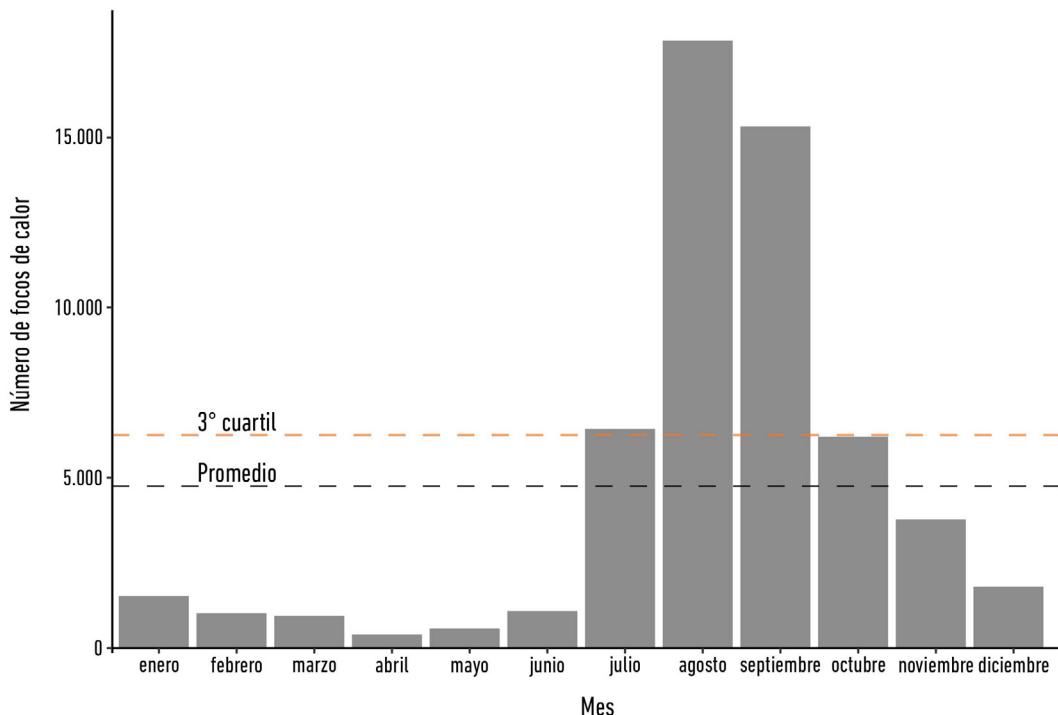


Figura 3. Número de focos de calor por mes durante 2001-2021.

Datos: FIRMS (2001-2021).

Esta distribución mensual de los focos de calor se vincula estrechamente con los ciclos productivos que emplean el fuego como herramienta de manejo de cultivos y pastizales destinados al pastoreo. Este patrón se encuentra en concordancia con los regímenes termo-pluviométricos de la ecorregión chaqueña, la más afectada por los focos de calor en el territorio nacional. Según Kunst (2011), el ciclo de incendios en dicha región se inicia tras a las primeras heladas, cuando se acumula gran cantidad de material combustible. Las condiciones climáticas de baja humedad relativa y el aumento de la velocidad del viento favorecen la propagación del fuego, mientras que la temporada de incendios concluye con las primeras lluvias intensas, generalmente entre octubre-noviembre, cuando se incrementa la humedad relativa.

La representación gráfica mediante diagramas de cajas y bigotes para la serie analizada (Figura 4 y Tabla 1) evidenció que los meses de agosto y septiembre concentraron los valores máximos más elevados. En particular, el mes de agosto registró un valor máximo atípico de 1.865 focos de calor en 2009. Por otra parte, se identificó que este mes presentó una caja de menor tamaño con respecto a septiembre y muy similar a julio y octubre, aunque con una altura mayor, con una mediana en los

611 focos de calor. La longitud de los bigotes presentó valores alejados de la mediana en comparación con el resto de los meses.

En contraste, septiembre mostró una mayor concentración de focos de calor entre el primer y tercer cuartil, con un rango intercuartílico mayor al del resto de los meses, aunque su valor medio fue menor al igual que la mediana.

Los meses de julio y presentaron un comportamiento similar en cuanto al desarrollo de las cajas y los bigotes del gráfico. Los valores medios fueron cercanos, 306 y 313 focos de calor, respectivamente. No obstante, el valor máximo registrado en julio fue más elevado que el de octubre, siendo este último un dato atípico.

Noviembre mostró una caja y bigote de menor tamaño en comparación con los meses anteriores, con una media de 180 focos de calor y un máximo de 1.027, este último también considerado atípico.

El resto de los meses de la serie presentaron tamaños de cajas y bigotes menores, con promedios que oscilan entre 89 y 21 focos de calor. En algunos casos (enero, febrero, marzo y junio), se observaron valores máximos atípicos, que variaron entre 239 y 190 focos de calor. Todos estos meses presentaron valores atípicos.

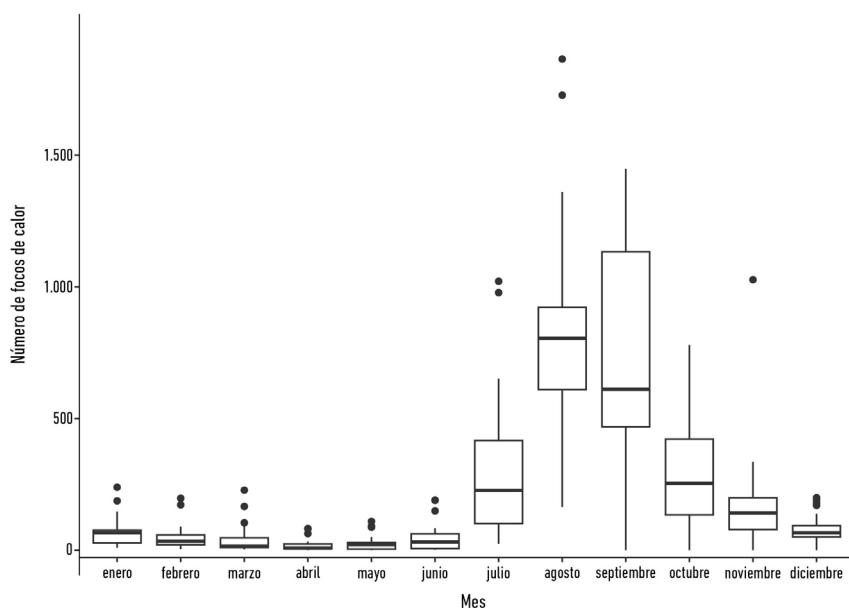


Figura 4. Diagrama de cajas y bigotes para la variable focos de calor mensual para la serie 2001 - 2021.
Datos: FIRMS (2001-2021).

