

Las causas de los incendios de principios del año 2022 en la provincia de Corrientes

GRISELDA I. SAUCEDO¹ ; ALBA R. PERUCCA¹ & DITMAR B. KURTZ^{1,2}

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Corrientes. ² Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste.

RESUMEN. El fuego es una herramienta de manejo del pastizal natural en la provincia de Corrientes; se utiliza regularmente para eliminar la biomasa muerta en pie, con el fin de promover un mayor crecimiento estival. Sin embargo, y aunque no existen estadísticas sobre el uso estacional del fuego, a principios de 2022, los incendios naturales o inducidos afectaron más de 10000 km², en el pico de la temporada de crecimiento. Este trabajo cuantifica las áreas afectadas por los incendios en esa provincia durante enero y febrero de 2022, y analiza la contribución de factores naturales y antrópicos a la extensión del área que afectó el fuego. Usamos la plataforma Google Earth Engine para identificar y clasificar el área quemada usando imágenes satelitales Sentinel. Además, mediante análisis de regresión simple y múltiple evaluamos la relación entre factores naturales y antrópicos y el área afectada por los incendios. Las áreas quemadas representaron ~12% de toda la provincia. La cobertura del suelo más afectada fueron los humedales. Las evidencias indicaron que la disminución de la superficie de agua y la proporción de áreas protegidas se relacionaron directa y positivamente con la extensión de las áreas quemadas. Por otra parte, la carga animal y la red vial se relacionaron de forma inversa y negativa con el área quemada. La predicción de los patrones de fuego es esencial para desarrollar políticas de gestión para prevenir o morigerar eventos catastróficos similares.

[Palabras clave: correlación, humedales, NBR, regresiones, Sentinel, teledetección]

ABSTRACT. The causes of early 2022 fires in Corrientes province. Fire is a natural grassland management tool, often used to eliminate the standing dead biomass and promote growth before the growing season. However, while there is a lack of data on the seasonal use of fire in the province of Corrientes, natural and induced fires in early 2022 affected over 10000 km² at the peak of the growing season. This paper quantifies the extent of the fire-affected area in Corrientes during January and February 2022 and analyzes the contribution of natural and anthropogenic factors to the extent of the fire-affected area. We used the Google Earth Engine platform to identify and classify burnt areas using Sentinel satellite images, and applied simple and multiple regression analysis to investigate the contribution of natural and anthropogenic factors to the extent of the fire-affected area. Results show that 12% of Corrientes was affected by fire during the study period, with wetlands being the most affected land cover type. This study provides evidence of the relationship between natural and anthropogenic factors and the fires that affected Corrientes at the beginning of 2022. The results show that the reduction of water area and protected areas was positively and directly related to the extent of burnt areas, while the road network and livestock density were inversely and negatively related to the burned area size. Predicting fire patterns is essential to develop management policies to prevent or reduce the impact of future catastrophic events.

[Keywords: correlation, NBR, remote sensing, regressions, Sentinel, wetlands]

INTRODUCCIÓN

El fuego es uno de los elementos más importantes de la naturaleza, con gran importancia para la distribución, la biodiversidad y el funcionamiento de muchos ecosistemas en todo el mundo (Bond et al. 2005; Bond and Keeley 2005; Pausas and Ribeiro 2017). Su origen responde a causas naturales (asociadas a la ocurrencia de descargas eléctricas y a actividades volcánicas) y a causas antropogénicas, ya sean intencionales (e.g., prácticas de manejo de pastizales naturales para forraje del ganado vacuno, deforestación, para el avance de la frontera agropecuaria, etc.), accidentales (e.g., caídas de líneas eléctricas, chispas de autos o de equipos mecánicos, entre otras) o por negligencia (e.g., fogatas y colillas de cigarrillos mal apagadas, etc.) (González-Rosales and Ortiz-Paniagua 2022; Marques et al. 2021).

En los últimos años se publicaron estudios que señalan que los regímenes naturales de intensidad y frecuencia de incendios se ven modificados por las actividades humanas, generalmente relacionadas con las prácticas de uso de la tierra con extremos climáticos vinculadas al calentamiento global y al cambio climático (Field et al. 2007; Marlon et al. 2009; Pausas and Keeley 2014; Senande-Rivera et al. 2022). A escala global están ocurriendo más incendios, no solo en regiones donde los incendios estacionales son comunes, sino también en áreas donde normalmente no ocurrían (UNEP 2022). A modo de ejemplo, se mencionan los incendios sin precedentes en la tundra ártica (Walsh et al. 2020); los megaincendios de 2019/2020 en Australia, donde ardieron bosques templados (Boer et al. 2020; Bowman et al. 2020; Nolan et al. 2020); los incendios del 2020 en la costa oeste de los Estados Unidos, que afectaron zonas con alta densidad de población (Higuera and Abatzoglou 2020); y también los ocurridos en el humedal continental más grande del mundo, el Pantanal (Marengo et al. 2021; Martins et al. 2022), donde se concentró el mayor número de incendios registrado entre 2001 y 2020 (García et al. 2021; Marques et al. 2021).

En este contexto, la Argentina no fue una excepción. En el año 2020, los incendios en la región del Delta del Paraná afectaron 486934 ha (Zamboni et al. 2021); en la provincia de Córdoba se quemaron 305534 hectáreas (Mari et al. 2021) y en la provincia de Corrientes, hasta agosto de 2020 se detectaron 484748 hectáreas quemadas (Kurtz and Barrios 2020). En 2022,

durante 5 de las 8 primeras semanas del año, Corrientes sufrió el impacto de incendios totalmente inusuales para la época, dado que en esta provincia las quemadas intencionales con fines ganaderos se realizan en agosto y septiembre (Montiel et al. 2021).

Los factores determinantes del origen y la propagación del fuego —el clima, el estado de la vegetación y las actividades humanas— explican la ocurrencia y la extensión de los incendios. Las variables meteorológicas como la temperatura y las precipitaciones influyen en la disponibilidad de combustible, y las variables antrópicas —que inciden en la cantidad y la continuidad del combustible— son las áreas naturales protegidas, las actividades ganaderas y la red vial (Cardille et al. 2001; Kumar et al. 2022; Pausas and Keeley 2021). A partir de esto, el presente trabajo propone, por un lado, cuantificar la superficie quemada en la provincia de Corrientes usando herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica, a nivel departamental, según las coberturas vegetales afectadas; y por otro lado, analizar la contribución de los factores ambientales y antrópicos al alcance geográfico del área quemada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las áreas incendiadas se registraron en varios sectores de la provincia de Corrientes. La provincia abarca cerca de 89000 km² y presenta planicies extensas en el oeste y colinas suaves en el centro-sur y el nordeste (Popolizio 1986). Una característica predominante de la llanura es su drenaje deficiente, que determina la presencia de grandes áreas inundadas e inundables (Carnevali 1994). De acuerdo con la clasificación climática de Köppen-Geiger, el clima es subtropical húmedo sin estación seca (Caf), con temperatura media anual entre los 21°C al norte y 19°C al sur, y precipitaciones que varían entre 1500 mm y 1000 mm, con un gradiente en sentido NE-SO (Carnevali 1994).

