



Efectos de las sequías en los focos de calor en la provincia de Formosa, Argentina: un análisis realizado con herramientas de teledetección

Effects of droughts on hot spots in the province of Formosa, Argentina: An analysis with remote sensing tools

Antonella Aglae-Díaz¹ ; Félix Ignacio Contreras^{2,3*} ; Federico Ferrelli^{4,5} ; Humberto Smichowski³ 

¹Universidad Nacional de Formosa. Formosa - Formosa, Argentina; e-mail: antonelladiaz@outlook.com

²Universidad Nacional del Nordeste, UNNE, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Ingeniería en Agrimensura. Corrientes - Corrientes, Argentina; e-mail: ignaciocontreras@exa.unne.edu.ar

³Centro de Ecología Aplicada del Litoral - CECOAL (CONICET - UNNE), Grupo de Geografía Física. Corrientes - Corrientes, Argentina; e-mail: cepismichowski@gmail.com

⁴Instituto Argentino de Oceanografía Bahía Blanca (CONICET - UNS). Bahía Blanca - Buenos Aires, Argentina; e-mail: fferrelli@criba.edu.ar

⁵Universidad Nacional del Sur, UNS, Departamento de Geografía y Turismo. Bahía Blanca - Buenos Aires, Argentina.

*autor de correspondencia: ignaciocontreras@exa.unne.edu.ar

Cómo citar: Aglae-Díaz, A.; Contreras, F.I.; Ferrelli, F.; Smichowski, H. 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. <http://doi.org/10.31910/novamb.v1.n1.2023.2336>

Artículo de acceso abierto publicado por Novum Ambiens, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: junio 16 de 2022

Aceptado: noviembre 01 de 2022

Editado por: Oscar Luis Pyszczek

RESUMEN

El presente artículo de investigación tiene como objetivo evaluar la variabilidad pluviométrica de la provincia de Formosa (Argentina), a fin de analizar la distribución espaciotemporal de los focos de calor, mediante el análisis de productos satelitales. Para ello, se analizaron las condiciones de sequías y de humedad con el Índice Estandarizado de Precipitación (SPEI), para el período 1955-2022; luego, se obtuvieron productos MODIS desde enero del 2020 hasta febrero del 2022. Posteriormente, los archivos vectoriales fueron procesados con el software ArcGIS, utilizando solo aquellos que poseían un nivel de confianza superior al 80 %. Se aplicó el análisis de Densidad de Kernel, para reconocer las zonas más afectadas del territorio. Los resultados mostraron que, en marzo del 2020, inició el periodo seco más intenso de los últimos 73 años, con una duración de 24 meses. Durante el 2020, se produjo la mayor cantidad de focos de calor, con un nivel de confianza alto (> 80 %), disminuyendo, considerablemente, durante el 2021, para luego ascender durante enero y febrero del 2022; se presentó una clara tendencia de focos de incendio en la porción central y oriental del territorio provincial.

Palabras clave: Análisis espacial; Antecedentes climáticos; Eventos de sequía; Incendios forestales; Sensores remotos.

ABSTRACT

This research paper aims to evaluate the rainfall variability in the province of Formosa (Argentina) in order to analyze the spatiotemporal distribution of heat sources by analyzing satellite products. To this end, drought and humidity conditions were analyzed with the Standardized Precipitation Index (SPEI) for the period 1955-2022; then, MODIS products were obtained from January 2020 to February 2022. Later, the vector files were processed with ArcGIS software, using only those that had a confidence level higher than 80 %. Kernel density analysis was applied to recognize the most affected areas of the territory. The results showed that, in March 2020 began the most intense dry period of the last 73 years, with a duration of 24 months. During the year 2020, the highest number of heat sources occurred with a high level of confidence (> 80 %), decreasing considerably during the year 2021; then rising during the months of January and February 2022, a clear trend of fire outbreaks occurred in the central and eastern part of the provincial territory.

Keywords: Drought events; Forest fires; Remote sensing; Spatial analysis; Weather background.

INTRODUCCIÓN

Como consecuencia de la variabilidad climática de los últimos años, se puede observar una mayor frecuencia de eventos hídricos extremos. Dentro de ello, la sequía es considerada compleja, porque su inicio es difícil de identificar y tiende a notarse al momento de generar impactos negativos, en la calidad de vida del hombre y en el medio natural (Ravelo *et al.* 2016). Sumado a ello, los efectos del calentamiento global y el cambio climático están vinculados con la ocurrencia de incendios, debido a que el incremento de la temperatura genera un mayor poder de ignición, que ocasiona un aumento en la frecuencia de estos eventos; en el caso de las tormentas tenderán a ser más intensas y severas, siendo un foco de ignición de incendios forestales (Ferrelli *et al.* 2021). Como consecuencia, la mayor parte del mundo ha experimentado un aumento en el número de incendios (IPCC, 2022); asimismo, las proyecciones indican que el riesgo de incendios aumentará un 74 % hacia finales de este siglo (Xu *et al.* 2020).

En general, la generación de incendios en la cobertura vegetal de un territorio tiende a aumentar durante las épocas secas, particularmente, en zonas húmedas, donde son comunes las condiciones de inflamabilidad (Barcia-Sardiñas *et al.* 2018). Si bien, el fuego es parte del ambiente, dándose históricamente en forma natural y permitiendo modelar los distintos ecosistemas, las acciones antrópicas y, en consecuencia, el cambio climático, están alterando aquellos patrones normales de generación de incendios, por lo que su estudio es fundamental para evitar sucesos ambientales, que perjudiquen altamente el entorno (Carbone *et al.* 2020). Para implementar este tipo de estudios, la teledetección es una herramienta fundamental, que permite comprender los impactos de las quemadas (Chuvieco *et al.* 2012).

