



**COMISIÓN DE ENLACE DE ENTIDADES AGROPECUARIAS**

# **ESTUDIO DE ÁREAS QUEMADAS EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA PERIODO 2010 - 2022**

**Autores: Ing. Agr. Marcelo Romero; Biól. Erio Curto**

Septiembre de 2023

## Contenido

Introducción .....	3
Área de estudio .....	5
Materiales .....	8
Métodos .....	8
Estadísticas provinciales y nacionales .....	12
Resultados .....	14
Discusión .....	16
Conclusión .....	26
Referencias bibliográficas .....	31

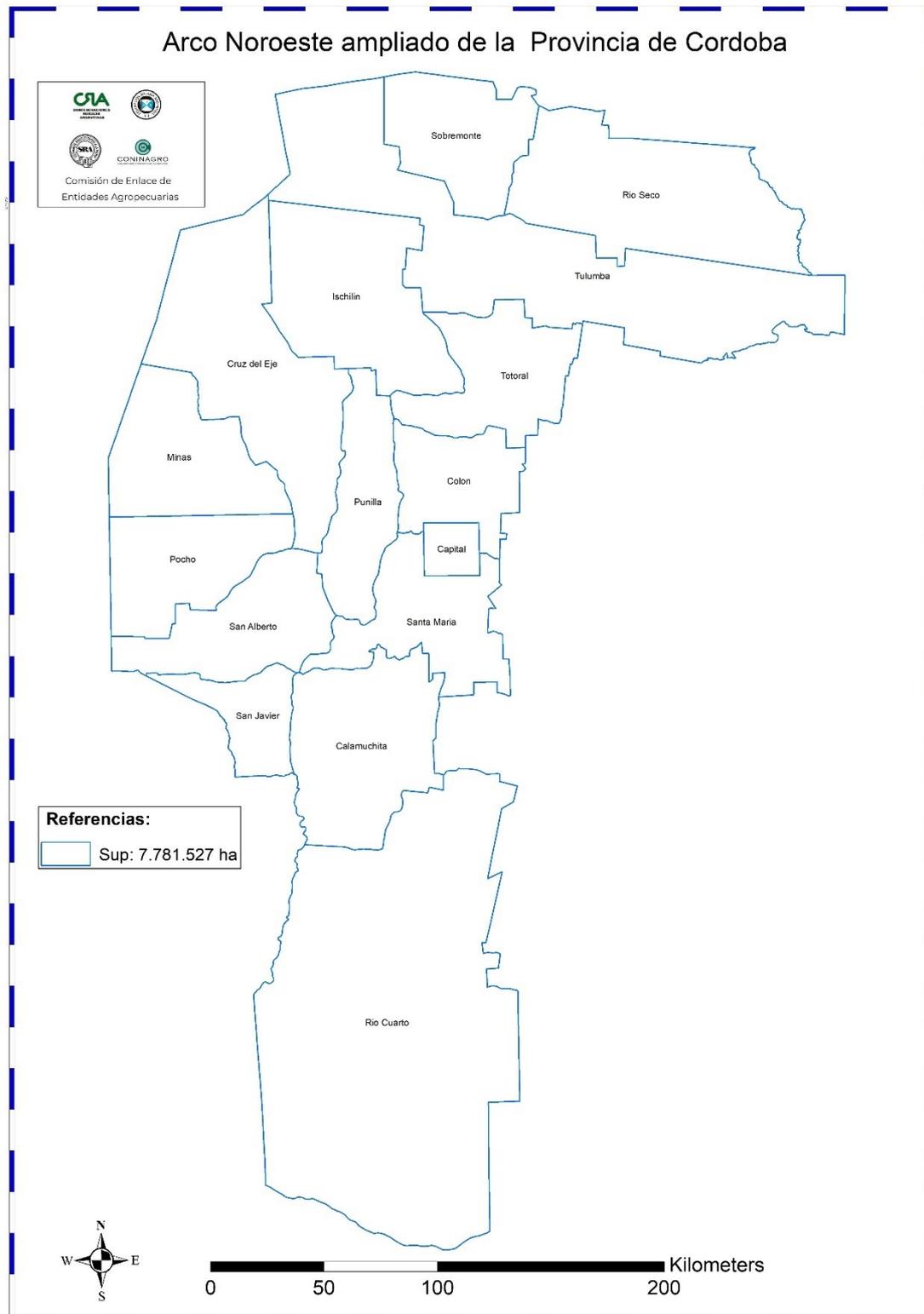
## Introducción

La Sociedad Rural de Jesús María (SRJM) es una entidad que vela por los intereses de los productores agropecuarios del norte y noroeste cordobés. Esta amplia región, a la que se denomina “arco noroeste” (AN) alcanza casi seis millones de hectáreas, distribuidas en 15 departamentos (figura 1). El registro de numerosos incendios en el límite sur del AN, en un área compartida con el departamento Río Cuarto, determinaron la inclusión de esta jurisdicción dentro del área de estudios. Como resultado, el área total bajo análisis se incrementó hasta las 7.781.527 ha, constituyendo lo que, a efectos de este trabajo, se denominó “arco noroeste ampliado” (ANA). El área cuenta todavía con una buena cobertura boscosa, de diferentes categorías, que alternan con sectores agrícolas y de pastizales.

Como viene sucediendo en el resto del territorio nacional, los incendios de campos son cada vez más frecuentes, una situación que no siempre se refleja de manera adecuada en las estadísticas oficiales. Los cambios, cada vez más acelerados en el uso del suelo, sumados al incremento poblacional y la sucesión de eventos climáticos extremos, hace que sea necesario contar con información confiable generada por la propia institución de modo tal que pueda realizarse una comparación con los datos oficiales y participar de manera fundamentada en las discusiones que se desarrollen en relación con el uso del territorio.

Los incendios de campos (forestales o de pastizales) son eventos no planificados ni controlados que acontecen en entornos silvestres (CSIC 2023) y constituyen una parte fundamental de algunos ecosistemas, tal es el caso de la ecorregión del Chaco Sudamericano en la que se encuentra incluida nuestra área de estudio.

A solicitud de la Comisión Directiva de la SRJM se desarrolló este estudio de la superficie afectada por incendios dentro de su zona de influencia durante el periodo 2010-2022.