A partir de lo expuesto, se puede afirmar que, si bien el mes de agosto presentó las frecuencias más elevadas en la serie analizada, al excluir los valores atípicos,

septiembre muestra los valores más altos. Sin embargo, este mes también presenta una mayor dispersión y una mediana más baja en comparación con agosto.

Tabla 1. Estadísticos calculados para la variable focos de calor (2001-2022)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep- tiembre	Octu- bre	Noviem- bre	Diciem- bre
Min	9	4	3	2	1	1	24	164	81	61	17	12
Q1	27	20	10	6	4	6	101	610	476	165	78	55
Mediana	66	34	15	8	21,5	31	227	805	611	266	141	66
Mean	72,8	48,7	44,7	20,9	28,9	51,7	306,1	850,0	754,2	312,5	180,4	88,9
Q3	76	58	47	25	32,3	62	416	922	1.133	422	199	93
Max	239	197	228	82	109	190	1021	1.865	1.448	779	1.027	199

Datos: FIRMS (2001-2021).

Patrones de distribución espacial de los focos de calor

Los datos iniciales para el análisis de patrones espaciales de los focos de calor en el área de estudio comprendían un total de 59.577 puntos. Tras aplicar un filtro de confiabilidad igual o superior al 30 %, la cantidad de datos se redujo a 57.886 puntos (Giglio et ál. 2021; Tabla 2).

A simple vista, la distribución de los focos de calor presentó una concentración en el sector centro sur del área de estudio. No obstante, cabe mencionar que se trató de la concentración de todos los datos en un periodo de veinte años.

Tabla 2. Rangos de confiabilidad *hotspot*. MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide Version B

Categoría de confiabilidad	Campo de confiabilidad
Baja	< 30 %
Nominal	Entre 30 y 80 %
Alta	> 80 %

Fuente: Giglio et al. (2018).

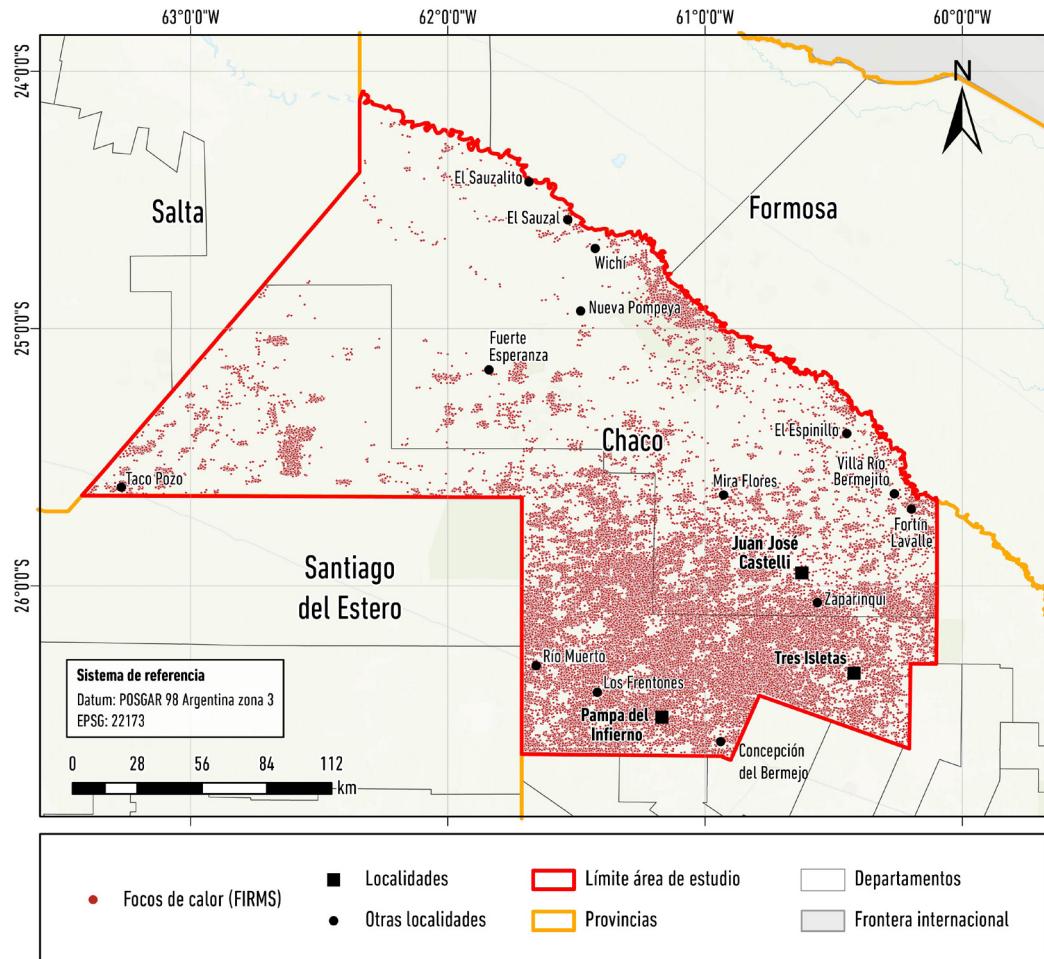


Figura 5. Distribución de los focos de calor detectados por el sensor MODIS desde 2001 a 2021 con un nivel de confiabilidad nominal y alta ($\geq 30\%$). Datos: elaborado a partir de los datos de focos de calor provistos por FIRMS (2021-2021).