En teledetección, un foco de calor es considerado como una anomalía térmica, debido a las altas temperaturas registradas en la superficie terrestre, pudiendo corresponderse a un incendio (Agüero & Garay, 2017). Entre los distintos sensores que permiten obtener información de focos de calor, el MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer), a bordo de los satélites Terra y Aqua de la NASA, facilita la obtención de información sobre incendios en tiempos reales, siendo de gran aporte, especialmente, en áreas donde la detección en terreno no sea generada (Barcia-Sardiñas *et al.* 2018).

Según los informes del Servicio Meteorológico Nacional de Argentina, en el 2020, se desarrolló el fenómeno de La Niña, siendo el Nordeste Argentino (NEA) y Buenos Aires, las zonas más afectadas, por déficit de lluvias. La provincia de Formosa tiene precipitaciones anuales en condiciones normales, con un gradiente, que disminuye en sentido Este-Oeste, pasando de montos anuales de 1.300 a 700 mm. Esta condición genera condiciones de aridez en el oeste del territorio (Conte *et al.* 2012), pero al igual que en otras zonas del país, según el informe del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de Argentina (2021), para diciembre del 2020, ya presentaba una condición de sequía de tipo moderada, que estuvo relacionada con un aumento en el número de incendios en el territorio.

A raíz de lo expuesto, el objetivo de este trabajo fue analizar la variabilidad climática de la provincia de Formosa, para identificar distintos eventos (secos, normales y húmedos) y así evaluar espaciotemporalmente los focos de calor, a partir de herramientas de teledetección. La información resultante podría aportar a la gestión territorial, en materia de prevención y mitigación de incendios, detectando aquellas áreas que requieran de mayor atención en la problemática.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La provincia de Formosa (Figura 1a) forma parte de la región del NEA y está localizada entre los paralelos de 22° y 27° de latitud Sur y los meridianos 57° y 63° de longitud Oeste. Posee una superficie de 72.066 km² y tiene una altura media de 75 a 200 metros sobre el nivel del mar, considerando los márgenes del Este al Oeste (Conte *et al.* 2012). De acuerdo con la localización de la provincia posee un clima cálido, con estación seca al Oeste y un clima cálido subtropical húmedo al Este, mientras que, en el centro de ambos, se produce una diferenciación climática desde el Este hacia el Oeste (Gobierno de Formosa, 2022) (Figura 1b).

Según la población estimada para el 2020, Formosa contaba con 605.193 habitantes (Ministerio de Salud Argentina, 2022). El territorio, se encuentra dividido administrativamente en nueve departamentos, pero la particularidad de esto es que, a nivel departamental, las acciones políticas no podían trascender más allá del tejido municipal; de esta manera, para poder atender a las necesidades a escala regional y así permitir que la planificación sea multisectorial y avance mucho más allá de las cuestiones municipales, se establecieron regiones de desarrollo provincial, que buscan que las políticas sean acordes a las necesidades de cada región y que el presupuesto público atienda también las cuestiones diferenciadas; entre muchos otros beneficios, la regionalización es una estrategia de ordenamiento territorial (Conte *et al.* 2012).

Las condiciones de sequías y de humedad, se analizaron con el índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) (Vicente-Serrano *et al.* 2010), el cual, está demostrado que arroja buenos resultados al ser aplicados en el estudio de los ciclos secos y húmedos en Argentina (Brendel *et al.* 2017; Ferrelli *et al.* 2020; Contreras *et al.* 2022). Este índice permitió obtener información para el período 1950-2022, a una escala espacial de 0,5° de longitud y latitud descargado de su sitio Web de forma libre (<https://spei.csic.es/home.html>). El SPEI considera la precipitación acumulada y la evapotranspiración potencial, por lo que es un buen indicador para estudiar los efectos de los períodos húmedos y secos sobre las coberturas del suelo. Este, se aplicó en tres escalas temporales: mensual, estacional y anual. El estudio de los eventos secos y húmedos se realizó considerando la clasificación de la tabla 1.

Con esta información, se estudiaron la intensidad, la frecuencia y la periodicidad de los eventos secos y húmedos en Formosa. Para ello, se realizó un promedio entre todas las cuadrículas, que incluyeron la totalidad del territorio provincial. Posteriormente, se estudió, de forma detallada, el evento ocurrido entre 2020 y 2022. La