Las interrelaciones que existen entre las características geomorfológicas, climáticas, hidrológicas, biogeográficas y antrópicas permiten que se desarrollen diversos paisajes. En general, la cobertura dominante está representada por los pastizales, que alcanzan a cubrir el 39% de superficie provincial, los bosques nativos (el 9%) y los bosques cultivados (el 5%). Por su parte, las

coberturas propias de ambientes humedales ocupan el 36% y se reparten de la siguiente manera: 19% ocupado por esteros y bañados; 11%, por malezales (i.e., pastizales degradados por erosión hídrica reticular muy particular, conformando surcos y columnas [Carnevali 1994; Kurtz et al. 2010]), y 6%, por vegetación de valles aluviales de los ríos Paraná, Corrientes, Santa Lucía, Aguapey, Miriñay, Mocoretá y Guayquiraró.

Determinación de áreas quemadas

Para el análisis temporal y espacial de las áreas afectadas se emplearon imágenes Sentinel-2 MSI de 10-20 m de resolución espacial, correspondiente al período 15 de enero - 27 de febrero de 2022. Las imágenes se obtuvieron y procesaron en la plataforma Google Earth Engine (GEE) basada en la nube, que proporciona una API y otras herramientas que facilitan acceder y analizar imágenes satelitales en cualquier escala (Gorelick et al. 2017).

Se calculó el *Normalized Burn Ratio* (NBR) (Miller and Yool 2002; Patterson and Yool 1998), que combina dos bandas espectrales que responden de manera contrastada al efecto del fuego: el infrarrojo cercano (NIR), cuya reflectividad desciende debido a la desaparición de la vegetación viva, y el infrarrojo de onda corta (SWIR), cuya reflectividad aumenta por la pérdida de humedad, mayor exposición del suelo y menores sombras proyectadas por la vegetación (De Santis and Vaughan 2009). En el caso de Sentinel-2, el NBR resulta de dividir la diferencia de reflectancias de las bandas 8A y 12 entre la suma de las mismas.

$$\text{NBR} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$

Ecuación 1

La operación arroja resultados que oscilan entre -1 y 1; los valores bajos corresponden a las áreas afectadas por incendios y los valores altos representan las áreas no afectadas. El límite entre píxeles quemados y no quemados se estableció mediante el uso de umbral (valores iguales o menores a -0.02), dando como resultado un mapa binario que fue vectorizado empleando el software ArcGIS 10.8. Luego se hicieron correcciones de manera visual en bancos de arena, bordes de cuerpos de agua y áreas de suelos desnudos que al tener un valor bajo se confundían con áreas quemadas.

Por último, los polígonos de las superficies quemadas fueron intersecados con la capa de departamentos de la provincia y la capa de diferentes coberturas vegetales. Las coberturas de bosques cultivados corresponden al año 2018 y fueron provistas por la Dirección de Recursos Forestales del Ministerio de Producción de Corrientes, mientras que el resto de coberturas vegetales se tomaron y ajustaron de trabajos anteriores realizados con imágenes del 2011 por el grupo RRNN del INTA Corrientes (Kurtz et al. 2011; Navarro de Rau 2011).

Datos meteorológicos

Se utilizaron datos mensuales de precipitaciones y temperaturas máximas de las estaciones meteorológicas Bella Vista, Colonia Benítez y Mercedes, correspondiente a dos períodos: 1990-2019 (para caracterizar las condiciones medias previas a los incendios) y 2020-2022 (para caracterizar las condiciones medias recientes, previas a los incendios). Para Mercedes, los datos comprenden el período 1998-2022 por ausencia de datos en años anteriores. Los mismos fueron tomados del Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica del INTA (iga.inta.gov.ar/#/). Todos los gráficos fueron procesados con el software R versión 4.1.2 (R Core Team 2022), utilizando los paquetes `readxl`, `ggplot2`, `ggcorrplot`, `scales`, `cowplot` y `colorspace`.

Análisis de los datos

Para identificar el grado de concordancia existente entre las variables, se elaboró un correlograma utilizando el coeficiente de correlación de Spearman, que varía de -1 a 1. El extremo negativo representa una correlación inversamente proporcional y el extremo positivo una correlación directamente proporcional, los valores cercanos a 0 indican poca o ninguna correlación.

La ocurrencia y dimensiones de los incendios dependen de múltiples factores. Para entender las relaciones de cada variable en particular, pero también de todas en su conjunto, se emplearon regresiones simples y múltiples. Se confrontaron los datos de superficies quemadas de cada departamento como variable de respuesta y la retracción de cuerpos de agua, las áreas naturales protegidas, la densidad de red vial y la carga ganadera total y la real como variables independientes (Tabla 1). Las variables independientes se

Tabla 1. Listado de las variables utilizadas en el análisis de los incendios de enero y febrero de 2022 en la provincia de Corrientes.**Table 1.** List of variables used in the analysis of the January and February 2022 fires in the province of Corrientes.

Variable	Unidad	Descripción	Fuente
Superficies quemadas	Porcentaje	Capa vectorial de áreas quemadas	Elaboración propia
Retracción de cuerpos de agua	Porcentaje	Capa vectorial con la diferencia de superficie cubiertas de agua en diciembre de 2019 y 2021	Elaboración propia
Superficies de áreas protegidas	Porcentaje	Capa vectorial de superficie total de áreas protegidas	Administración de Parques Nacionales
Red vial	Porcentaje	Densidad de caminos	Servicio WMS INTA - EEA Corrientes
Carga ganadera total	Porcentaje	Equivalente vaca por hectárea (EV/ha)	Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA)
Carga ganadera real	Porcentaje	Equivalente vaca por hectárea (EV/ha)	

calcularon y relativizaron a la superficie de cada departamento, y son las siguientes: a) retracción de cuerpos de agua: es la diferencia de la superficie cubierta de agua en 2013 y 2021. Las superficies se obtuvieron mediante clasificación supervisada de imágenes Sentinel-2 en GEE; b) superficie de áreas protegidas: resultó de intersecar la capa vectorial de áreas protegidas de jurisdicción nacional y provincial con la capa de departamentos; c) red vial: representa la densidad de caminos que tiene cada de departamento; d) carga ganadera total: se obtiene dividiendo la cantidad de ganado (equivalente vaca - EV) entre la superficie total del departamento (Kurtz et al. 2015); y e) carga ganadera real: se calcula igual que el anterior, pero considerando las coberturas de los suelos, es decir, la superficie real se obtiene excluyendo todas las áreas que no son pastizales (lagunas, esteros, agricultura, forestación y otros) (para más detalles consultar: Kurtz et al. 2010; Kurtz et al. 2015).