Considerando esta información de forma anualizada fue posible identificar patrones de distribución espacial con tendencia a la concentración, particularmente en el área central del territorio analizado.

En este sentido, se estimaron mapas de densidad de núcleo (Figura 6) para la variable temperatura de brillo (en $^{\circ}\text{K}$) la cual deriva de los datos del sensor MODIS, con el fin de destacar las áreas con mayor intensidad y reducir

el sesgo espacial. La distribución de los focos de calor en mapas de densidad, expresada en porcentajes, mostró su mayor concentración mediante colores rojos intensos, los cuales se degradan hacia tonos verdes conforme disminuyen la concentración de eventos y la intensidad bajas de temperatura de brillo.

De todos los años considerados en el periodo de estudio, 2017 presentó la mayor superficie de densidad

de núcleo superior al 75 %), alcanzando un total de 10.647 ha, resultado de los eventos de focos de calor. Otros años con valores elevados, superior a 75 %, fueron el 2008, 2006, 2014 y 2019, entre otros. Tal como se observa en la Figura 7, el rango del 75 % al 100 % de densidad de núcleo de focos de calor presentó valores notoriamente superiores en comparación con el resto de la serie. Si bien se registró una importante concentración en el centro-sur del área de estudio, también se identificaron altas densidades de focos de calor en el sector centro-oeste, cerca del límite con la provincia de Santiago del Estero.

La distribución espacial de las densidades anualizadas de focos de calor, ponderadas por la intensidad o temperatura de brillo, permitió identificar áreas donde los eventos de alta temperatura son frecuentes y tienden a agruparse espacialmente. Esta intensidad se relaciona con el uso del fuego por parte del ser humano. Como señala Kunst (2011), el fuego en sistemas agropecuarios, especialmente sobre pastizales y fachinales, suele ser severo bajo condiciones de baja humedad, agravadas por sequías persistentes. Estos factores favorecen focos de calor intensos, que pueden ser parcialmente mitigados por cordones forestales o parches de bosque nativo, salvo en condiciones extremas.



Figura 6. Distribución anual de la densidad de focos de calor en el área de estudio.
Datos: elaborado a partir de los datos FIRMS (2001-2021).

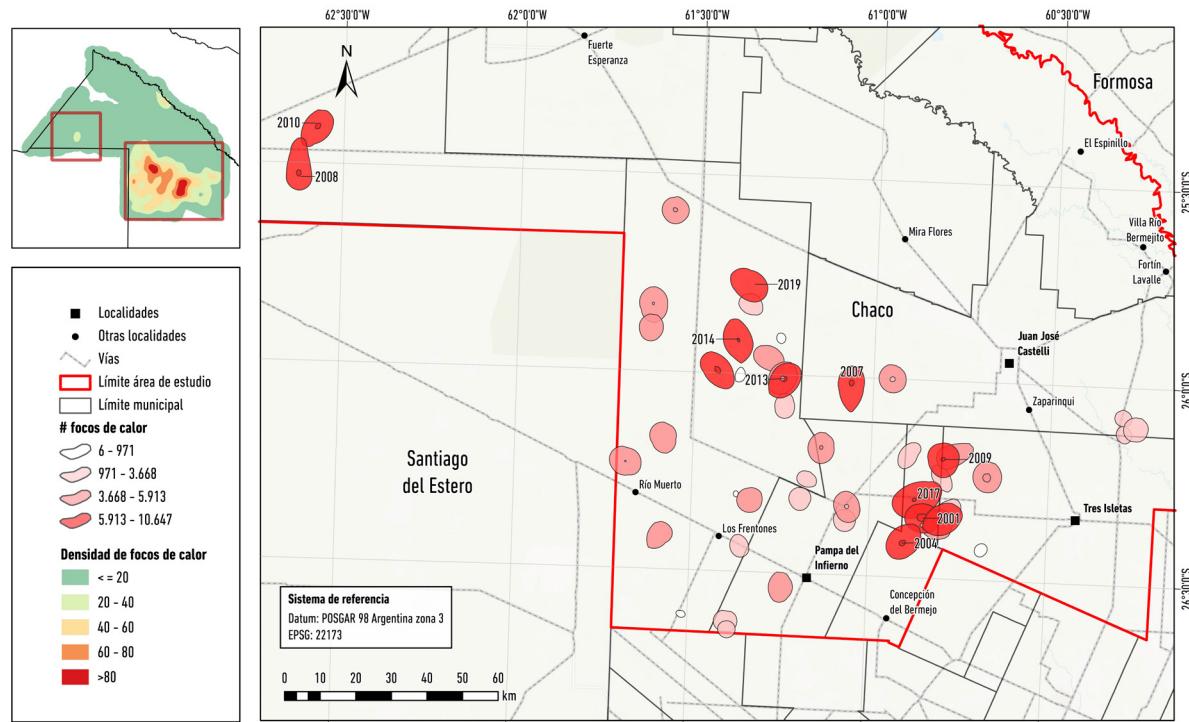


Figura 7. Áreas con densidad de focos de calor $\geq 75\%$.

Datos: elaborado a partir de los datos FIRMS (2001-2021).

Nota: su distribución total se concentra principalmente en la zona centro sur del área de estudio.

Al considerar la distribución histórica de los focos de calor entre 2001 y 2021, se evidenció una concentración elevada en el centro-sur (Véase Figura 7), resultado de la combinación anual de los focos de calor. Este patrón coincide con la localización entre la Ruta Nacional N°16 y la Ruta Provincial Juana Azurduy.