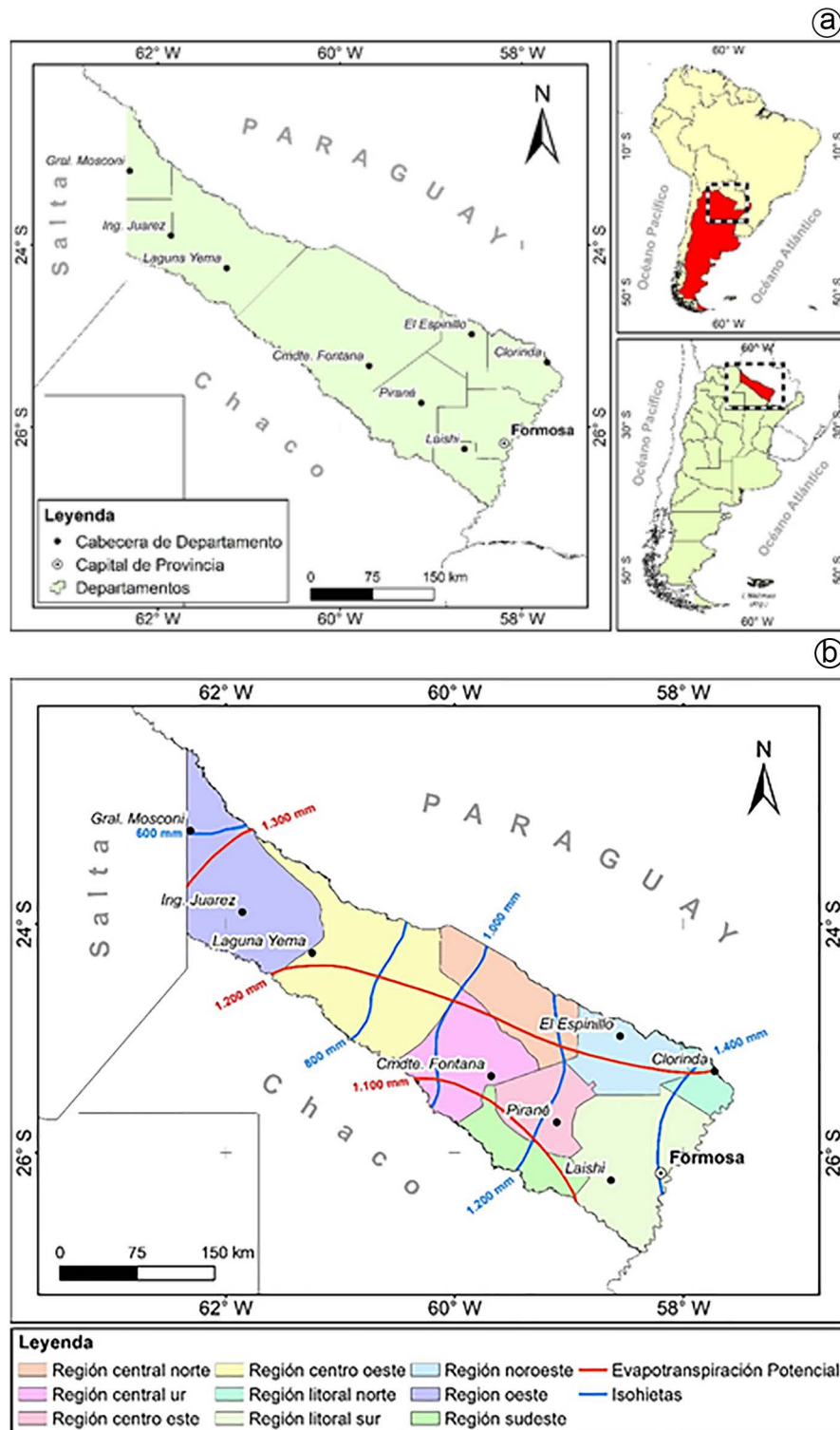


Figura 1. a) Ubicación de la provincia de Formosa (República Argentina); b) Características climáticas y regiones de desarrollo provincial, Formosa.

información en formato ráster, obtenida del sitio Web del Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica (SISSA), fue analizada con un Sistema de Información Geográfica ArcGIS 10.5.

Posteriormente, se utilizaron los datos de focos de calor provenientes del sensor MODIS, a bordo de los satélites Terra (EOS AM) y Aqua (EOS PM), obtenidos del servidor Fire Information for Resource

Management System (FIRMS - <https://firms2.modaps.eosdis.nasa.gov/>). El período en estudio fue desde enero del 2020 a febrero del 2022, obteniéndose los datos en formato vectorial, que luego fueron procesados con el software ArcGIS 10.5. La elección de este período, se fundamenta por la manifestación de eventos extremos de sequía asociados al fenómeno de La Niña y, en consecuencia, la recurrente manifestación de casos de incendio dentro del territorio provincial.

Tabla 1. Clasificación del SPEI, según el Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica.

Tipo de evento	Valores SPEI
Sequía extrema	SPEI < -1,5
Sequía severa	-1,5 < SPEI < -1
Sequía moderada	-1 < SPEI < -0,5
Normal	-0,5 < SPEI > -0,5
Moderadamente húmedo	0,5 < SPEI < 1
Severamente húmedo	1 < SPEI < 1,5
Extremadamente húmedo	SPEI > 1,5

Fuente: SISSA (2022).

Para este estudio, se seleccionaron solo aquellos focos de calor que poseían una categoría de confiabilidad de fuego alta > 80 %, según la *MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide* (Giglio, 2015). Finalmente, se aplicó el análisis de Densidad de Kernel, para visualizar aquellas zonas más afectadas por los incendios. El autor Moreno Jiménez (1991), define al estimador de *Kernel* en forma genérica, de la siguiente manera:

$$\tilde{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

X= punto a partir del cual se estima la densidad

X_i= valor de variable, en el caso i=1, ..., n,

K= símbolo de Kernel,

h= anchura de la ventana o parámetro de suavizado

En ArcGis, la densidad de Kernel, permite calcular la densidad de elementos, en las proximidades de estos, tanto para puntos como para líneas; para este trabajo, se calculó la densidad para puntos. Por último, se superpuso a la cartografía elaborada, las Nuevas Regiones de Desarrollo provincial, de manera de poder aportar a la gestión territorial. De esta manera, se visualizaron las regiones más impactadas por los incendios en el período de estudio, con la finalidad de dar a conocer los lugares de Formosa que requieran de mayores esfuerzos, para la prevención de incendios.