**Figura 1:** Área de Estudio: arco noroeste ampliado de la provincia de Córdoba con una superficie de 7.781.527 ha.

## Área de estudio

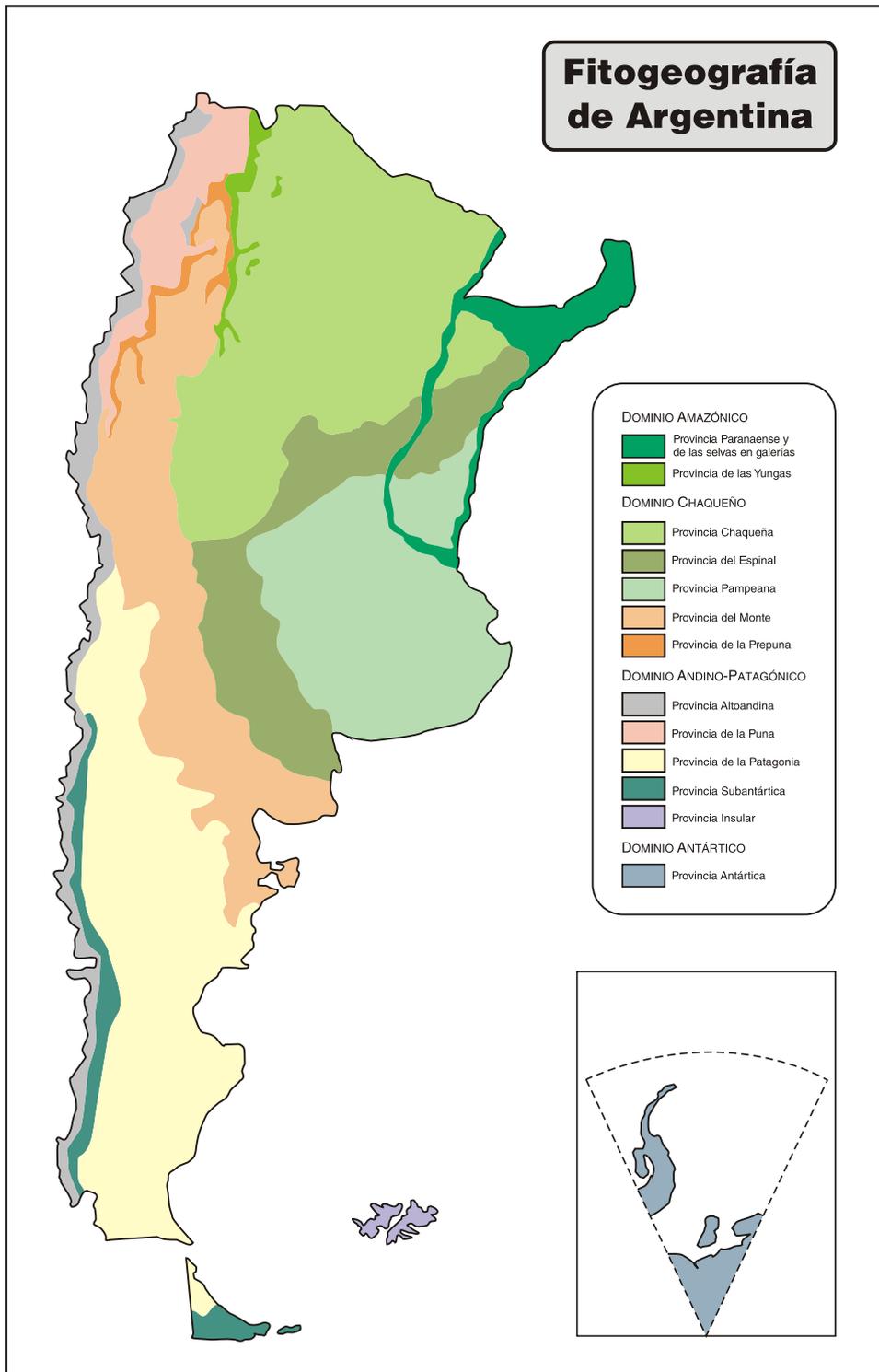
Según la clasificación de Cabrera (1971), el AN se encuentra ubicado dentro de la **Provincia Fitogeográfica Chaqueña** que se extiende por Formosa, Chaco, este de Salta, de Jujuy, de Tucumán, de Catamarca y de La Rioja, todo Santiago del Estero, norte de San Luis, de Córdoba y de Santa Fe, y noroeste de Corrientes. Cubre llanuras y serranías de poca elevación, con clima continental, cálido, con precipitaciones principalmente estivales que oscilan entre 500 mm en el oeste y 1200 mm en el este. La temperatura media va de 20 a 23 °C. El tipo de vegetación predominante es el bosque xerófilo caducifolio, pero también hay palmares, sabanas, estepas halófilas, etc. (fig. 2).

El departamento Río Cuarto es muy extenso, y comparte características de dos provincias fitogeográficas, el Chaco y el Espinal. Este último es el ecotono (transición) entre el Chaco y la estepa pampeana y se extiende en forma de arco irregular alrededor de la Provincia Fitogeográfica Pampeana, desde el centro de Corrientes y norte de Entre Ríos, por el centro de Santa Fe y de Córdoba, gran parte de San Luis y centro de La Pampa. Está caracterizado por llanuras, serranías bajas y medanales, con un clima que va de cálido y húmedo en la porción norte a templado y seco en la parte oeste. La precipitación varía de 340 mm a 1170 mm y la temperatura media anual oscila entre 15 y 20 °C. El tipo de vegetación dominante es el bosque xerófilo, parecido al de la Provincia Chaqueña, pero más bajo. Hay además palmares, sabanas gramíneas, estepas, etc. Caracteriza esta provincia la dominancia de especies arbóreas del género *Prosopis*, acompañadas por otros árboles de la provincia Chaqueña. Podría decirse que el Espinal es un Chaco empobrecido, sin quebracho colorado (Cabrera 1971) (figura 2).

Este ambiente, descrito por Cabrera (1971), está hoy ampliamente modificado, fundamentalmente el Chaco. No obstante, es interesante revisar los cambios que experimentó dado que en esta modificación estructural reside una de las causas del impacto cada vez mayor de los incendios.