La superposición de la densidad de núcleo de los focos de calor con la distribución de las localidades y la red vial evidenció una ocupación predominantemente rural, con escasa infraestructura vial relevante. Predominan caminos rurales y rutas levemente conectadas. Asimismo, las áreas con mayores densidades de frecuencia de focos de calor ponderadas por la temperatura de brillo ($^{\circ}\text{K}$) tienden a solaparse y agruparse en dos sectores específicos, lo que sugiere un patrón de recurrencia. Es probable que se trate de zonas donde el uso del fuego como práctica agropecuaria está fuertemente arraigado y se aplica a gran escala.

La superposición de los valores de densidades de núcleo (ponderados por la temperatura de brillo) y con el mapa de coberturas —calculado a partir de la mediana del periodo 2001-2021— devuelve el píxel más frecuente del uso del espacio en relación al porcentaje de densidad de núcleo

estimado para esta variable, mostró que las mayores concentraciones de densidad coinciden con áreas con baja proporción de superficie agrícola y gran presencia de cobertura leñosa (Figura 8). Esto puede vincularse al avance del frente agrícola sobre formaciones leñosas, como señala De Marzo et ál. (2022), quienes destacan que entre 1990 y 2017 las principales perturbaciones sobre formaciones forestales fueron el clareo, el fuego y, en menor medida, la tala.

Esto se comprobó al estimar la proporción de superficie de las coberturas principales existentes en los rangos de densidad de focos de calor propuestos (Figura 9). Se observa que:

1. En el rango 0 % a 25 % de densidad de focos de calor, correspondiente a una superficie total de 4.875.357 hectáreas, la cobertura predominante fue la de leñosa, con valores de 77,2 % respecto del total de coberturas presentes en ese rango, seguido por la cobertura cultivos con un 17,3 %.
2. En el rango comprendido entre 25 % a 50 % de densidad de focos de calor y una superficie total de 737.163 hectáreas, se observó una disminución

- de valores de superficie de leñosa a un 69,9 % respecto del total de coberturas y un aumento de las áreas cultivadas a un 18,8 %.
3. En el rango comprendido entre 50 % a 75 % de densidad de focos de calor, con una superficie total de 389.043 hectáreas se registró un 74,1 % de proporción de coberturas leñosas cerradas y un 16,8 % de cultivos anuales.
4. Finalmente, en el rango de 75 % a 100 % de densidad de focos de calor, con una superficie total de 84.096 hectáreas, presentó un 95,4 % de leñosas cerradas y un 0,1 % de cultivos anuales.

De lo anterior se infiere que la cobertura más afectada por eventos de alta intensidad y proximidad espacial es la leñosa (arbustos o bosques nativos), más que las áreas de cultivos.

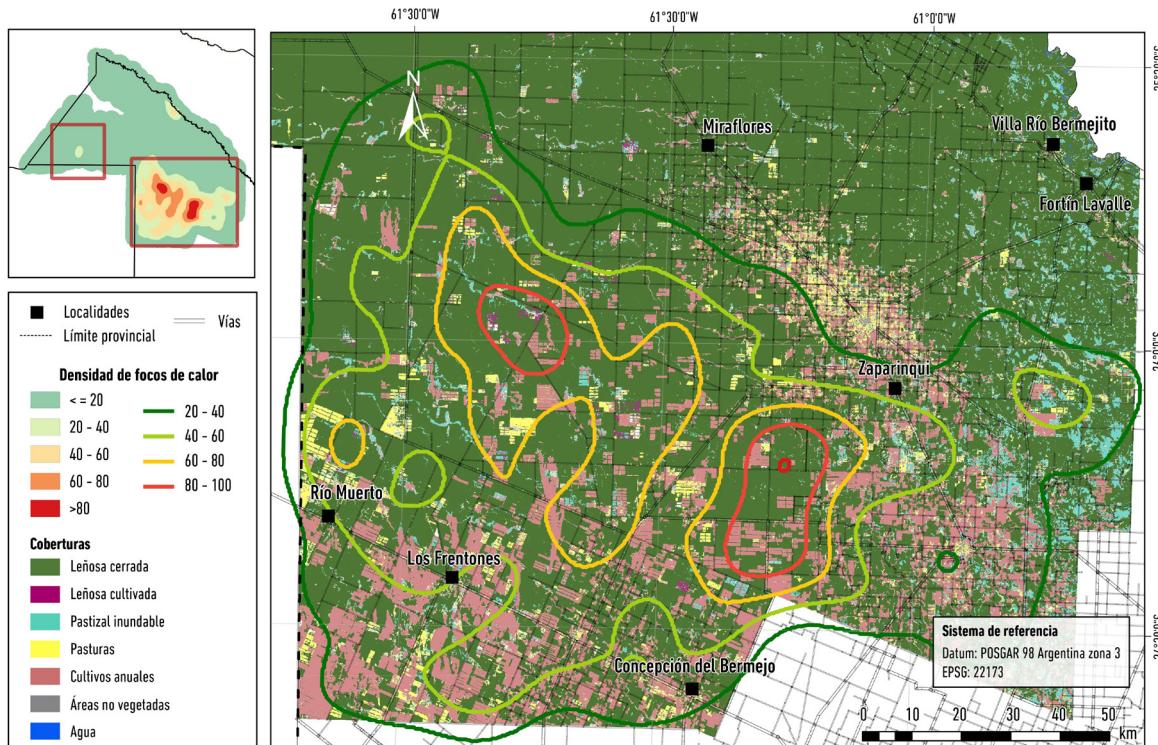


Figura 8. Distribución de la densidad de núcleo de los focos de calor (%) comparada con la mediana de las coberturas espaciales (2001-2021) según MapBiomas Chaco Colección 3 y la distribución de las localidades y la red vial.

Datos: elaborado a partir de los datos de FIRMS (2001-2021), MapBiomas Chaco (2021), DVP Chaco (2022).