RESULTADOS

Análisis de la variabilidad pluviométrica. Se analizaron los eventos secos y húmedos ocurridos para el promedio de píxeles

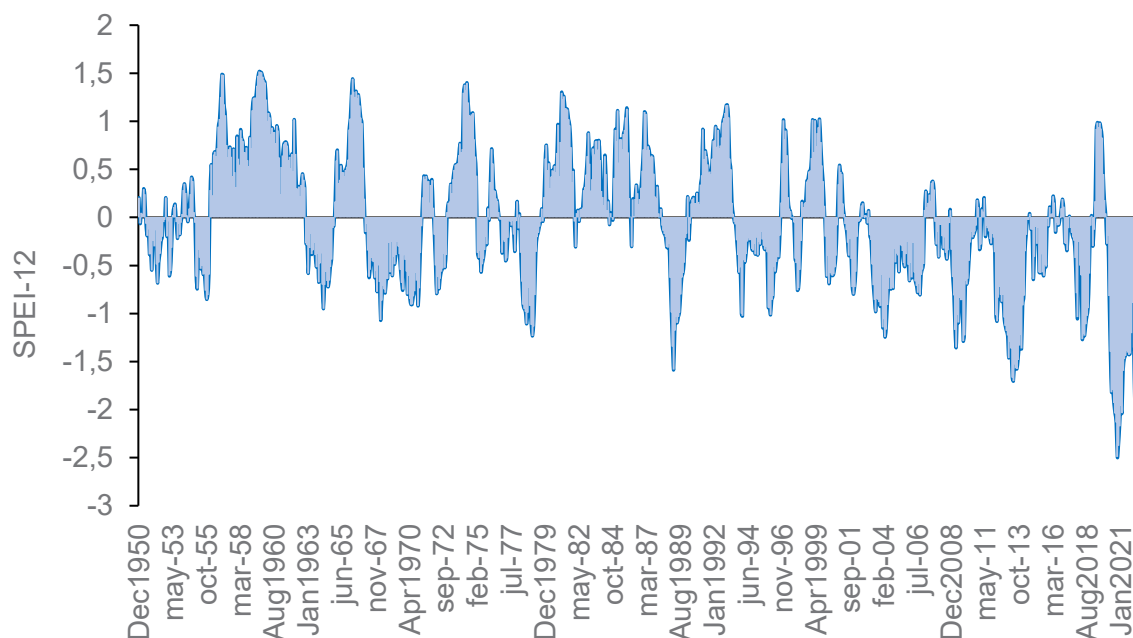


Figura 2. Distribución temporal de los eventos secos y húmedos en la provincia de Formosa durante enero 1950 hasta mayo de 2022.

que ocupan la provincia de Formosa. Se evidenció que durante el período 1950-2022, los eventos secos fueron más intensos que los húmedos. La intensidad media de estos fue de $SPEI-12 = -0,92$, mientras que en los húmedos el $SPEI-12$ fue de $0,88$ (Figura 2).

Al analizar los eventos extremos, se evidenciaron solo tres eventos húmedos ($SPEI = 1,51$), lo que demostró que la frecuencia de estos es muy baja (3 eventos cada 73 años), su periodicidad estimada es de 25 años y su duración medio es de un mes. Por otro lado, los eventos extremadamente secos fueron más intensos ($SPEI-12 = -1,89$), contabilizando 19 eventos en total (Frecuencia = $19/73$, periodicidad estimada de 3,8 años y duración media de 4 meses) (Figura 3).

Se registró una particularidad a partir de marzo de 2020, donde se inició el período seco más intenso de los últimos 73 años. El mismo tuvo una duración de 24 meses, una intensidad media de $-1,69$ y una máxima de $-2,49$ (Figura 2). Por lo tanto, ocurrieron en la provincia de Formosa situaciones de sequía extrema, que no se habían registrado hasta el momento.

Al analizar la distribución espacial del $SPEI-12$ en 2020, 2021 y 2022, se observaron diferencias significativas. Durante 2020, se registraron los eventos secos más intensos en la provincia de Formosa ($SPEI = -2,67$), localizados en el centro del área de estudio. De igual manera, toda el área estuvo dentro del rango de sequías extremas. En el 2021, la mayor parte de Formosa presentó una condición de