RESULTADOS

Análisis temporal y espacial de los incendios

La superficie total afectada por los incendios fue 10425 km², que representa el 12% del territorio provincial a fines de febrero de 2022 (Figura 1). La evolución de la superficie quemada mostró relación con la evolución de los focos de calor desde el 15 de enero al 27 de febrero. En este período se registraron 8820 focos, de los cuales 2324 correspondieron al mes de enero y 6496 a febrero. La superficie afectada por el fuego, desde el 15 de enero al 7 de febrero, se incrementó más de 6 veces,

pasando de 804 km² a 5189 km² (Material Suplementario-Figura S1).

Con respecto a la distribución espacial, todos los departamentos se vieron afectados. Ituzaingó presentó la mayor superficie acumulada por quemadas, con 1946 km², seguido por Santo Tomé, con 1358 km². Sin embargo, con relación a la superficie departamental, San Miguel presentó el mayor porcentaje de su superficie afectada (el 33%). Monte Caseros fue el departamento con menor superficie afectada total (27 km²) y el de menor proporción en relación con su superficie (1%) (Material Suplementario-Tabla S1).

Coberturas vegetales afectadas por los incendios

En valores absolutos, al inicio de los incendios, la cobertura más afectada por el fuego fue la de malezales (295 km²), seguida por la vegetación de valles aluviales (109 km²). Luego, hacia el final del período de incendios, el área más afectada fue la de esteros y otros bañados (3337 km²), seguida por los malezales (2038 km²) y los pastizales del noroeste (1562 km²), mientras que los bosques nativos y cultivados fueron las coberturas menos afectadas (344 km² y 289 km², respectivamente). En total, la vegetación más afectada por las quemadas fue la de ambientes de humedales, con 6117 km² (Figura 2).

Por otro lado, en proporción a cada cobertura, los incendios afectaron 31% de los pastizales, 21% de los malezales, 20% de los esteros y otros bañados y 15% de vegetación de valles aluviales. Mientras tanto, el 4% de los bosques nativos y el 6% de bosques cultivados fueron afectados. El resto, agrupado en 'otras

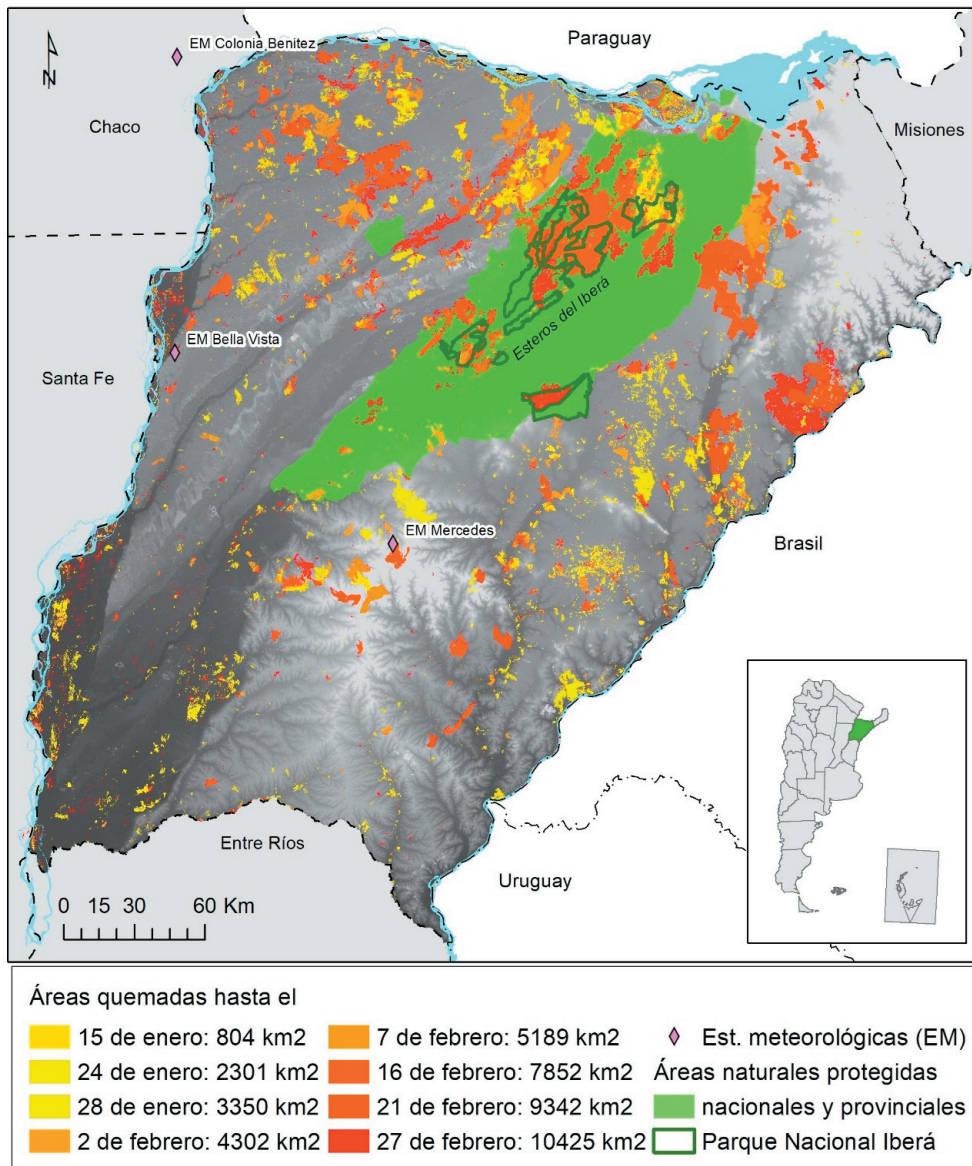


Figura 1. Localización de áreas quemadas (clasificadas por fecha), áreas naturales protegidas y estaciones meteorológicas en el área de estudio.