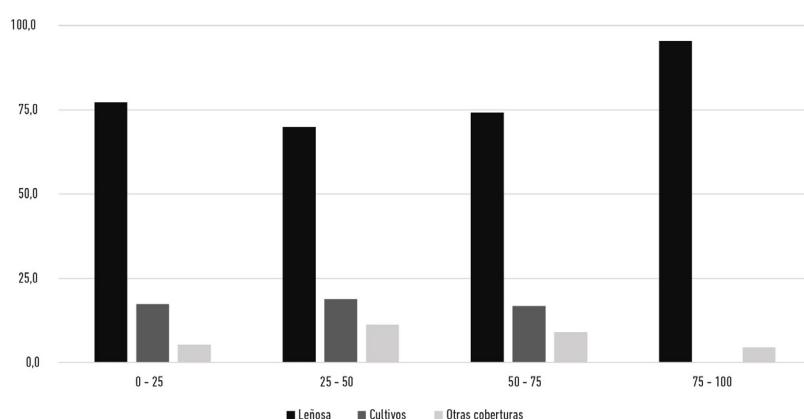


Figura 9. Proporción de cobertura espacial según rangos de densidad de focos de calor estimados para el periodo 2001-2021. Datos: elaborado a partir de los datos FIRMS (2001-2021).

El análisis de la densidad de los focos de calor por año (Figura 10), muestra que, para los rangos de 0 % - 50 % hubo una tendencia a la disminución en las superficies afectadas, con un pico en 2003 cercano a las 600.000 ha. En el rango de 50 % a 75 %, se identificaron los valores elevados en superficie afectada, especialmente al inicio

de los años de la serie, logrando un pico máximo en el 2011 para luego descender y levemente ascender hasta el 2021. El rango entre 75 % a 100 % de densidad de focos de calor es bajo comparado con los otros rangos y se lo observó, principalmente, para el 2001, para el resto de los años sus valores de superficie son bajos.

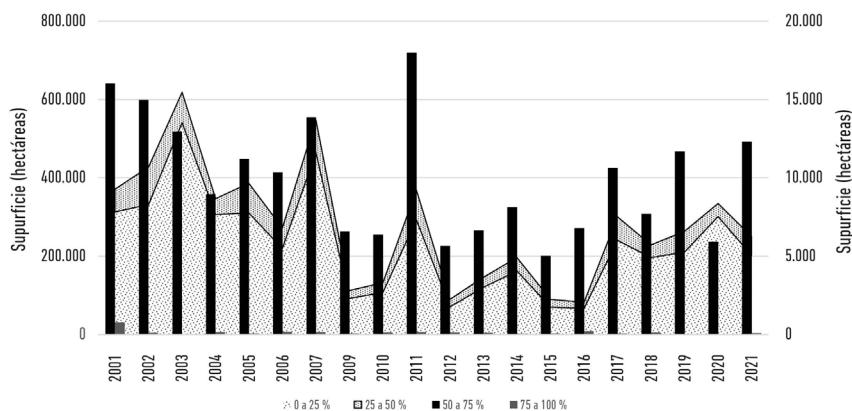


Figura 10. Superficie estimada de densidad de núcleo de focos de calor por rangos (%) y año (2001 a 2021).

Datos: elaborado a partir de los datos de FIRMS (2001-2021).

Nota: los rangos de 0 % a 50 % se encuentran representados en áreas en el eje derecho, mientras que los valores de superficie que corresponden al rango 50 % a 100 % se hallan representados en el eje izquierdo.

En cuanto a la distribución de los focos de calor por tipos de coberturas (Figura 11), la categoría leñosa cerrada presentó el mayor recuento de focos de calor en todos los años, seguida por los cultivos anuales y pastizales cerrados. A diferencia de lo planteado

por Kunst (2011), donde los pastizales favorecen la propagación del fuego y los bosques actúan como cortafuegos, este análisis sugiere la existencia de un régimen antropogénico del fuego en esta porción del Chaco seco.

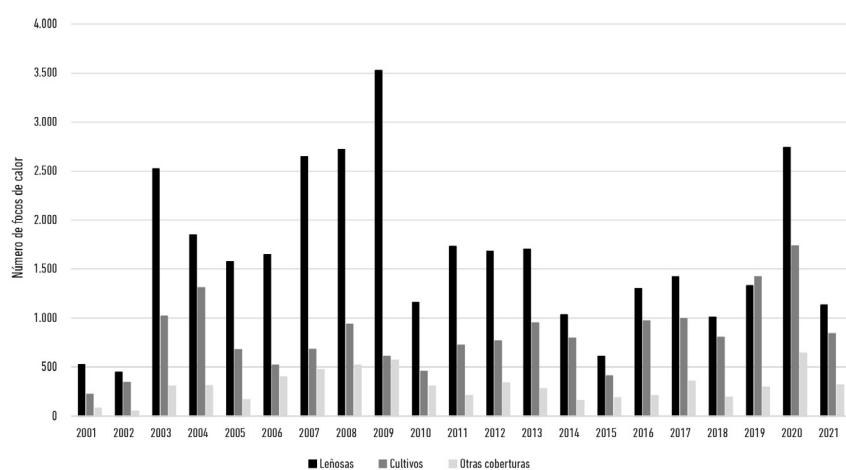


Figura 11. Distribución de los focos de calor por coberturas según MapBiomas Chaco Colección 3.

Datos: elaborado a partir de FIRMS (2001-2021).

Nota: el gráfico presenta un recuento de los focos de calor para cada año por las coberturas principales en las que se encuentra presente.

Conclusiones

La distribución temporal de los focos de calor muestra una concentración principalmente en los meses de agosto y septiembre, aunque también se registraron valores elevados en julio, octubre y noviembre. De este modo, se infiere que el ciclo de ocurrencia de focos de calor comienza en julio, alcanza su punto máximo en agosto y disminuye progresivamente hacia noviembre y diciembre.