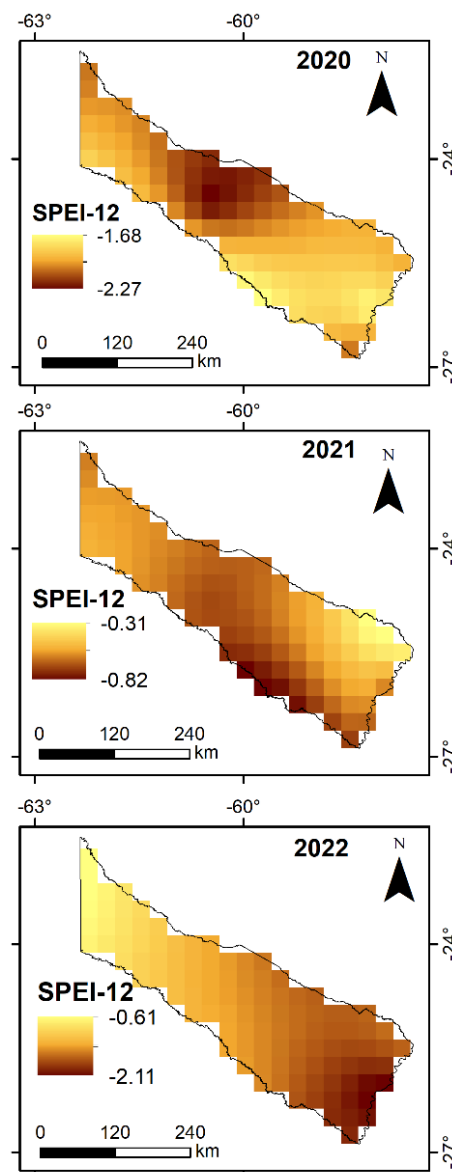


Figura 3. Distribución espacial del $SPEI-12$ en 2020, 2021 y 2022. El 2022, se consideró analizando el $SPEI-12$, desde 31 de mayo de 2021 al 31 de mayo del 2022.

sequía moderada, siendo más intensa en el Sur y Oeste. Finalmente, en 2022, el Este de Formosa estuvo bajo condiciones de sequías

extremas, mientras que el Oeste, bajo condiciones de sequías moderadas (Figura 3).

DISCUSIÓN

La mayor cantidad de focos de calor se concentraron en agosto, septiembre y octubre del 2020, misma tendencia se mantiene para el 2021, pero durante diciembre, se incrementa considerablemente, para luego sobrepasar la cantidad de focos de los últimos meses, en el 2022, siendo mayor en enero (Tabla 2).

Como se observa en la figura 4, la mayor concentración de focos de calor ocurrió en 2020, siendo la porción Oeste del territorio la menos afectada y misma tendencia de distribución, se mantuvo durante el resto del período de estudio, ascendiendo en cantidad de focos de calor hacia el centro y Este de la provincia; no obstante, la cantidad de focos de calor desciende considerablemente durante el periodo anual del 2021, para luego volver a ascender en los primeros meses del 2022.

Tabla 2. Focos de calor obtenidos a partir del sensor MODIS, periodo 2020-2022.

Año 2020	Nº de Focos de Calor	Año 2021	Nº de Focos de Calor	Año 2022	Nº de Focos de Calor
Enero	85	Enero	14	Enero	2588
Febrero	232	Febrero	22	Febrero	392
Marzo	864	Marzo	25		
Abril	441	Abril	2		
Mayo	274	Mayo	8		
Junio	159	Junio	4		
Julio	468	Julio	317		
Agosto	2113	Agosto	979		
Septiembre	1758	Septiembre	475		
Octubre	1871	Octubre	132		
Noviembre	333	Noviembre	38		
Diciembre	65	Diciembre	659		
Total	8863		2675		2980

El mapa de densidad de focos de calor (Figura 5a) identificó las zonas mayormente afectadas de la provincia. Las mismas, se localizaron en el Centro-Norte y Este-Norte del territorio, siendo las regiones Central Norte, Noreste y litoral Norte, las que albergan en una gran porción de su espacio la densidad de tipo muy alta; sin embargo, las regiones aledañas, como la litoral Sur, Centro Este, Sudeste y Central Sur, se enmarcan, principalmente, dentro de la categoría de densidad alta, mostrando, de esta forma, que gran porción del Centro y Este del territorio, se vieron afectados por focos de calor.

Para el 2021, el análisis demostró que, si bien se mantienen las zonas de densidad de focos de calor alta, aun disminuyendo considerablemente, en este caso particular, las regiones de mayor impacto por el fuego fueron la región Centro Oeste y la Central Sur, pero esta última, en menor medida. También, se puede observar como la región Oeste se mantiene con densidades bajas a muy bajas de focos de calor (Figura 5b).

Finalmente, en 2022, se observó una marcada diferencia, más intensa que en los años anteriores, entre la porción Este y Centro y Oeste del territorio, concentrándose aquellas zonas de mayor densidad de focos en la región litoral Sur y manteniéndose la proporción de zonas de altas densidades en casi todas las regiones del Centro y el Este. A diferencia de los años anteriores, este análisis solo incluye los primeros meses del 2022 (Figura 6).

Los resultados obtenidos permitieron demostrar que la provincia de Formosa experimentó situaciones de sequías extremas, que no habían sido detectadas en años anteriores al período estudiado; siendo el 2020, el que presentó el nivel más extremo de sequía, con un valor de SPEI = -2,67. Al mismo tiempo, durante el mismo ciclo anual, se generó la mayor cantidad de focos de calor del período de estudio en el territorio, con un total de 8.863 focos. Los eventos de sequía son de los principales factores que propician la generación de incendios, debido a que, con la disminución de las precipitaciones, se acumula una gran cantidad de material seco, que aumenta los riesgos de ignición (Bonfanti & Sánchez, 2021). La distribución espacial de focos de calor mostró que la zona Centro y Este de la provincia fueron las afectadas, por presentar la mayor densidad de los eventos de calor, con categorías de densidades altas y muy altas. Esto puede estar explicado por los aportes del Libro de Geografía de la Provincia de Formosa, las regiones que se encuentran en el Este provincial presentan, entre otros problemas ambientales, los incendios de pastizales, en general, por acción antrópica, siendo las zonas de pastizales y palmares las que mayores riesgos de incendios manifiestan y la tendencia disminuye hacia el Oeste provincial, con la modificación de la vegetación (Conte *et al.* 2012). Para Martínez Carretero (1995), en Formosa, las quemadas intencionales de *Copernicia alba*, especie característica de los palmares, se ven reforzadas a causa de la materia orgánica del suelo.