Figure 1. Location of burnt areas (classified by date), protected natural areas and weather stations in the study area.

coberturas', fue afectado en un 5%. A modo de síntesis, los incendios afectaron el 19% de humedales y el 5% de vegetación terrestre de la provincia.

Condiciones meteorológicas previas

En general, para las tres estaciones analizadas (Figura 1), las precipitaciones medias registradas los últimos 26 meses (2020-2022) fueron entre un 20% y 47% inferiores a las detectadas en el período 1990-2019 (Figura 3). Este déficit presentó en los dos primeros meses

de 2022 valores acumulados de 79 mm en el centro sur de la provincia (Mercedes), 55 mm en el oeste provincial (Bella Vista) y 66 mm en el norte (Colonia Benítez, provincia de Chaco). Normalmente, los registros pluviométricos en verano allí varían entre 300 mm y 350 mm (Carnevali 1994).

Las temperaturas mensuales máximas en el período 2020-2022 fueron 2 °C más altas comparadas con las del período 1990-2019, a excepción de Mercedes, que no registró aumento (Figura 3). Asimismo, los dos

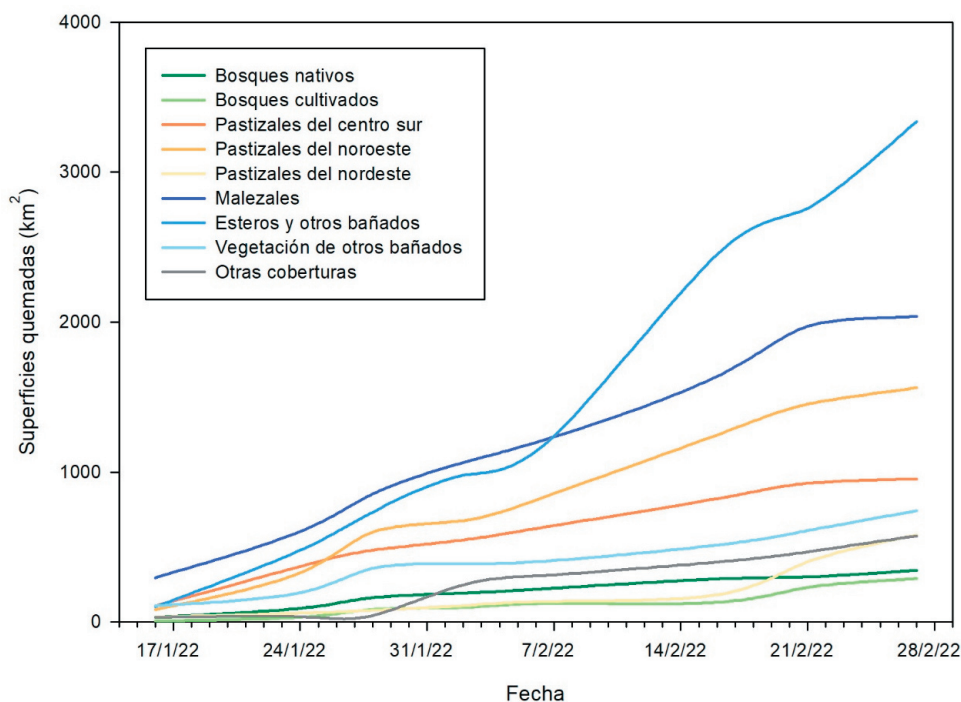


Figura 2. Superficie quemada acumulada por tipo de cobertura vegetal desde el 16 de enero al 27 de febrero de 2022 en la provincia de Corrientes. Los esteros, malezales y bañados son nombres locales asignados a distintos tipos de humedales. En 'otras coberturas' se incluyeron superficies no discriminadas de cultivos anuales y perennes, y zonas de rastrojo de cultivos (barbechos), áreas periurbanas, etc. **Figure 2.** Accumulated burnt surface by type of vegetation cover from January 16th to February 27th, 2022, in the province of Corrientes. The terms 'esteros', 'malezales' and 'bañados' are local names assigned to different types of wetlands. The category 'other coverages' includes undifferentiated surfaces of annual and perennial crops, crop stubble areas, peri-urban areas, etc.

primeros meses de 2022 se caracterizaron por un marcado y sostenido aumento de temperaturas máximas superiores a 40 °C; se registraron 30 días en el centro sur, 26 en el norte y 11 en el oeste.

Análisis estadístico

Se encontraron correlaciones positivas entre el porcentaje de área quemada y la retracción de cuerpos de agua (0.7) y las áreas protegidas (0.4). Por el contrario, se encontraron correlaciones negativas para la carga ganadera total (-0.8), la carga ganadera real (-0.6) y la densidad de la red vial (-0.5) (Figura 4). Para el modelo de regresión múltiple, se descartó la variable carga ganadera total por tener una correlación elevada con la con carga ganadera real (-0.7) y con la retracción de cuerpos de agua (0.7) (Figura 4). El ajuste del modelo fue bueno, los valores de los coeficientes de correlación múltiple y de determinación obtenidos fueron 0.78 y 0.61, respectivamente. Es decir, el 61% de la variabilidad de las áreas quemadas se explica por 4 variables independientes: retracción de cuerpos de

agua (X_1), carga ganadera real (X_2), superficie de áreas protegidas (X_3) y densidad de red vial (X_4). Los resultados de los coeficientes de la regresión indican que la retracción de cuerpos de agua es la variable con más significancia; el modelo obedece a la siguiente ecuación:

$$Y = 29.2 + 0.59 (X_1) - 0.20 (X_2) - 0.08 (X_3) - 0.34 (X_4)$$

Ecuación 2

Individualmente, los resultados de las regresiones simples indican que la retracción de los cuerpos de agua (Figura 5.a) y la superficie de áreas protegidas (Figura 5.b) están directamente relacionadas con las superficies quemadas por departamento. La disminución de la cobertura de agua explica el 46%, y en aquellos departamentos que poseen áreas protegidas, estas contribuyen a explicar el 17% de la variabilidad de las áreas incendiadas. En contraste, se encontraron regresiones inversas para las variables carga ganadera total (63%) (Figura 5.c), carga ganadera real (35%) (Figura 5.d) y densidad de red vial (27%) (Figura 5.e). Por lo tanto, cuanto más baja la carga y menor la densidad