La fase de con menor ocurrencia de eventos se identifica entre enero y junio. Si bien este patrón temporal corresponde al recuento total de la serie analizada, se registraron años específicos en los que dicho comportamiento no se cumplió, siendo esto excepción a la regla planteada anteriormente. Esta distribución temporal es típica de la ecorregión del Chaco Seco y ha sido documentada por varios autores como Lizárraga (2015); San Martín, Ottlé, y Sörensson (2023). A diferencia de la ecorregión Chaco Húmedo, que puede mostrar una distribución bimodal, el Chaco Seco presenta una marcada distribución unimodal, con valores máximos concentrados en el periodo seco. Este patrón puede intensificarse bajo condiciones de sequía, como las observadas en la provincia de Formosa por Aglae-Díaz et ál. (2023).

El cálculo anual de la densidad de núcleo de focos de calor, ponderado por la temperatura de brillo, permitió identificar una recurrencia espacial de valores elevados en zonas centro-sur del área de estudio, en coincidencia con una zona rural comprendida entre la Ruta Nacional Juana Azurduy y la Ruta Nacional 16. Si bien se identificaron patrones agrupados en los sectores centro-sur del área de estudio, también se observaron valores altos de densidad en sectores aislados al centro-oeste. Los núcleos de alta densidad fueron identificados espacialmente, principalmente en el área centro-sur, en diversos años de la serie. La delimitación de estas áreas, basada en focos de calor de alta densidad ponderados por temperatura (°K), indica que las zonas mayormente productivas —destinadas a cultivos y pastoreo— son las más afectadas por este fenómeno.

Carbone et ál. (2020) proponen una posible explicación: los incendios intencionales y reiterados impiden la regeneración del bosque chaqueño, manteniéndolo en un estado de sucesión temprana (matorrales o arbustales), lo que propicia condiciones para futuros incendios. En esta línea, Bravo (2014) destaca que, si bien el fuego es un componente natural de sabanas y pastizales chaqueños, su uso agropecuario no planificado deteriora los bosques que bordean las áreas intervenidas. Así, el recuento de

focos de calor por tipo de cobertura muestra una alta proporción en áreas naturales como las leñosas cerradas, seguidas de coberturas antropogénicas como cultivos anuales y pasturas. Esto sugiere una fuerte presión sobre las zonas poco transformadas, con el objetivo de convertirlas en áreas de producción mediante el cambio de uso del suelo.

Las áreas con mayor frecuencia de focos de calor, localizadas al centro-sur del área de estudio, se encuentran estrechamente vinculadas a zonas agroproductivas, particularmente entre las rutas ya mencionadas. También se identificaron núcleos de focos de calor en las cercanías de la localidad de Taco Pozo en 2008 y 2010. Las áreas con densidades entre 0 % y 25 % fueron altas al inicio de la serie, con valores entre 30.000 y 60.000 ha, pero disminuyeron con el tiempo. En cambio, las superficies con densidades entre 50 % y 75 % se mantuvieron relativamente estables, con fluctuaciones entre 5.000 y 18.000 ha. Esta evolución sugiere una posible relación con la implementación de la Ley de Bosques Nativos, antes de su aplicación, los incendios avanzaban sobre la mayoría de las coberturas; posteriormente, se evidenció una reducción, excepto en las áreas núcleo-productivas donde su uso es intencional y frecuente. Aunque el proceso de deforestación se ha desacelerado, aún persiste, incluso de manera ilegal. Schmidt (2015) advierte sobre esta situación a partir del análisis de las estadísticas oficiales y critica la limitada eficacia de la Ley de Presupuestos Míminos de 2007 para el control efectivo del desmonte.

Es importante destacar que futuras investigaciones sobre esta temática deberían centrarse en la evolución espaciotemporal de los *hotspot* de los focos de calor, con el objetivo de identificar sitios de persistencia y cambios a lo largo del tiempo, actualizando la serie de años analizada. Si bien este estudio se enfocó en el noroeste de la provincia del Chaco, investigaciones futuras contemplarán una mayor extensión territorial, basada en los límites ecorregionales.

Referencias

- Aglae-Díaz, Antonella, Félix Ignacio Contreras, Federico Ferrelli y Humberto Smichowski. 2023. “Efectos de las sequías en los focos de calor en la provincia de Formosa, Argentina: un análisis realizado con herramientas de teledetección”. *Novum Ambiens* 1 (1): e2336. <https://doi.org/10.31910/novamb.v1.n1.2023.2336>
- Agüero, Juan N. y Domingo D. Garay. 2017. *Ánalisis de “Focos de calor” en los Llanos de La Rioja. Enero 2017*. La Rioja: Estación