El paisaje chaqueño ha sido modelado por el fuego. La vegetación clímax de esta provincia estaba representada por bosques que ocupaban los suelos más altos y mejor drenados que alternaban con sabanas de *pastizales mantenidas por el fuego*. Los suelos más bajos, con anegamientos periódicos estaban ocupados por sabanas de *pastizales edáficos* en las que las limitantes del suelo impiden el crecimiento de árboles. Los pastizales mantenidos por el fuego ocurren en cualquier comunidad sujeta a este fenómeno, pero tienden a ocupar los espacios más deprimidos entre el bosque, en los que la productividad del sustrato herbáceo es mayor y provee más combustible fino. El fuego es, por lo tanto, el factor que permite que perduren las sabanas de pastizales, incluso las edáficas. A diferencia de los pastizales, que responden positivamente al fuego a través de una mayor germinación, crecimiento vegetativo y reproducción, pocas especies de árboles están adaptadas a soportar incendios repetidos y muchas menos están favorecidas por ellos. Los incendios periódicos del pasado, provocados por rayos o iniciados por comunidades aborígenes, muy hábiles en el manejo del fuego, permitían mantener los

pastizales previniendo la colonización de las sabanas por árboles y arbustos. Tras la colonización europea, la intensidad y frecuencia de los incendios declinó por el desplazamiento de los nativos y el sobrepastoreo del ganado doméstico que eliminó el combustible necesario para los fuegos periódicos de mantenimiento. En consecuencia, los parches de pastizales comenzaron a ser invadidos por vegetación leñosa hasta su casi completa eliminación (Bucher 1982). La consecuencia de este cambio en el paisaje determinó que los fuegos periódicos de pastizales, rápidos y de menor temperatura, fueran reemplazados por incendios no regulares que disponen ahora de combustible mucho más abundante y de mayor poder calórico que afecta a los bosques que, en el origen, estaban adaptados a los incendios de pastizales.



**Figura 2:** provincias fitogeográficas de Argentina según Cabrera (1971).

## Materiales

Este estudio se basó, fundamentalmente, en el uso de la **teledetección** (análisis de la energía electromagnética reflejada por los objetos y captada por sensores a bordo de satélites) que permite el análisis de series de imágenes de diferente resolución espacial y temporal (Chuvieco et al 2012) de los siguientes satélites:

- *MODIS*:
  - Resolución espacial: píxeles de 250 a 500 m;
  - Resolución temporal: dos visitas por día.
- *Landsat 5, 7, 8 y 9*:
  - Resolución espacial: píxel de 30 m;
  - Resolución temporal: 16 días (pasadas intercaladas).
- *Sentinel 2*:
  - Resolución espacial: píxel de 10 m;
  - Resolución temporal: 10 días. Cada 5 días desde 2022.

Se realizó un análisis numérico de las bases de datos de las imágenes comparando la superficie del área de estudio antes y después de los incendios (Andela 2019; Oliva & Schroeder 2015).

También se utilizaron los puntos de calor provisto por FIRMS<sup>1</sup> con sus colecciones de datos (Oliva & Schroeder 2015):

- *MODIS Collection 6.1*: Cobertura temporal: 11 de noviembre de 2000 – presente;
- *VIIRS S-NPP 375 m*: Cobertura temporal: 20 de enero de 2012 – presente.

Se utilizó la plataforma de análisis geoespacial basada en la nube *Google Earth Engine*<sup>2</sup>. La misma permite a los usuarios visualizar y analizar imágenes satelitales de nuestro planeta y entre los algoritmos que se aplicaron podemos mencionar a *BURN Area*, *NBR*, *GNDVI*, *RdNBR*, *Dnbr*, *RBR*, *RI* y *BAI* (Guasone & Roncoroni 2022).

El producto área quemada MODIS, está disponible para su descarga en el sitio:

[University of Maryland sftp://fuoco.geog.umd.edu](http://ftp://fuoco.geog.umd.edu)

Los mapas resultantes del análisis de cada periodo se presentan en formato compatible con cualquier Sistema de Información Geográfica (SIG).

## Métodos

Se recortaron las bases de datos a la extensión del ANA. Los valores de los datos del campo brillo, expresados en grados Kelvin se convirtieron a grados centígrados y se eliminaron los datos fuera de rango (menores a cero grados), para obtener la base de datos

---

<sup>1</sup> <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>

<sup>2</sup> [https://www.google.com/intl/es-419\\_ALL/earth/education/tools/google-earth-engine/](https://www.google.com/intl/es-419_ALL/earth/education/tools/google-earth-engine/)

final sobre la que se calcularon las superficies quemadas y se realizó el análisis geoespacial de puntos calientes y fríos (Dong & Li 2023).

Para determinar la superficie de las áreas quemadas se utilizó la función cartográfica de *agregación de puntos*; esta herramienta crea entidades poligonales alrededor de grupos de entidades de puntos próximos. Los polígonos se generan alrededor de grupos de tres o más puntos dentro de la *distancia de agregación*.

Para determinar la *distancia de agregación* se calcularon las estadísticas de *Spatial Autocorrelation by Distance* (SAD)<sup>3</sup>. Se trata de una herramienta que mide la autocorrelación espacial para una serie de distancias y, opcionalmente, permite crear un gráfico lineal de esas distancias y sus correspondientes puntuaciones Z. Las puntuaciones Z reflejan la intensidad de la agrupación espacial, y las puntuaciones Z máximas, estadísticamente significativas, indican distancias donde los procesos espaciales que promueven la agrupación son más pronunciados (figura 3). Estas distancias máximas suelen ser valores apropiados para usar con herramientas con el parámetro *distancia de agregación* (Siabato & Guzmán Manrique 2019).

Una vez determinadas las áreas quemadas en cada año, se realizó la determinación de puntos fríos (*cold spots*) y calientes (*hot spots*) utilizando la herramienta de estadística espacial *Análisis de Puntos de Calor Optimizado* (OHSA) (Ariza Pastrana, 2017). Dados unos puntos de incidentes o unas entidades ponderadas (puntos o polígonos), se crea un mapa de puntos calientes y fríos significativos en términos estadísticos mediante el uso de la estadística *Gi\* de Getis-Ord*, mediante la cual se evalúan las características de la clase de entidad de entrada para producir resultados óptimos. Esta herramienta identifica clústeres espaciales, estadísticamente significativos, de valores altos (puntos calientes o *hot spots*) y valores bajos (puntos fríos o *cold spots*). Agrega automáticamente datos de incidentes, identifica una escala de análisis apropiada y corrige tanto las diversas pruebas como la dependencia espacial (figura 4).