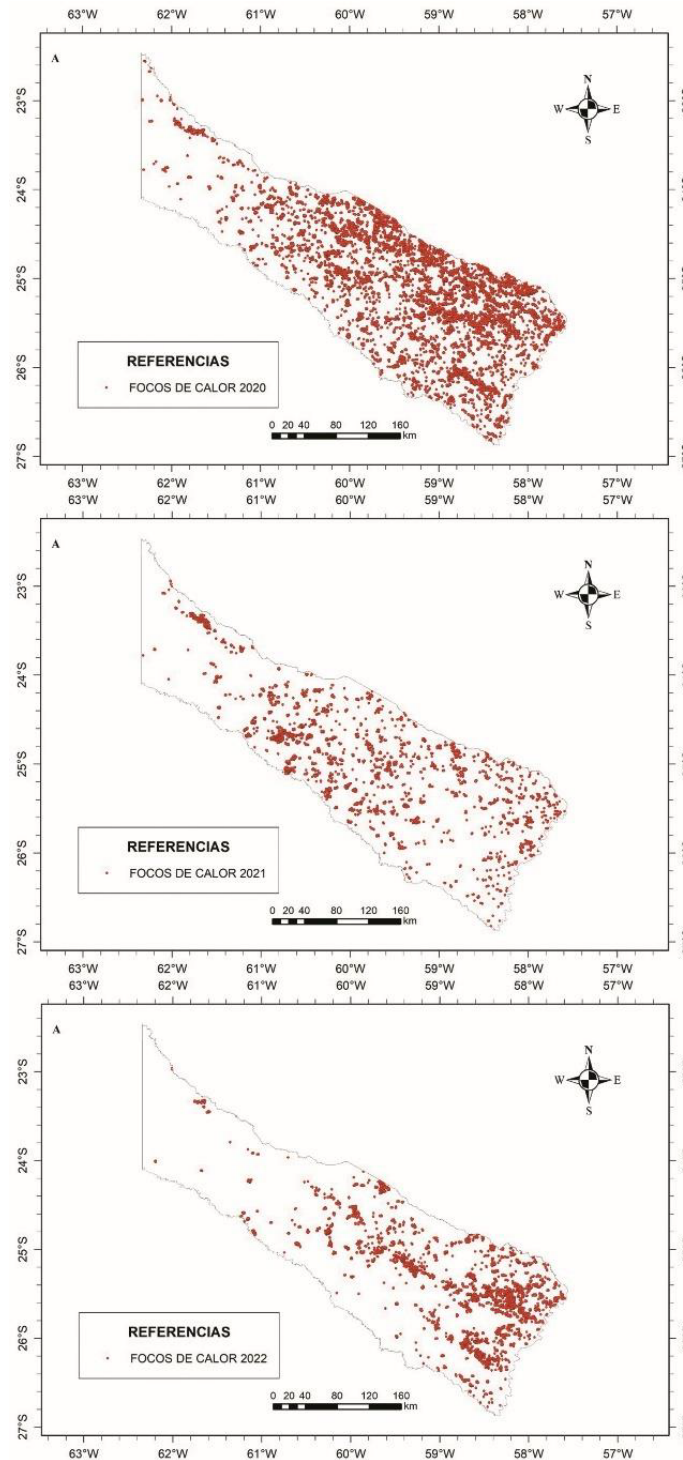


Figura 4. Focos de calor de la provincia de Formosa (República Argentina), entre enero de 2020 y febrero de 2022.

Durante el 2021, la sequía de Formosa fue de tipo moderada y más intensa en la zona Sur y Oeste del territorio, mostrando una diferencia significativa respecto al año anterior y, a su vez, los focos de calor disminuyeron en gran proporción durante el ciclo anual, en relación directa con la disminución de la sequía. Se registraron 2.675 focos de calor, la mayor densidad se presentó en la región Centro Oeste, coincidiendo con la tendencia de la mayor sequía para ese ciclo. En este sentido, la reducción de los focos de incendio

en el 2021, también se encuentra vinculada a la situación ambiental del 2020, es decir, que el gran desarrollo de focos de incendios consumió gran parte de la biomasa que, sumado a la falta de precipitaciones, no se pudo regenerar el material orgánico suficiente para que actúe como combustible en el 2021.

Para el 2022, la situación se volvió a modificar, incrementándose la sequía en el Este provincial, siendo la misma de tipo extrema y