- Experimental Agropecuaria La Rioja, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Consultado el 12 de enero de 2021. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/17366>
- Arellano, Stéfano, J. A. Vega, F. Rodríguez y Silva, C. Fernández, Daniel Vega-Nieva, J. G. Álvarez-González y A. D. Ruiz-González. 2017. "Validación de los índices de teledetección dNBR y rDNBR para determinar la severidad del fuego en el incendio forestal de Oia-O Rosal (Pontevedra) en 2013". *Revista de Teledetección* 49: 49-61. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7137>
- Arganaraz, Juan. 2016. "Dinámica espacial del fuego en las Sierras de Córdoba". Tesis de doctorado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4062.7602>
- Bastarrika Izagirre, Aitor y Emilio Chuvieco Salinero. 2006. "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes TM y ETM+". *GeoFocus* 6, 182-204.
- Baumann, Matthias, Ignacio Gasparri, Ana Buchadas, Julián Oeser, Patrick Meyfroidt, Christian Levers, Alfredo Romero-Muñoz, Yann Le Polain De Waroux, Daniel Müller y Tobias Kuemmerle. 2022. "Frontier Metrics for a Process-Based Understanding of Deforestation Dynamics". *Environmental Research Letters* 17 (9): 095010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac8b9a>
- Bettolli, María L, Juan A Rivera y Olga C Penalba. 2010. "Regionalización de los días secos en Argentina. Un enfoque metodológico". *Meteorológica* 35 (2): 67-80.
- Bonfanti, Fernando Ariel y Matías Emanuel Sánchez. 2021. "Focos de calor registrados en el este del Chaco durante el período 2015-2020. Implicancia ambiental y manejo del fuego". *Geograficando* 17 (2): e105. <https://doi.org/10.24215/2346898Xe105>
- Bravo, Sandra Josefina. 2014. "Estudios sobre ecología de fuego en la región chaqueña occidental de Argentina". En *Educación e Investigación Forestal para un equilibrio vital. Cooperación Binacional Argentina-Brasil*, editado por Ana María Giménez y Graciela Inés Bolzón, 37-54. Santiago del Estero: Universidad Nacional de Santiago del Estero, Universidad Federal de Paraná.
- Carbone, Lucas M., Julia Rita Tavella, María Cecilia Naval Fernández, María Martha Bianchi, Juan Manuel Rodríguez, Paula Inés Marcora, María Silvana Longo, Roberto Carlos Urcelay, Pedro Jaureguiberry, Marcos Alejandro Landi, Sandra Bravo y Melisa Blackhall. 2020. "El fuego en los ecosistemas argentinos". *Folium - Relatos Botánicos*, no. 3, 1-21.
- Chuvieco, Emilio y Jesús A. Anaya. 2010. "Caracterización de la Eficiencia del Quemado a partir del análisis de series de tiempo del índice de vegetación EVI". Ponencia presentada en el XVI Simposio Internacional SELPER, Guanajuato, México. Del 8 al 12 de noviembre de 2010. <https://doi.org/10.13140/2.1.3397.6649>
- Cocke, Allison E., Peter Z. Fulé y Joseph E. Crouse. 2005. "Comparison of Burn Severity Assessments Using Differenced Normalized Burn Ratio and Ground Data". *International Journal of Wildland Fire* 14 (2): 189-198. <https://doi.org/10.1071/WF04010>
- Cruz López, María Isabel. 2018. "Una aproximación para estimar la eficiencia del quemado usando productos satelitales. Caso de estudio: México". *GeoFocus*, no. 21, 119-143. https://doi.org/10.21138/GF_562
- Cuadra, Dante Edin. 2012. "La problemática forestal en la Provincia del Chaco, Argentina. Un análisis desde la geografía". *Geográfica digital* 9 (18): 1-25. <https://doi.org/10.30972/geo.9182232>
- Cuadra, Dante Edin, Juan Ariel Insaurralde y Eloy Montes Galbán. 2020. "Evaluación espacio-temporal de la deforestación en el noroeste de la provincia del chaco 1986-2018: mediante el uso combinado de sistemas de información geográfica y procesamiento digital de imágenes". *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)* 12 (4): 1-10.
- De Marzo, Teresa, Dirk Pflugmacher, Matthias Baumann, Eric F. Lambin, Ignacio Gasparri y Tobias Kuemmerle. 2021. "Characterizing Forest Disturbances across the Argentine Dry Chaco Based on Landsat Time Series". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 98 (junio): 102310. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102310>
- De Marzo, Teresa, Nestor Ignacio Gasparri, Eric F. Lambin y Tobias Kuemmerle. 2022. "Agents of Forest Disturbance in the Argentine Dry Chaco". *Remote Sensing* 14 (7): 1758. <https://doi.org/10.3390/rs14071758>
- Delegido, Jesus, Alejandro Pezzola, Alejandra Casella, Cristina Winschel, Patricia Urrego, Juan Carlos Jimenez, José Antonio Sobrino, Guillem Pau Soria y José Moreno. 2018. "Estimación del grado de severidad de incendios en el sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina, usando Sentinel-2 y su comparación con Landsat-8". *Revista de Teledetección*, no. 51, 47-60. <https://doi.org/10.4995/raet.2018.8934>
- Di Bella, Carlos Marcelo, Gabriela Posse, María Eugenia Beget, Angeles Fischer, Nicolás Mari y Santiago Veron. 2008. "La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones". *Ecosistemas* 17 (3): 39-52.
- DVP Chaco (Dirección de Vialidad de la Provincia del Chaco). 2022. SIG Vial Chaco. Consultado el 12 de enero de 2021. <https://vialidadchaco.com.ar/sigvial>
- FIRMS (Fire Information for Resource Management System). 2001-2021. "MODIS Collection 6 NRT Hotspot / Active Fire De-