El campo *Gi\_Bin* identifica puntos calientes y fríos significativos desde el punto de vista estadístico, corregidos para la realización de varias pruebas y para la dependencia espacial utilizando el método de corrección *False Discovery Rate* (FDR). Las entidades en los bins +/-3 (entidades con un valor de *Gi\_Bin* de +3 o -3) son significativas desde el punto de vista estadístico con un nivel de confianza del 99 %; las entidades en los bins +/-2 reflejan un nivel de confianza del 95 %; las entidades en los bins +/-1 reflejan un nivel de confianza del 90 %; y el agrupamiento (*clustering*) para las entidades con 0 para el campo *Gi\_Bin* no es significativo desde el punto de vista estadístico. Cabe aclarar que la distancia espacial óptima para calcular la agregación de puntos debe ser determinada para

---

<sup>3</sup> <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/optimized-hot-spot-analysis.htm>

cada año en particular, ya que los incendios son eventos que varían en su frecuencia, intensidad y ubicación en cada periodo analizado.

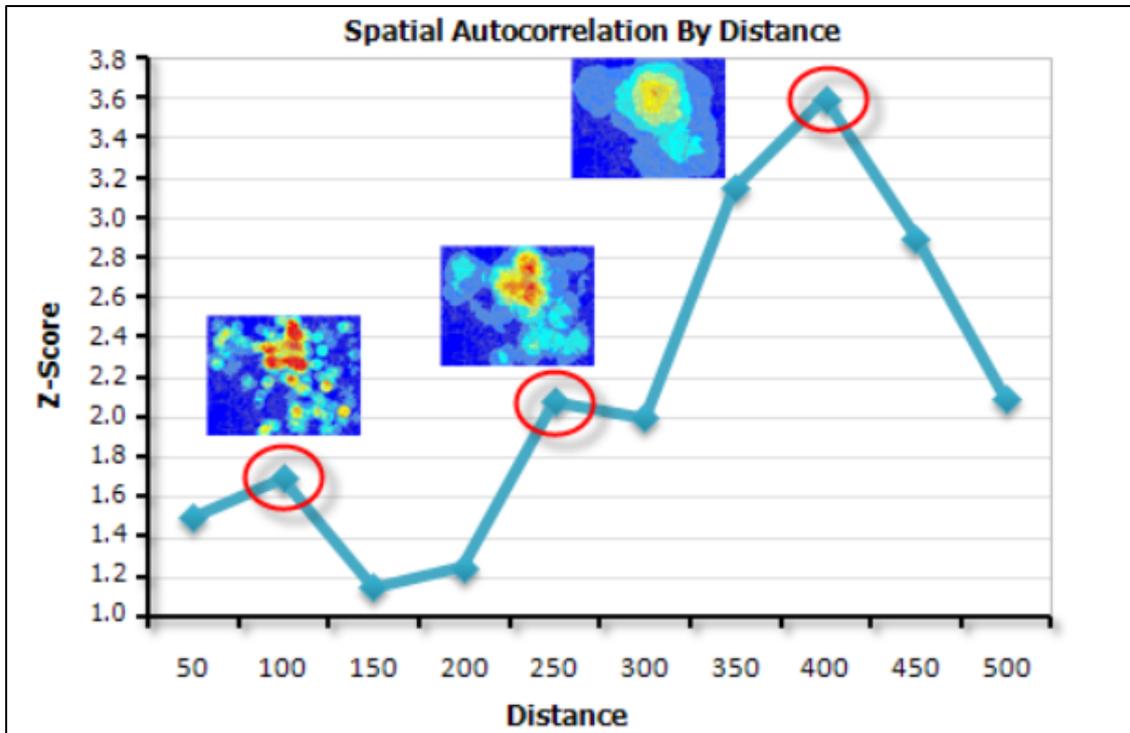


Figura 3: gráfico que ejemplifica como opera la *Spatial Autocorrelation by Distance* (SAD).

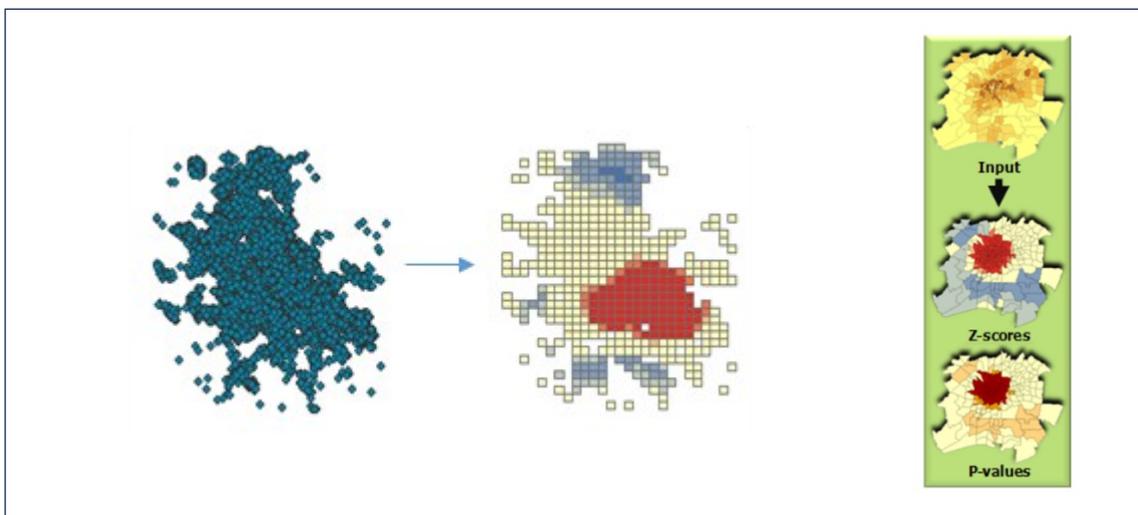
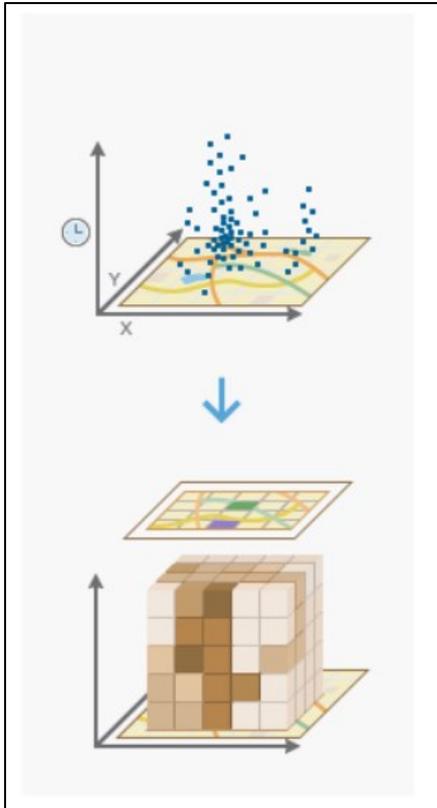