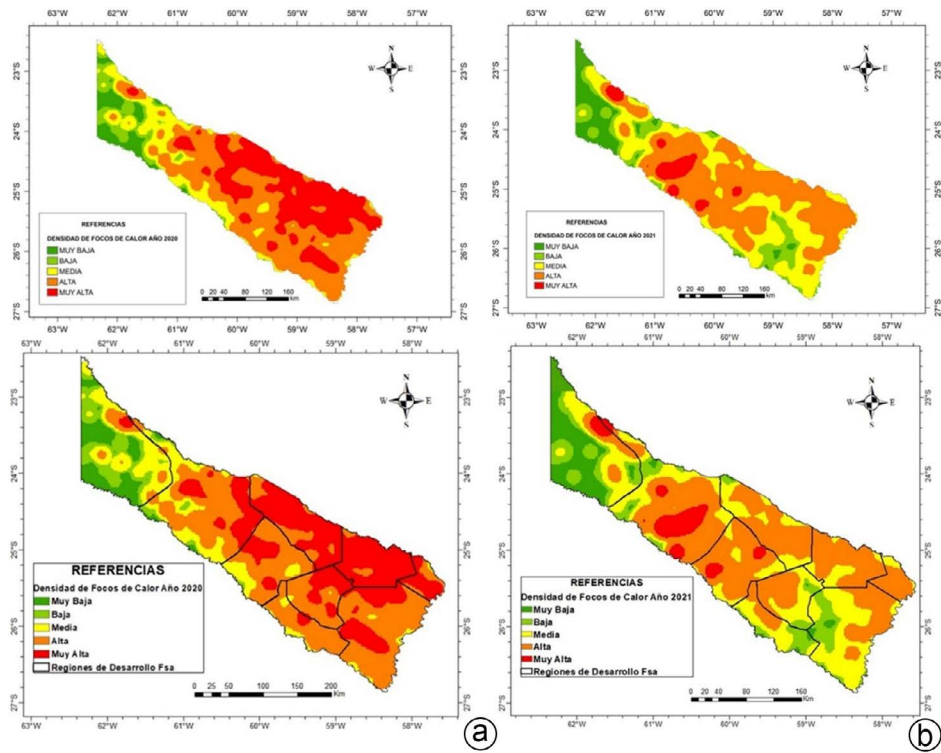


Figura 5. Densidad de Kernel: a) año 2020; b) año 2021.

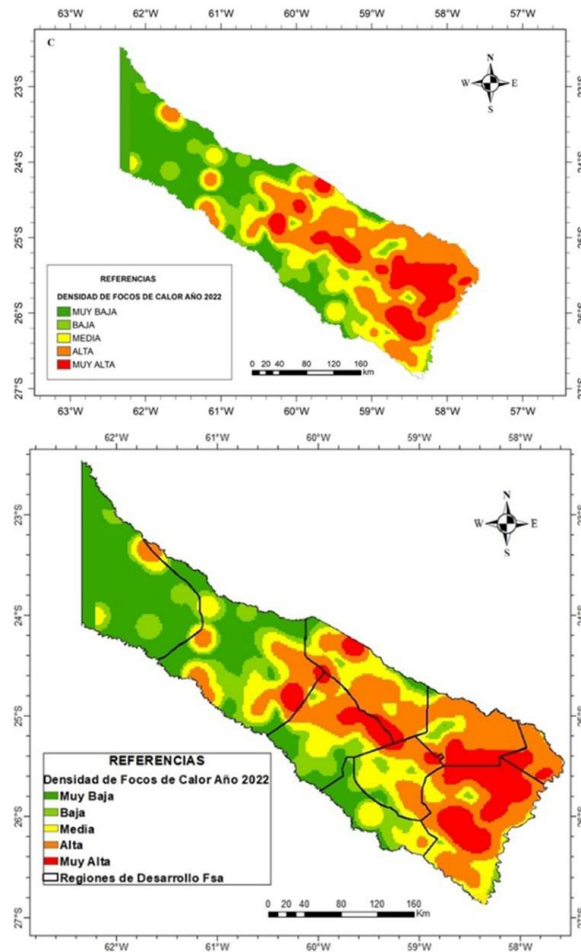


Figura 6. Densidad de Kernel, año 2022.

ascendiendo, a su vez, la cantidad de focos de calor en la zona Este, donde se observó la mayor densidad estimada. Cabe destacar que, no sólo la sequía extrema actúa potenciando la amenaza, sino también hay que tener en cuenta la biomasa generada durante el año 2021. No obstante, sólo se estudiaron los primeros meses del año 2022, por lo que, poder analizar los cambios a fines del mes de diciembre del ciclo anual, permitiría notar diferencias más específicas.

CONCLUSIONES

Se evidenció que la sucesión de sequías, analizada en los últimos tres años en la provincia de Formosa, estuvo directamente relacionada con la cantidad de focos de calor, incrementando la densidad de estos en las condiciones de sequías extremas. A su vez, si bien la distribución espacial se registró en mayor proporción para la zona Centro y, especialmente, Este del territorio, demostrando que es la porción húmeda del territorio, la que se encuentra más expuesta a amenazas de incendios.

Incorporar las regiones de Desarrollo al análisis permitió visualizar aquellas zonas que requieren de una gestión acorde a sus necesidades, en materia de prevención de incendios y también en mitigación de los eventos de fuego, siendo fundamental, para ello, la planificación multisectorial. Con base en lo obtenido, se puede decir que las herramientas empleadas funcionan para visibilizar la problemática de los incendios y contribuir al monitoreo para posteriores acciones de respuesta y alerta temprana, que intenten mitigar la generación de impactos ambientales negativos.

Agradecimientos. Deseamos agradecer a los Proyectos 19Q001 de la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste y PICT – 2018 – 636 FOCNCyT, por el financiamiento del presente estudio. A su vez, agradecemos a la Magíster Patricia Pastor, de la Dirección de Planificación del Desarrollo Local, Ministerio de Planificación, Inversión, Obras y Servicios Públicos de la Provincia de Formosa, por el suministro de las Regiones de Desarrollo Provincial, esenciales para este trabajo.