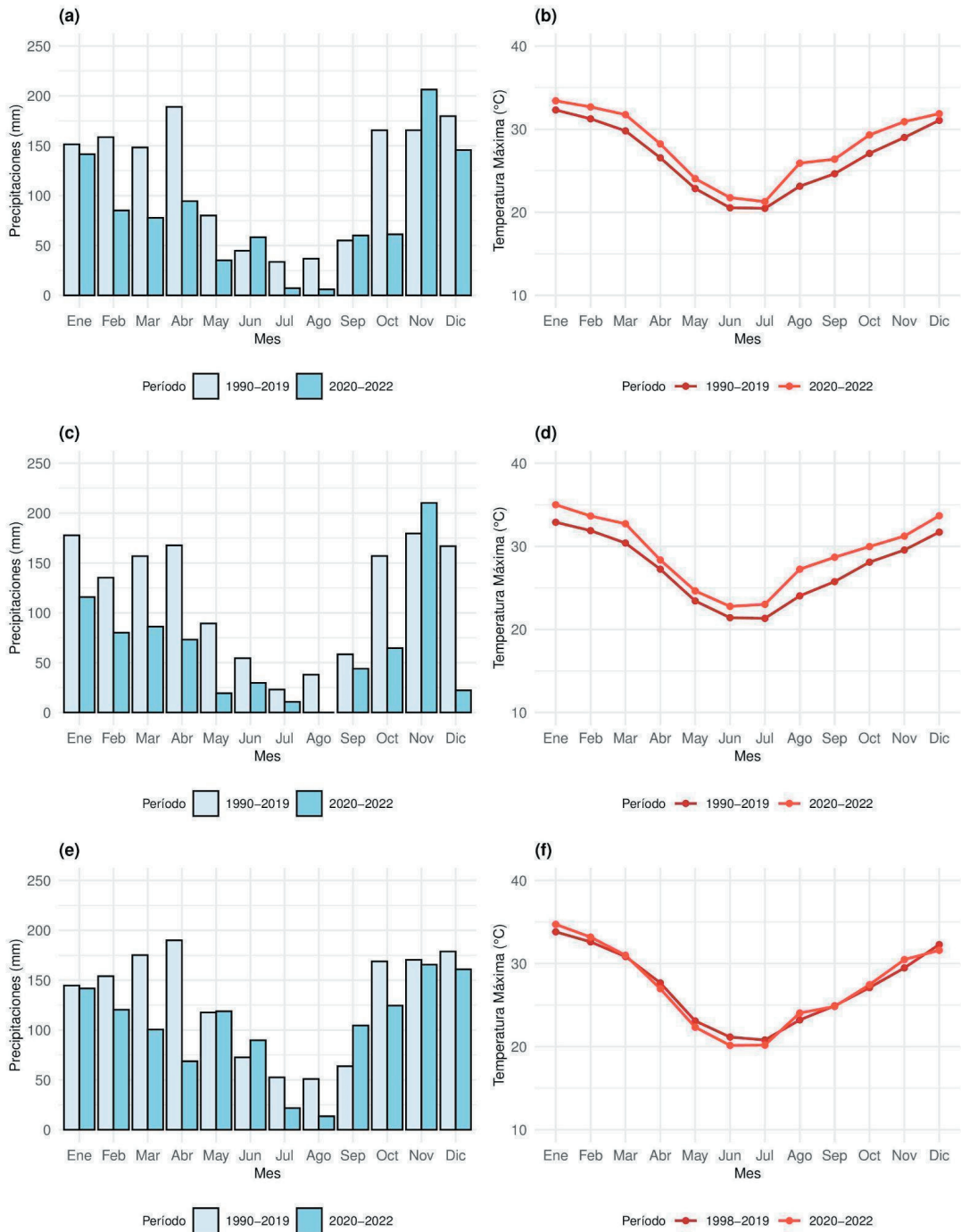


Figura 3. Promedio mensual de precipitación (mm) y temperatura máxima (°C) de las estaciones meteorológicas (a) y (b) Bella Vista; (c) y (d) Colonia Benítez; (e) y (f) Mercedes. Periodos 1990-2019 y 2020-2022.

Figure 3. Monthly average of precipitation (mm) and maximum temperature (°C) from the meteorological stations (a) and (b) Bella Vista; (c) and (d) Colonia Benítez; (e) and (f) Mercedes. Periods 1990-2019 and 2020-2022.

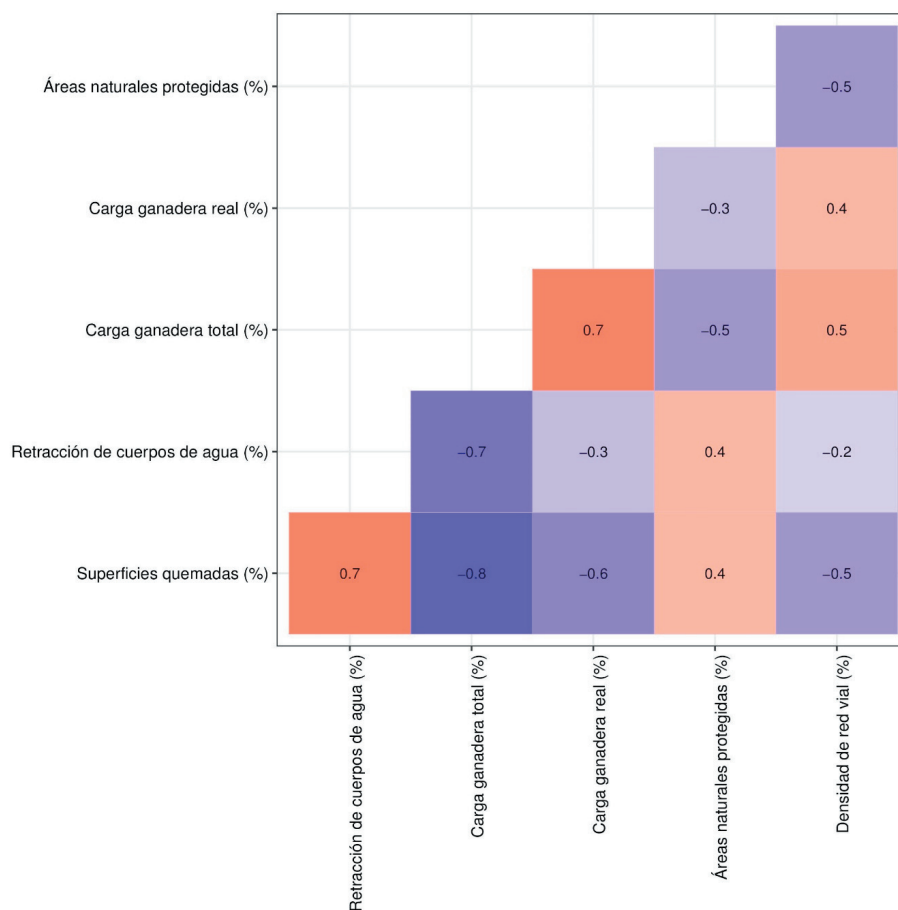


Figura 4. Correlación de Spearman entre superficie quemada y retracción de cuerpos de agua, carga ganadera total, carga ganadera real, superficie de áreas protegidas y red vial.