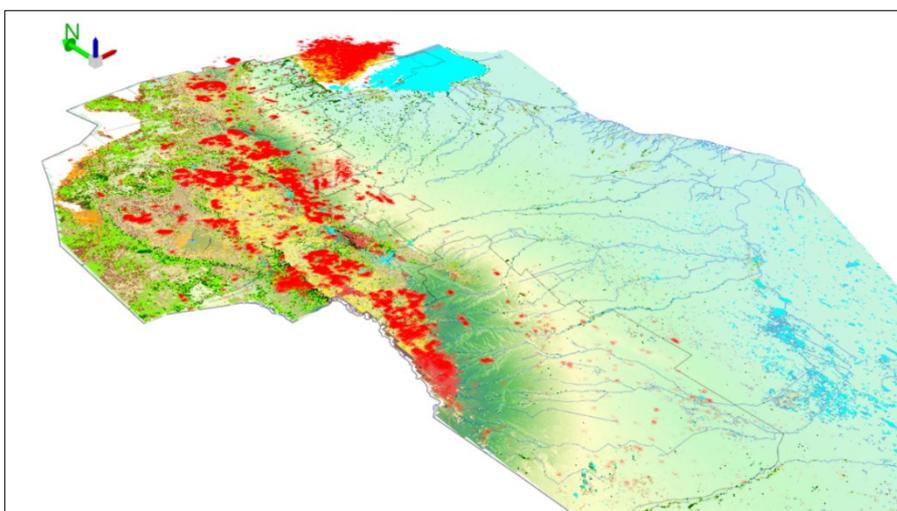
Figura 4: creación de agrupaciones (*clusters*) espaciales, estadísticamente significativos, de valores altos (*hot spots*) y valores bajos (*cold spots*) mediante la aplicación de la herramienta de *Análisis de Puntos de Calor Optimizado* (OHS).

Por último, para facilitar la visualización de los datos se creó un *Cubo de Espacio-Tiempo* agregando puntos. Este recurso resume un conjunto de puntos en una estructura

de datos *netCDF* agregándolos en contenedores de espacio-tiempo. Dentro de cada contenedor, se cuentan los puntos y se agregan los atributos especificados. Para todas las ubicaciones de contenedores, se evalúa la tendencia de los recuentos y los valores de los campos de resumen (Nieto et al 2022; Fitzgibbon et al 2022) (figuras 5 y 6).



**Figura 5:** generación de un *Cubo de Espacio-Tiempo* que facilita la visualización de un conjunto de puntos.



**Figura 6:** Ejemplo de visualización de datos en un cubo espacio temporal en un entorno 3D

## Estadísticas provinciales y nacionales

El gobierno de la provincia de Córdoba no publica con regularidad las estadísticas de áreas quemadas y el acceso a la información disponible del Plan Provincial de Manejo de Fuego (PPMF) es escasa, fragmentada y dificultosa. Algunos datos se pueden obtener del portal de estadísticas o de los informes de la Secretaría de Ambiente.

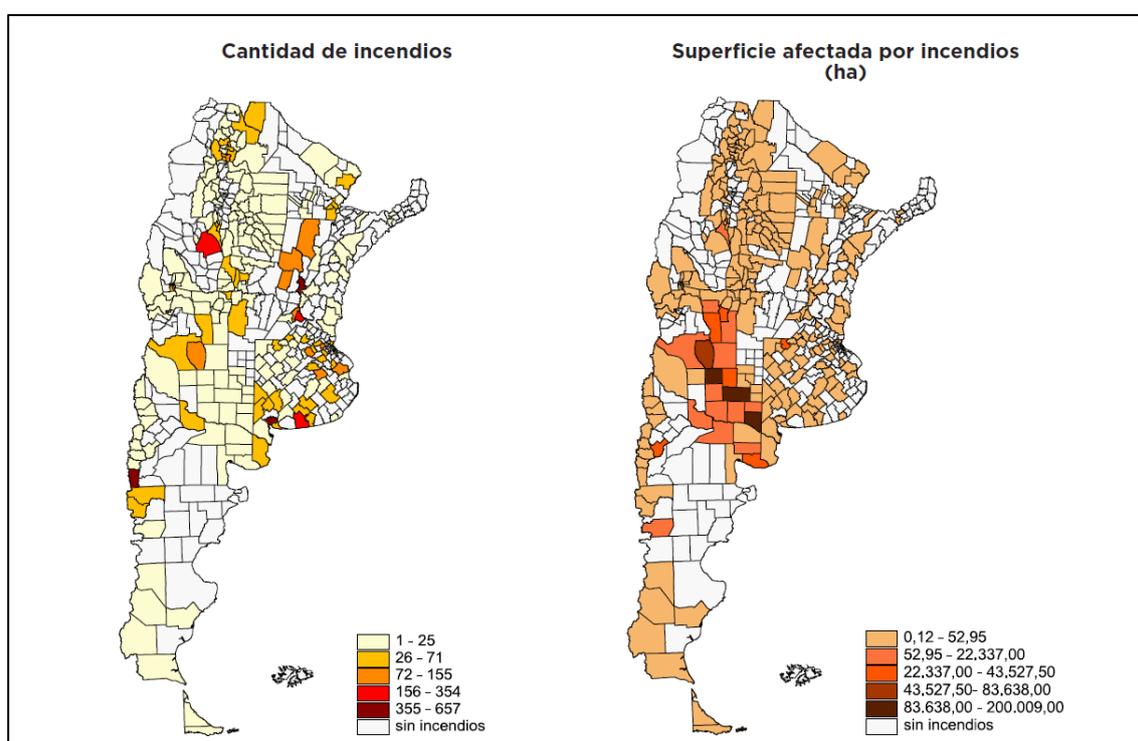
A nivel nacional las estadísticas de incendios forestales son producidas y difundidas por el Programa Nacional de Estadística Forestal de la Dirección de Bosques desde 1993 (figura 7 y tabla 1).