- tections MCD14DL". Consultado el 12 de enero de 2021. <https://doi.org/10.5067/FIRMS/MODIS/MCD14DL.NRT.0061>
- Giglio, Louis, G. R. van der Werf, James Randerson, G. J. Collatz y P. Kasibhatla. 2006. "Global Estimation of Burned Area Using MODIS Active Fire Observations". *Atmospheric Chemistry and Physics* 6 (4): 957-974. <https://doi.org/10.5194/acp-6-957-2006>
- Giglio, Louis, Wilfrid Schroeder, Joanne V. Hall y Christopher O. Justice. 2018. *MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide, Revision B*. College Park: University of Maryland. Consultado el 12 de enero de 2021. https://modis-fire.umd.edu/files/MODIS_C6_Fire_User_Guide_B.pdf
- Giglio, Louis, Wilfrid Schroeder, Joanne V. Hall y Christopher O. Justice. 2021. *MODIS Collection 6 and Collection 6.1 Active Fire Product User's Guide. Versión 1.0*. https://modis-fire.umd.edu/files/MODIS_C6_C6.1_Fire_User_Guide_1.0.pdf
- Giménez, Ana María y Juana Graciela Moglia. 2003. *Arboles del Chaco Argentino. Guía para el reconocimiento dendrológico*. Santiago del Estero: Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Guerrero, Aitor, Lydia Pineda, Vicenç Palà y Jordi Corbera. 2017. "Estudio de severidad en el incendio de Albinyana (Catalunya) a partir de datos SENTINEL-2". *Revista de Teledetección*, no. 49, 115-121. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7105>
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 2022. "Información Geoespacial". *Ministerio de Defensa*. Consultado el 13 de enero de 2021. <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/Principal>
- Kunst, Carlos. 2011. "Ecología y uso del fuego en la región chaqueña argentina: una revisión". *Boletín del CIDEU*, no. 10, 81-105.
- Lizárraga, Leonidas. 2010. *Focos de Calor MODIS registrados para Argentina (2003-2008): Caracterización espacial y temporal*. Sistema de Información de Biodiversidad, Nodo NOA, Delegación Regional Noroeste, Administración de Parques Nacionales. https://sib.gob.ar/archivos/informe_final_argentina.pdf
- Lizárraga, Leonidas. 2015. "Caracterización espacial y temporal de la situación de incendios en las provincias de Salta y Jujuy a partir de focos de calor MODIS (2003-2013)". Tesis de grado en Ingeniería de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Salta, Salta.
- Lizárraga, Leonidas. 2021. *Caracterización de la situación de incendios en las áreas protegidas nacionales de Argentina, a partir de focos de calor MODIS y VIIRS - Periodo 2003-2020*. Administración de Parques Nacionales. https://sib.gob.ar/archivos/atlas_focos_2020.pdf
- Lu, Bing, Yuhong He y Alexander Tong. 2016. "Evaluation of Spectral Indices for Estimating Burn Severity in Semiarid Grasslands". *International Journal of Wildland Fire* 25 (2): 147-157. <https://doi.org/10.1071/WF15098>
- Manzo Delgado, Lilia y José López García. 2013. "Detección de áreas quemadas en el sureste de México, utilizando índices pre y post-incendio NBR y BAI, derivados de compuestos MODIS". *GeoFocus*, no. 13-2, 66-83.
- MapBiomas Chaco. 2021. "Colección 3 de los mapas anuales de cobertura y uso del suelo". Consultado de 1 de enero de 2021. <https://acortar.link/Ji7TQ1>
- Martín Isabel, María del Pilar y Larissa K. Rejalaga Noguera. 2010. "Cartografía de incendios forestales en Paraguay mediante imágenes AQUA-MODIS". *Serie Geográfica*, no. 16, 61-70.
- Navarro Cerrillo, Rafael M., Antonio Hayas, Alfonso García-Ferrer, Rocío Hernández Clemente, Pamela Duhalde y Luis González. 2008. "Caracterización de la situación posincendio en el área afectada por el incendio de 2005 en el Parque Nacional de Torres del Paine (Chile) a partir de imágenes multiespectrales". *Revista Chilena de Historia Natural* 81 (1): 95-110. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2008000100008>
- Opazo, Sergio y Emilio Chuvieco. 2013. "Análisis geográfico de áreas quemadas en Sudamérica". *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, no. 13-3, 1-24.
- Oyarzabal, Mariano, José Clavijo, Luis Oakley, Fernando Biganzoli, Pedro Tognetti, Ignacio Barberis, Hernán M. Maturó, Roxana Aragón, Paula I. Campanello, Darién Prado, Martín Oesterheld, y Rolando J.C. León. 2018. "Unidades de vegetación de la Argentina". *Ecología Austral* 28 (1): 40-63. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.399>
- Paolasso, Pablo, Julieta Krapovickas y Nestor Ignacio Gasparri. 2012. "Deforestación, expansión agropecuaria y dinámica demográfica en el Chaco Seco Argentino durante la década de los noventa". *Latin American Research Review* 47 (1): 35-63. <https://doi.org/10.1353/lar.2012.0009>
- San Martín, Rodrigo, Catherine Ottlé y Anna Sörensson. 2023. "Fires in the South American Chaco, from Dry Forests to Wetlands: Response to Climate Depends on Land Cover". *Fire Ecology* 19 (1): id.57. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2926676/v1>
- Schmidt, Mariana Andrea. 2015. "Política ambiental, avance de la frontera agropecuaria y deforestación en Argentina: el caso de la ley 'De Bosques'". *Revista GeoPantanal*, no. 18, 121-139.
- Vallejos, María, Melina Faingerch, Daniel Blum y Matías Mastángelo. 2022. "'Winners' and 'Losers' of the Agricultural

- Expansion in the Argentine Dry Chaco". *Landscape Research* 47 (6): 723-734. <https://doi.org/10.1080/01426397.2020.1808965>
- Zacconi, Gabriel. 2018. *Ánálisis preliminar de focos de calor MODIS con componentes del FWI en el norte de Argentina*. Informe Técnico N° 12. Esquel: Servicio Nacional de Manejo del Fuego, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ambienteanalisispreliminarfocoscalormodis_160317_02_final.pdf
- Zarrilli, Adrián Gustavo. 2016. "Nuevas formas de politización y conflictos socio-ambientales en el mundo rural argentino: las provincias de Chaco y Formosa frente a los procesos de deforestación y avance de la frontera agrícola (1980-2010)". *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC): Revista de la Solcha* 6 (1): 11-29. <https://doi.org/10.5935/2237-2717.20160002>
- Zarrilli, Adrian Gustavo. 2020. "Tierra y veneno. La expansión de la frontera agropecuaria en el Gran Chaco Argentino y sus conflictos socio-ambientales (1990-2017)". *Revista de Paz y Conflictos* 13 (1): 175-201. <https://doi.org/10.30827/revpaz.v13i1.11503>

Juan Ariel Insaurralde

Doctor en Geografía por la Universidad Nacional del Sur (Argentina), especialista en Análisis Espacial mediante Teledetección y SIG aplicado a la Geografía Física mediante un enfoque Geotecnológico.

Eloy Montes Galbán

Doctor en Geografía por la Universidad Nacional del Nordeste (Argentina). Investigador Asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET, Argentina). Director del Grupo de Estudio sobre Geografía y Análisis Espacial con SIG (GESIG-PRODISIG) perteneciente al Instituto de Investigaciones Geográficas de la Universidad Nacional de Luján (UNLu), donde también se desempeña como docente. Su línea de investigación se orienta al análisis espacial cuantitativo de problemáticas socioambientales y territoriales.

Dante Edin Cuadra

Doctor en Geografía por la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE, Argentina), docente, investigador y director de proyectos de investigación de la Facultad de Humanidades de la UNNE en el Área Humana y Ambiental.