Figure 4. Spearman correlation between burnt surface and retraction of water bodies, total livestock load, actual livestock load, surface area of protected areas and road network.

vial, mayor el porcentaje de área quemada del departamento.

DISCUSIÓN

Estudios recientes señalan que condiciones meteorológicas tales como alta temperatura, baja humedad relativa y velocidad del viento, en años extraordinariamente secos favorecen la ocurrencia de incendios intensos que se propagan rápidamente y son difíciles de controlar, dando lugar a mega-incendios (Bowman et al. 2020; García et al. 2021; Marques et al. 2021; Martins et al. 2022). En este sentido, Pausas y Keeley (2021) sostienen que la probabilidad de ocurrencia de incendios resulta de la interacción de tres factores: un iniciador, combustible disponible y un período de sequía. La combinación de estos tres factores genera las condiciones de vulnerabilidad para el inicio y la propagación

del fuego. El fenómeno de La Niña se ha desarrollado consecutivamente en los últimos tres años; de esta manera, las precipitaciones acumuladas en los dos primeros meses de 2022 presentaron déficit de hasta 125 mm con respecto a los valores históricos (1990-2021), y las temperaturas máximas superaron en 5 °C las máximas medias históricas. Por estas condiciones climáticas, el uso del fuego estuvo totalmente prohibido por muchos meses en la provincia, lo que favoreció la acumulación de biomasa seca en pie. Por otro lado, la contracción de los cuerpos de agua provocada por el déficit hídrico explica la proliferación de los incendios, principalmente en los ambientes de humedales, tal como reportaron Marengo et al. (2021), quienes confirmaron que en el Pantanal, en un año excepcionalmente seco, los niveles bajos de los ríos evitan que los humedales se inundan, exponiendo la vegetación seca al fuego.

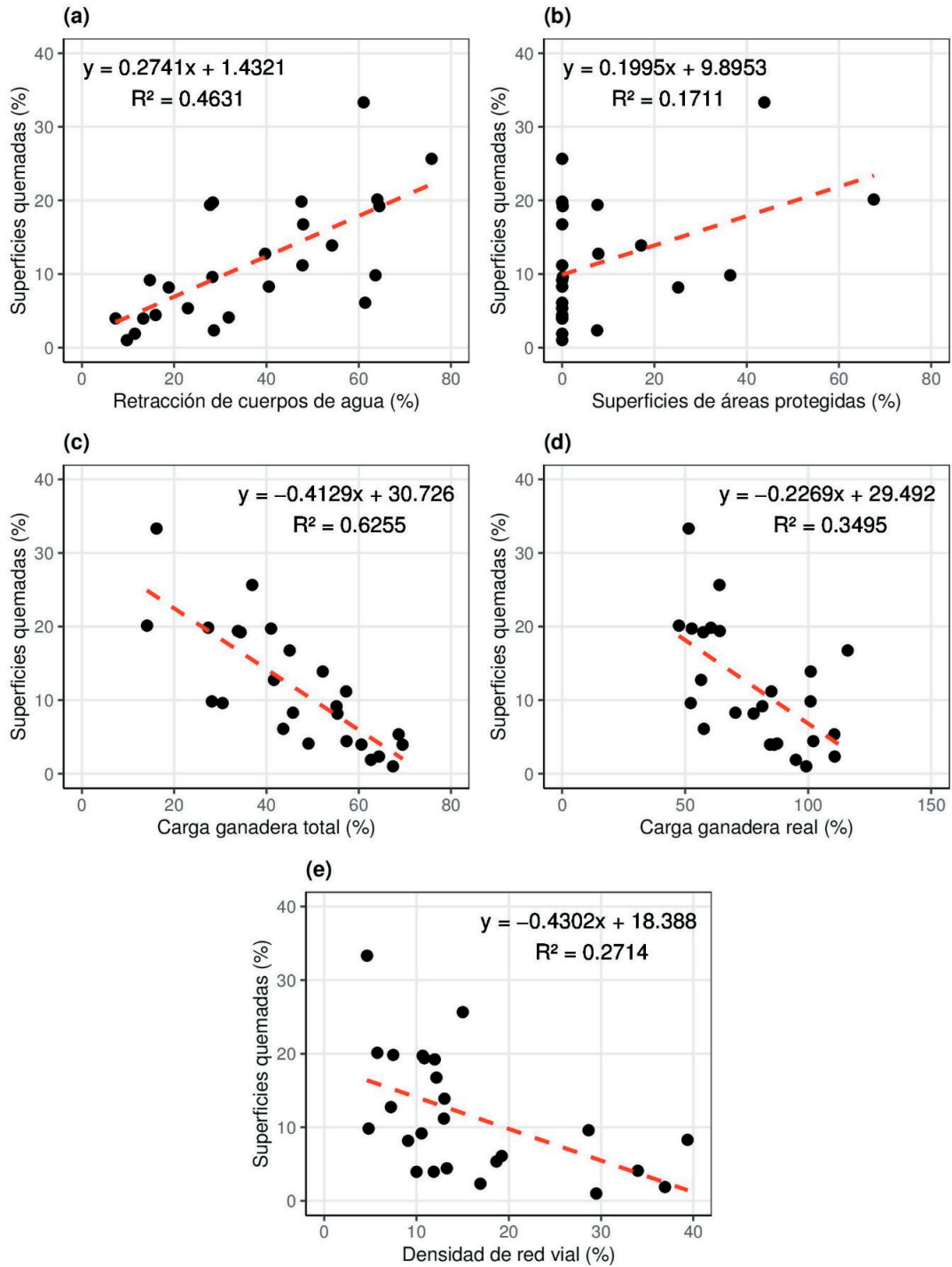


Figura 5. Regresión lineal simple entre superficies quemadas y: (a) retracción de cuerpos de agua, (b) superficies de áreas protegidas, (c) carga ganadera total, (d) carga ganadera real y (e) red vial.

Figure 5. Simple linear regression between burnt area and (a) retraction of water bodies, (b) surface area of protected areas, (c) total livestock load, (d) actual livestock load and (e) road network.