Los datos básicos que se procesan son:

- Cantidad de incendios ocurridos;
- Superficie afectada por tipo de vegetación;
- Principales causas registradas.

La información se desagrega por:

- Regiones fitogeográficas;
- Regionales del PNMF;
- Jurisdicción;
- Departamento;
- Mes.



**Figura 7:** mapas que muestran la cantidad de incendios y superficie quemada por departamento en 2016. Fuente: Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal (UMSEF). Elaboración: Programa Nacional de Estadística Forestal (PNEF).

**Tabla 1:** estadísticas de incendios forestales en la provincia de Córdoba durante 2016. Fuente: Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal (UMSEF). Elaboración: Programa Nacional de Estadística Forestal (PNEF)

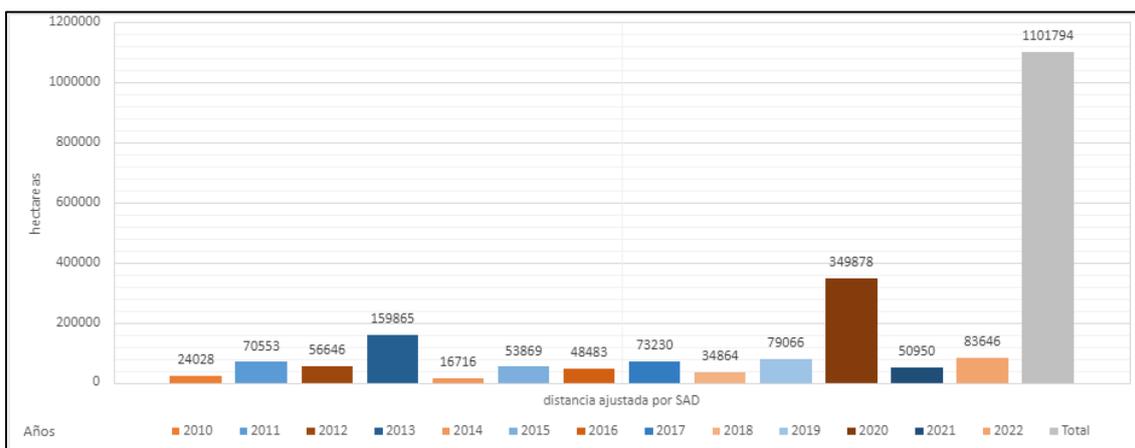
Córdoba										
Departamento	Cantidad	Superficie (ha)				Causas				
		Total	Bosque nativo	Bosque cultivado	Arbustal	Pastizal	Negligencia	Intencional	Natural	Desconocida
<b>Porcentaje</b>		<b>100,00%</b>	<b>8,94%</b>	-	<b>24,66%</b>	<b>66,40%</b>	<b>28,62%</b>	<b>32,51%</b>	<b>1,06%</b>	<b>37,81%</b>
<b>Total</b>	<b>283</b>	<b>3.540,70</b>	<b>316,70</b>	-	<b>873,10</b>	<b>2.350,90</b>				
Calamuchita	9	17,90	-	-	-	17,90	33,33%	44,44%	-	22,22%
Colón	46	204,76	10,00	-	53,70	141,06	28,26%	34,78%	-	36,96%
Cruz del Eje	38	425,30	40,00	-	113,00	272,30	28,95%	31,58%	-	39,47%
Ischilín	9	69,50	10,00	-	31,50	28,00	77,78%	11,11%	-	11,11%
Minas	3	150,00	20,00	-	27,00	103,00	33,33%	33,33%	-	33,33%
Pocho	7	163,50	30,00	-	74,00	59,50	28,57%	42,86%	-	28,57%
Punilla	41	773,40	45,70	-	225,20	502,50	21,95%	24,39%	-	53,66%
Río Cuarto	32	452,12	10,00	-	72,10	370,02	18,75%	15,63%	3,13%	62,50%
San Alberto	17	194,58	34,00	-	52,00	108,58	35,29%	47,06%	-	17,65%
San Javier	44	447,50	107,00	-	137,50	203,00	27,27%	47,73%	4,55%	20,45%
Santa María	18	126,10	-	-	42,10	84,00	33,33%	50,00%	-	16,67%
Tercero Arriba	8	123,04	-	-	-	123,04	12,50%	-	-	87,50%
Totoral	5	23,50	-	-	-	23,50	40,00%	-	-	60,00%
Tulumba	6	369,50	10,00	-	45,00	314,50	33,33%	33,33%	-	33,33%

## Resultados

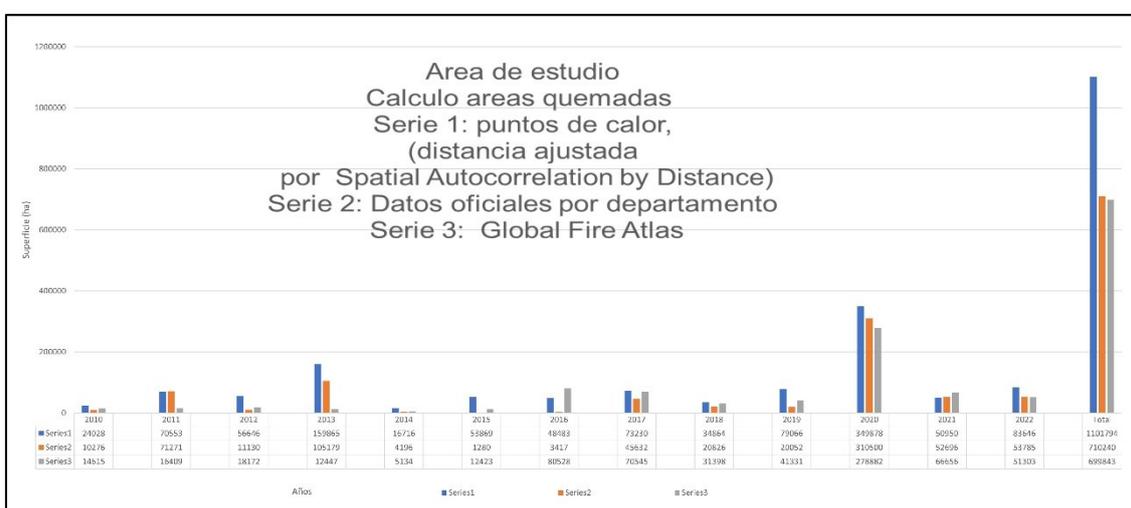
Los resultados obtenidos de nuestro análisis fueron comparados con los datos oficiales, publicados a nivel nacional y provincial, y con los valores obtenidos a partir de Global Fire Atlas V1 IPCC (Coskuner, 2022) (tabla 2; figuras 8 y 9).