REFERENCIAS

- AGÜERO, J.N.; GARAY, D.D. 2017. Análisis de “Focos de calor” en los Llanos de La Rioja. Enero 2017. Ministerio de Agroindustria. Presidencia de la Nación. Disponible desde Internet en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_analisis_focos_de_calor_llanos_de_la_rioja_enero_2017_1.pdf
- ARCGIS DESKTOP. 2016. Cómo funciona la densidad de Kernel. ArcMap. Disponible desde Internet en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.4/tools/spatial-analysis-toolbox/how-kernel-density-works.htm>
- BARCIA-SARDIÑAS, S.; FONTES-LEANDRO, M.; VIERA-GONZÁLEZ, E.Y. 2018. Comportamiento temporal de los focos de calor detectados por satélites en la provincia de Cienfuegos. *Revista Cubana de Meteorología*. 24(3):324-334.
- BONFANTI, F.A.; SÁNCHEZ, M.E. 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>
- BRENDEL, A.S.; BOHN, V.Y.; PICCOLO, M.C. 2017. Efecto de la variabilidad climática sobre el estado de la vegetación y la cobertura de agua en una cuenca de clima templado (Argentina). *Anuário do Instituto de Geociências*. 40:5-16. http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_05_16
- CARBONE, L.M.; TAVELLA, J.R.; NAVAL FERNÁNDEZ, M.C.; BIANCHI, M.M.; RODRIGUEZ, J.M.; MARCORA, P.I.; LONGO, M.S.; URCELAY, R.C.; JAUREGUIBERRY, P.; LANDI, M.A.; BRAVO, S.; BLACKHALL, M. 2020. Fuego en los ecosistemas argentinos. *Folium Relatos Botánicos*. 3:28-47.
- CHUVIECO, E.; CIFUENTES, Y.; HANTSON, S.; LÓPEZ, A.A.; RAMO, R.; TORRES, J. 2012. Comparación entre focos de calor MODIS y perímetros de área quemada en incendios mediterráneos. *Revista de Teledetección*. 37:9-22.
- CONTE, R.O.; GUZMÁN, C.E.; KALAFATTICH, S.; PASTOR, P. 2012. Cuadernos para el fortalecimiento del desarrollo de contenidos en historia, geografía y formación ética y ciudadana de la Provincia de Formosa. Gobierno de la Provincia de Formosa. 180p. Disponible desde Internet en: https://des-for.infed.edu.ar/sitio/upload/Libro_Geograf%EDa_Final_-_2012_-_03_-_dia_06_2.pdf
- CONTRERAS, F.I.; ZURITA, C.; SMICHOWSKI, H.; DIAZ, A.A.; PETKIEBICH, S.A.; KALAFATTICH, S.; GÓMEZ, C.V. 2022. Comparación de la recurrencia y severidad de la variabilidad climática en los extremos oriental y occidental de la provincia de Formosa (Rep. Argentina). *Revista Senderos*. 3(1):28-41.
- FERRELLI, F.; BRENDEL, A.S.; PICCOLO, M.C.; PERILLO, G.M.E. 2020. Evaluación de eventos secos y húmedos en el contexto del cambio climático: el caso del sur de la Región Pampeana (Argentina). *Papeles de Geografía*. 66:27-46. <https://doi.org/10.6018/geografia.431671>
- FERRELLI, F.; BRENDEL, A.S.; PICCOLO, M.C.; PERILLO, G.M.E. 2021. Evaluación de la tendencia de la precipitación en la región pampeana (Argentina) durante el período 1960-2018. *Raega-O Espaço Geográfico Em Análise*. 51:41-57. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v51i0.69962>
- GIGLIO, L. 2015. MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide Revision A. 64 p. Disponible desde Internet en: https://d10a3v3te7t1zl.cloudfront.net/s3fs-public/imported/MODIS_C6_Fire_User_Guide_A.pdf

13. GOBIERNO DE FORMOSA. 2022. Clima y Temperatura. Disponible desde Internet en: <https://www.formosa.gob.ar/miprovincia/aspectosgenerales/climaytemperaturas>
14. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC 2022. Summary for Policymakers. In Global warming of 1.5 C: IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Cambridge University Press. p.3-24. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>
15. MARTÍNEZ CARRETERO, E. 1995. Los incendios forestales en Argentina. *Multequina*. 4:105-114.
16. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA DE ARGENTINA. 2021. Informe de sequía-diciembre 2020. Argentina. Disponible desde Internet en: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/d_eda/sequia/_archivos//200000_Informes%202020/201200_Informe%20de%20sequ%C3%ADa%20-%20Diciembre%202020.pdf
17. MINISTERIO DE SALUD ARGENTINA. 2022. Estadísticas vitales. Información básica. Argentina-Año 2020. 166p. Disponible desde Internet en: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/serie5numer064.pdf>
18. MORENO JIMÉNEZ, A. 1991. Modelización cartográfica de densidades mediante estimadores Kernel. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*. 30:155-170.
19. RAVELO, A.C.; PLANCHUELO, A.M.; ZANVETTOR, R.E.; BOLETTA, P.E.C. 2016. Sistema de monitoreo y evaluación de las sequías en Argentina. *Agrometeoros*. 24(1):113-120. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v24i1.24886>
20. SISTEMA DE INFORMACIÓN SOBRE SEQUÍAS PARA EL SUR DE SUDAMÉRICA, SISSA. 2022. Clasificación del SPEI. Disponible desde Internet en: <https://sisa.crc-sas.org/>
21. VICENTE-SERRANO, S.M.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J.I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*. 23(7):1696-1718.
22. XU, R.; YU, P.; ABRAMSON, M.J.; JOHNSTON, F.H.; SAMET, J.M.; BELL, M.L.; HAINES, A.; EBI, K.; LI, S.; GUO, Y. 2020. Wildfires, global climate change, and human health. *The New England Journal of Medicine*. 383(22):2173-2181. <https://doi.org/10.1056/NEJMSr2028985>