Se ha reportado que la carga ganadera, la política de supresión de fuego y la exclusión del ganado altera el comportamiento de los incendios (Marlon et al. 2012; Pausas and Keeley 2021; Pausas and Keeley 2014). El pastoreo reduce la carga de combustible por consumo o pisoteo, lo que dificulta la ocurrencia o el avance del fuego (Kunst et al. 2015). En Corrientes, la quema prescrita es una práctica habitual que normalmente se inicia a fines del invierno, continúa hasta principios de la primavera (agosto-septiembre) y termina cuando comienzan las lluvias a fines de la primavera (Montiel et al. 2021). Esto sugeriría que las quemas para remover material no palatable para el ganado (Pizzio et al. 2021) no fueron determinantes en los incendios de inicios de 2022. Además, los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con los hallazgos de Kumar et al. (2022), quienes encontraron que una mayor presión de pastoreo disminuye la biomasa potencialmente inflamable.

La supresión del fuego y la exclusión del ganado permiten que se acumule material combustible y, en consecuencia, favorece la propagación de incendios en épocas de sequía extrema en áreas naturales protegidas (Kumar et al. 2022; Pivello et al. 2021). Por esta razón, la creación de áreas naturales protegidas como única estrategia de conservación no garantiza la protección de los ecosistemas allí presentes. A modo de ejemplo, en este trabajo identificamos que en el Parque Nacional Iberá se quemó el 57% de la cobertura vegetal (Figura 1). Por último, y según Cardille et al. (2001), en áreas con menor densidad vial aumenta la probabilidad de incendios más catastróficos, lo cual está asociado a la dificultad del control del fuego debido a la menor accesibilidad y a la mayor continuidad de material combustible. Esto coincide con lo que encontramos en el presente trabajo: a mayor densidad de caminos, menor es el área quemada.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo proporcionan evidencias de que los grandes incendios ocurridos a comienzos de 2022 en la provincia de Corrientes fueron consecuencia principalmente de los factores climáticos, actuales y de larga data. Es importante conocer estos patrones para predecir las condiciones predisponentes a los incendios y aportar así al desarrollo de políticas de gestión para prevenir eventos catastróficos similares. Para la prevención, se debería planificar la estructura del paisaje, controlar y monitorear sistemáticamente los focos de calor, sobre todo, con condiciones de escasas precipitaciones y altas temperaturas. Además, se debería planificar la eliminación controlada de biomasa —ya sea de forma mecánica o a través del pastoreo y la carga ganadera— o a través de quemas controladas, siempre que sean autorizadas. Además, y frente a un escenario de cambio climático, se deberían explorar alternativas que permitan la retención hídrica y la infiltración de agua cuando escasean las precipitaciones, y viceversa.

AGRADECIMIENTOS. Al proyecto: Humedales de la República Argentina: distribución, usos y recomendaciones coparticipativas para una producción sustentable INTA 2019-PD-E2-1506-002. Al Dr. Faith Chan (profesor en la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Nottingham Ningbo, China) por revisar el resumen en inglés. A la dirección de Recursos Forestales del Ministerio de Producción de la Provincia de Corrientes por aportar la capa de bosques cultivados utilizada en este trabajo. Agradecemos también a los revisores anónimos por los aportes realizados que ayudaron a mejorar este artículo para su publicación. Agradecemos el uso de los datos provistos por: NASA's Fire Information for Resource Management System (FIRMS), part of NASA's Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS).

REFERENCIAS

- Boer, M. M., V. Resco de Dios, and R. A. Bradstock. 2020. Unprecedented burn area of Australian mega forest fires. *Nature Climate Change* 10:171-172. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0716-1>.
- Bond, W. J., and J. E. Keeley. 2005. Fire as a global "herbivore": the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 20:387-394. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.025>.
- Bond, W. J., F. I. Woodward, and G. F. Midgley. 2005. The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytologist* 165:525-538. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01252.x>.
- Bowman, D., G. Williamson, M. Yebra, J. Lizundia-Loiola, M. L. Pettinari, S. Shah, R. Bradstock, and E. Chuvieco. 2020. Wildfires: Australia needs national monitoring agency. *Nature* 584:188-191. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-02306-4>.
- Cardille J., S. Ventura, and M. Turner. 2001. Environmental and social factors influencing wildfires in the Upper Midwest, USA. *Ecological Applications* 11:111-127. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0111:EASFIW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0111:EASFIW]2.0.CO;2).