**Tabla 2:** cálculo anual de áreas quemadas por puntos de calor (distancia variable ajustada por *Spatial Autocorrelation by Distance - SAD*) comparada con datos oficiales (2010-2017 (Secretaría de Ambiente de la Nación; 2018-2021 (datos.gob.ar/agroind-forestal); 2022 Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba - IDECOR) y Global Fire Atlas VI – IPC. En rojo se muestran los resultados obtenidos que registran mayor superficie que la informada oficialmente y en verde los que presentan valores menores.

Año	Datos oficiales por departamento	Global Fire Atlas V1 IPCC	Cálculo áreas puntos de calor Distancia ajustada por SAD
2010	10.276	14.615	24.028
2011	71.271	16.409	70.553
2012	11.130	18.172	56.646
2013	105.179	12.447	159.865
2014	4.196	5.134	16.716
2015	1.280	12.423	53.869
2016	3.417	80.528	48.483
2017	45.632	70.545	73.230
2018	20.826	31.398	34.864
2019	20.052	41.331	79.066
2020	310.500	278.882	349.878
2021	52.696	66.656	50.950
2022	53.785	51.303	83.646
<b>Total</b>	<b>710.240</b>	<b>699.843</b>	<b>1.101.794</b>
Diferencias con datos oficiales		<b>10.397</b>	<b>391.554</b>
Área de Estudio (ha): <b>7.781.527</b>			
Porcentaje del área de estudio	<b>9,13%</b>	<b>8,99%</b>	<b>14,16%</b>



**Figura 8:** cálculo anual de áreas quemadas por puntos de calor. Distancia variable ajustada por *Spatial Autocorrelation by Distance (SAD)*.



**Figura 9:** cálculo anual de áreas quemadas dentro del ANA para el periodo 2010-2022. **Serie 1:** superficie calculada en base a la distancia a puntos de calor ajustada por *Spatial Autocorrelation by Distance (SAD)*; **Serie 2:** datos oficiales por departamento; **Serie 3:** Global Fire Atlas VI – IPCC).

## Discusión

La comparación entre los resultados obtenidos en este trabajo con los datos oficiales de superficie afectada a lo largo de la serie 2010-2022, muestra una subestimación en 391.554 ha de superficie quemada. Esta diferencia se manifestó en todos los años analizados, excepto dos, en los que la diferencia a favor de la información oficial fue, no obstante, muy pequeña, 718 ha en 2011 y 1746 ha en 2021. Debe destacarse que igual situación se registró incluso en 2022, año en que la información oficial fue producida mediante teledetección por IDECOR (tabla 2).

La comparación con la superficie generada por Global Fire Atlas V1 – IPCC permite apreciar que se trata de una fuente de información de relativa utilidad ya que se trata de un producto de libre acceso que se genera diariamente a escala global y que muestra diferencias, en algunos casos muy importantes, con las otras fuentes de datos porque carece de un debido proceso de corrección y ajuste (tabla 2 y figura 10).

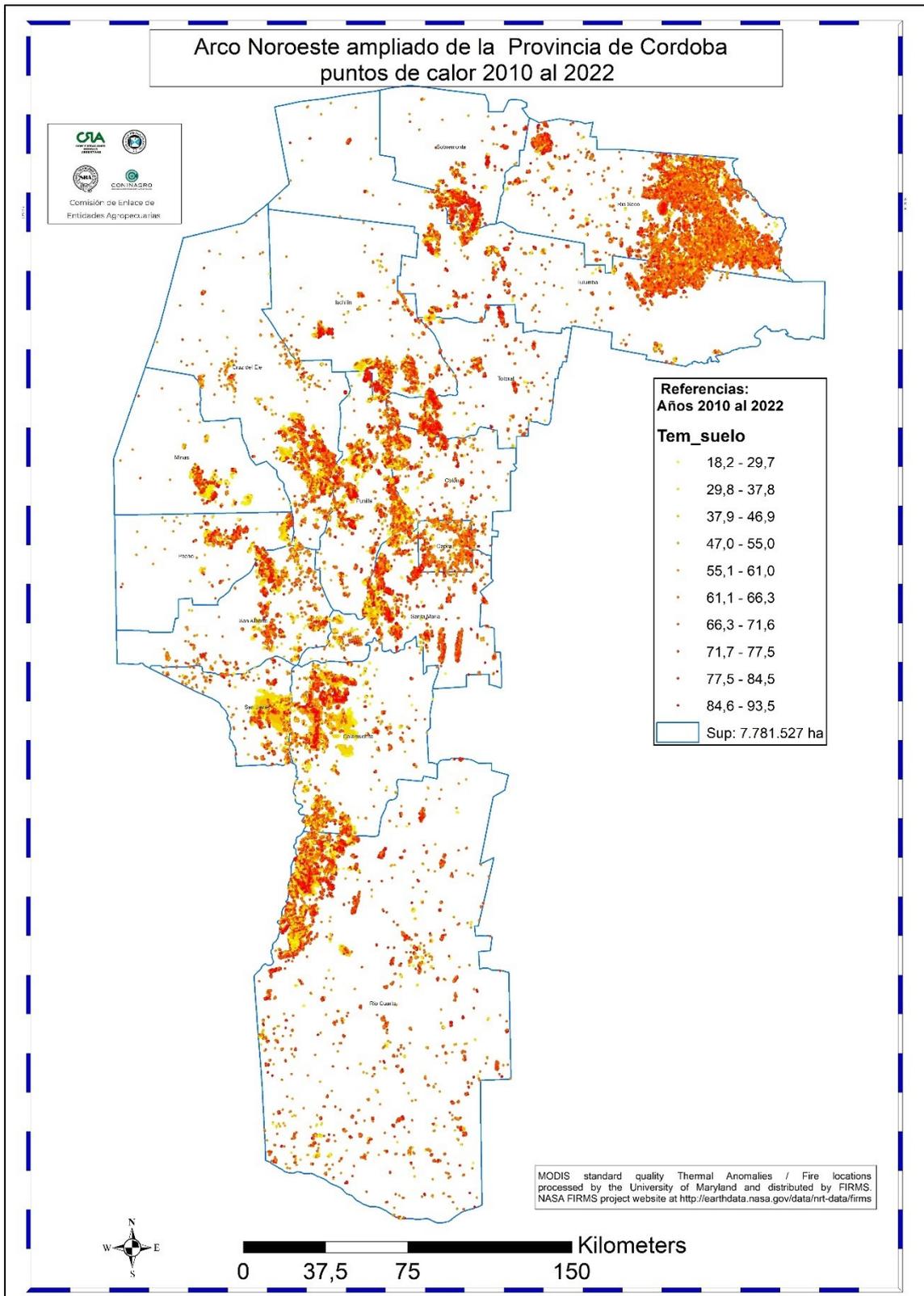
La metodología aplicada en este trabajo permitió generar un mapa de áreas quemadas en base a la agregación de tres o más puntos de calor dentro de una distancia variable determinada para cada conjunto de datos según el año a estudiar. Este proceso mejora la determinación de la superficie afectada por incendios al eliminar los falsos positivos (sombras, áreas inundadas, etc.) que se obtienen de Global Fire Atlas V1 – IPCC. El mapa generado se superpuso a: *a*) un Modelo de Elevación Digital (DEM 30 m)<sup>4</sup> (tabla 2 y figura 11) lo que nos permite apreciar la relación de los incendios con las zonas serranas, que presentan pendientes más marcadas, más población y mayor actividad económica ligada al turismo, y *b*) con un mapa de coberturas (*land cover*)<sup>5</sup> que permite analizar la ocurrencia de incendios con el uso de la tierra. Así, puede apreciarse una importante cantidad de incendios en los bañados del río Dulce, en los que el fuego es una herramienta indispensable para la persistencia de la ganadería trashumante. Puede apreciarse, además, que el área boscosa del noroeste, escasamente habitada, es de las regiones que menos incendios registraron (tabla 2 y figura 12).