- Carnevali, R. 1994. *Fitogeografía de la provincia de Corrientes*, INTA – Gobierno de la provincia de Corrientes. ISBN 950-43-6059-9.
- De Santis, A., and P. Vaughan. 2009. Revisión de las técnicas de identificación cartográfica de áreas quemadas. *Recursos Rurais* 5:93-100. <https://doi.org/10.15304/rr.id5305>.
- Field, C. B., D. B. Lobell, H. A. Peters, and N. R. Chiariello. 2007. Feedbacks of Terrestrial Ecosystems to Climate Change. *Annual Review of Environment and Resources* 32:1-29. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.053006.141119>.
- García, L. C., J. K. Szabo, F. de Oliveira Roque, A. de Matos Martins Pereira, C. Nunes da Cunha, G. A. Damasceno-Júnior, R. G. Morato, W. M. Tomas, R. Libonati, and D. B. Ribeiro. 2021. Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative fire management is urgently needed for both biodiversity and humans. *Journal of Environmental Management* 293:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112870>.
- Earth Engine Code Editor. Último acceso: 24/05/2022. URL: code.earthengine.google.com.
- Gorelick, N., M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, and R. Moore. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202:18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Higuera, P. E., and J. T. Abatzoglou. 2020. Record-setting climate enabled the extraordinary 2020 fire season in the western United States. *Global Change Biology* 27:1-2. <https://doi.org/10.1111/gcb.15388>.
- Kumar, S., A. Getirana, R. Libonati, C. Hain, S. Mahanama, and N. Andela. 2022. Changes in land use enhance the sensitivity of tropical ecosystems to fire-climate extremes. *Scientific Reports* 12:964. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05130-0>.
- Kunst, C., R. Ledesma, S. Bravo, G. Defossé, J. Godoy, V. Navarrete, and N. Jaime. 2015. Dinámica del contenido de humedad de pastos y su relación con la ecología del fuego en región chaqueña occidental (Argentina). *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 41:83-93.
- Kurtz, D. B., A. R. Perucca, D. D. Ybarra, C. Fernández-López, T. S. Rey-Montoya, and R. A. Barrios. 2015. El Fenómeno El Niño, Comparación de Superficies Afectadas por Excesos Hídricos en Corrientes. Informe técnico y mapas digitales comparativos de superficies afectadas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Corrientes, Argentina. URL: tinyurl.com/548sh26r.
- Kurtz, D. B., H. D. Ligier, M. F. Navarro Rau, D. Sampredo, M. Calvi, and D. Bendersky. 2015. Superficie ganadera y carga animal en Corrientes. *Noticias y Comentarios* N° 528.
- Kurtz, D. B., J. Schellberg, and M. Braun. 2010. Ground and satellite based assessment of rangeland management in sub-tropical Argentina. *Applied Geography* 30:210-220. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.01.006>.
- Kurtz, D. B., M. F. Navarro Rau, and H. D. Ligier. 2011. Ordenamiento territorial de los bosques nativos en Corrientes. Pp. 96-103 *en* D. B. Kurtz (ed.). *Aportes al Desarrollo Sustentable. Logros y avances en el período 2006-2009*. Ediciones INTA.
- Kurtz, D. B., and R. A. Barrios. 2020. Las quemas y los incendios en la provincia de Corrientes. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Corrientes, Argentina. URL: tinyurl.com/2p8h53jv.
- Marengo, J. A., A. P. Cunha, L. A. Cuartas, K. R. Deusdará Leal, E. Broedel, M. E. Seluchi, et al. 2021. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. *Frontiers in Water* 3-20. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.639204>.
- Mari, N. A., M. Ahumada, and D. Pons. 2021. Incendios en la Provincia de Córdoba: Año 2020. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Córdoba, Argentina. URL: tinyurl.com/2p8mhkwt.
- Marlon, J. R., P. J. Bartlein, D. G. Gavin, C. J. Long, R. S. Anderson, C. E. Briles, K. J. Brown, et al. 2012. Long-term perspective on wildfires in the western USA. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109:535-543. <https://doi.org/10.1073/pnas.1112839109>.
- Marlon, J. R., P. J. Bartlein, M. K. Walsh, S. P. Harrison, K. J. Brown, M. E. Edwards, P. E. Higuera, M. J. Power, et al. 2009. Wildfire responses to abrupt climate change in North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106:2519-2524. <https://doi.org/10.1073/pnas.0808212106>.
- Marques, J. F., M. B. Alves, C. F. Silveira, A. Amaral e Silva, T. A. Silva, V. J. dos Santos, and M. L. Calijuri. 2021. Fires dynamics in the Pantanal: Impacts of anthropogenic activities and climate change. *Journal of Environmental Management* 299:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113586>.
- Martins, P. I., L. B. C. Belém, J. K. Szabo, R. Libonati, and L. C. García. 2022. Prioritising areas for wildfire prevention and post-fire restoration in the Brazilian Pantanal. *Ecological Engineering* 176:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106517>.
- Miller, J. D., and S. R. Yool. 2002. Mapping Forest Post-Fire Canopy Consumption in Several Overstorey Types Using Multi-Temporal Landsat TM and ETM Data. *Remote Sensing of Environment* 82:481-496. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00071-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00071-8).
- Minervini, M. G., H. J. M. Morrás, and M. A. Taboada. 2018. Efectos del fuego en la matriz del suelo. Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas. *Ecología Austral* 28:012-027. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.127>.
- Montiel, R., S. C. Zaninovich, N. A. Bedrij, A. Insaurrealde, J. J. Verdoljak, J. L. Fontana, and M. G. Gatti. 2021. Eucalypt plantations for forest restoration in a fire-prone mosaic of grasslands and forests in Northern Argentina. *Restoration Ecology* 29:1-11. <https://doi.org/10.1111/rec.13452>.
- Navarro de Rau, M. F. 2011. Clasificación de la cobertura de los suelos de la Ecorregión Mesopotamia, con apoyo en sensores remotos. Pp. 28-39 *en* D. B. Kurtz (ed.). *Aportes al Desarrollo Sustentable. Logros y avances en el período 2006-2009*. Ediciones INTA.

- Nolan, R. H., M. M. Boer, L. Collins, V. Resco de Dios, H. Clarke, M. Jenkins, B. Kenny, and R. A. Bradstock. 2020. Causes and consequences of eastern Australia's 2019-20 season of mega-fires. *Global Change Biology* 26:1039-1041. <https://doi.org/10.1111/gcb.14987>.
- Patterson, M. W., and S. R. Yool. 1998. Mapping Fire-Induced Vegetation Mortality Using Landsat Thematic Mapper Data: A Comparison of Linear Transformation Techniques. *Remote Sensing of Environment* 65:132-142. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00018-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00018-2).
- Pausas, J. G., and J. E. Keeley. 2021. Wildfires and global change. *Frontiers in Ecology and the Environment* 19:387-395. <https://doi.org/10.1002/fee.2359>.
- Pausas, J. G., and J. E. Keeley. 2014. Abrupt Climate-Independent Fire Regime Changes. *Ecosystems* 17:1109-1120. <https://doi.org/10.1007/s10021-014-9773-5>.
- Pausas, J. G., and E. Ribeiro. 2017. Fire and plant diversity at the global scale. *Global Ecology and Biogeography* 26: 889-897. <https://doi.org/10.1111/geb.12596>.
- Pivello, V. R., I. Vieira, A. V. Christianini, D. B. Ribeiro, L. da Silva Menezes, C. N. Berlinck, F. P. L. Melo, J. A. Marengo, C. G. Tornquist, W. M. Tomas, and G. E. Overbeck. 2021. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. *Perspectives in Ecology and Conservation* 19:233-255. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.005>.
- Pizzio, R. D., D. Bendersky, P. Barbera, E. Maidana. 2021. Caracterización y manejo de los pastizales correntinos. Ediciones INTA.
- Popolizio, E. 1986. Influencia del sistema geomorfológico en las crecientes e inundaciones del nordeste argentino. *Geociencias* 14:3-33.
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Senande-Rivera, M., D. Insúa-Costa, and G. Miguez-Macho. 2022. Spatial and temporal expansion of global wildland fire activity in response to climate change. *Nature Communications* 13:1-9. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28835-2>.
- United Nations Environment Programme. 2022. Spreading like Wildfire - The Rising Threat of Extraordinary Landscape Fires. A UNEP Rapid Response Assessment. Nairobi.
- Walsh, J. E., T. J. Ballinger, E. S. Euskirchen, E. Hanna, J. Mård, J. E. Overland, H. Tangen, and T. Vihma. 2020. Extreme weather and climate events in northern areas: A review. *Earth-Science Reviews* 209:1-19. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103324>.
- Zamboni, P., M. G. Parmuchi, M. Ayarragaray, and G. Zacconi. 2021. Informe de superficies afectadas por incendios en el Delta e Islas del Río Paraná (Territorio PIECAS-DP) Año 2020. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, Buenos Aires, Argentina. URL: tinyurl.com/ycxeb25d.