Utilizando el *Análisis de Puntos de Calor Optimizado* (OHSA) se generó un mapa de puntos calientes (*hot spots*) y fríos (*cold spots*) que se muestra en la figura 13. En la figura 14 se presenta un gráfico que indica las temperaturas alcanzadas por cada punto de calor. Esta distribución se dispuso también, al igual que con el mapa de áreas quemadas sobre el DEM 30 m para poder mostrar la estrecha relación de los incendios con el sector de las sierras. Al igual que sucedió con los mapas de áreas quemadas es también notoria la agrupación de puntos calientes en los bajos inundables del río Dulce (figura 13).

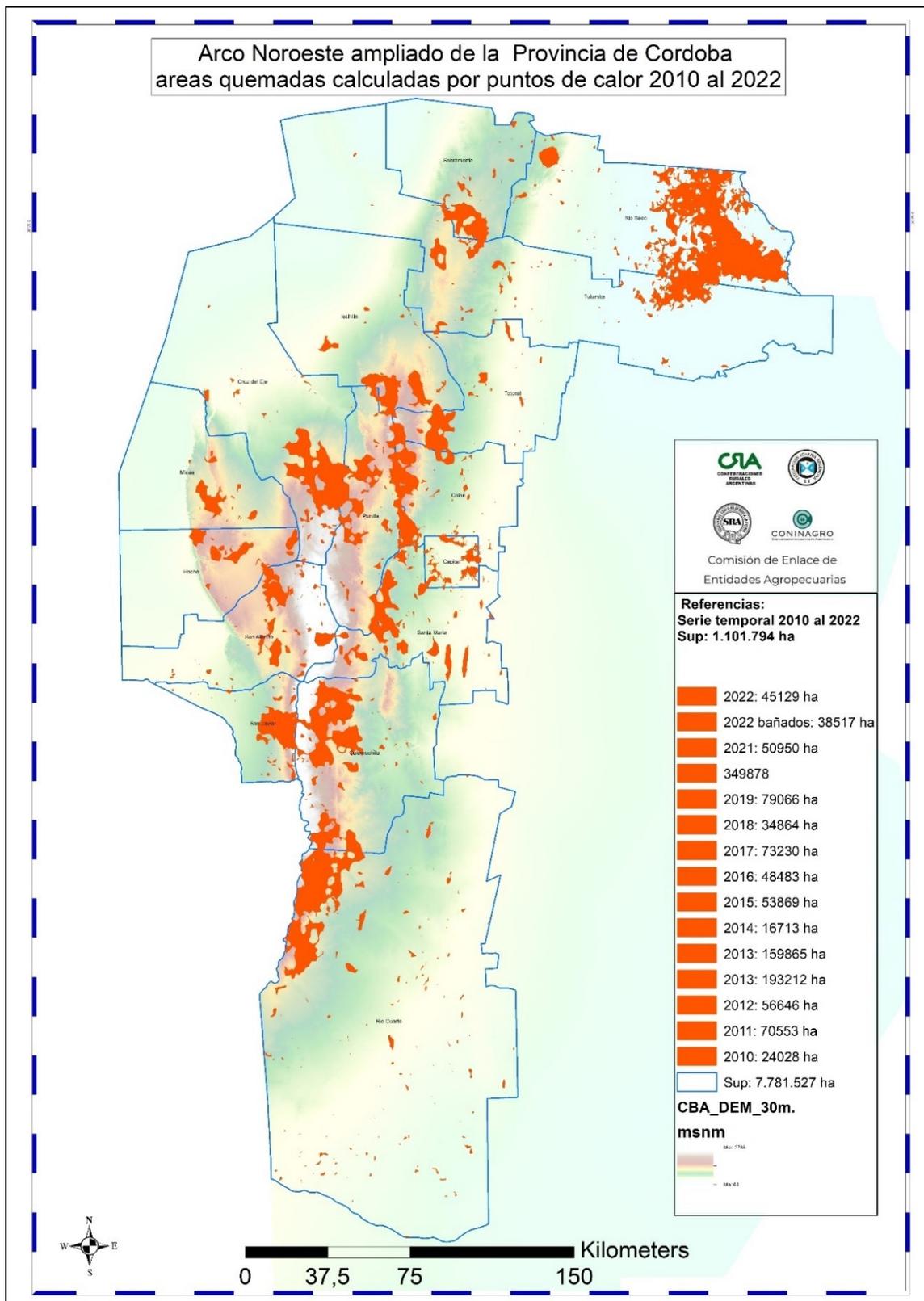
---

<sup>4</sup> <https://www.mapascordoba.gob.ar/#/descargas>

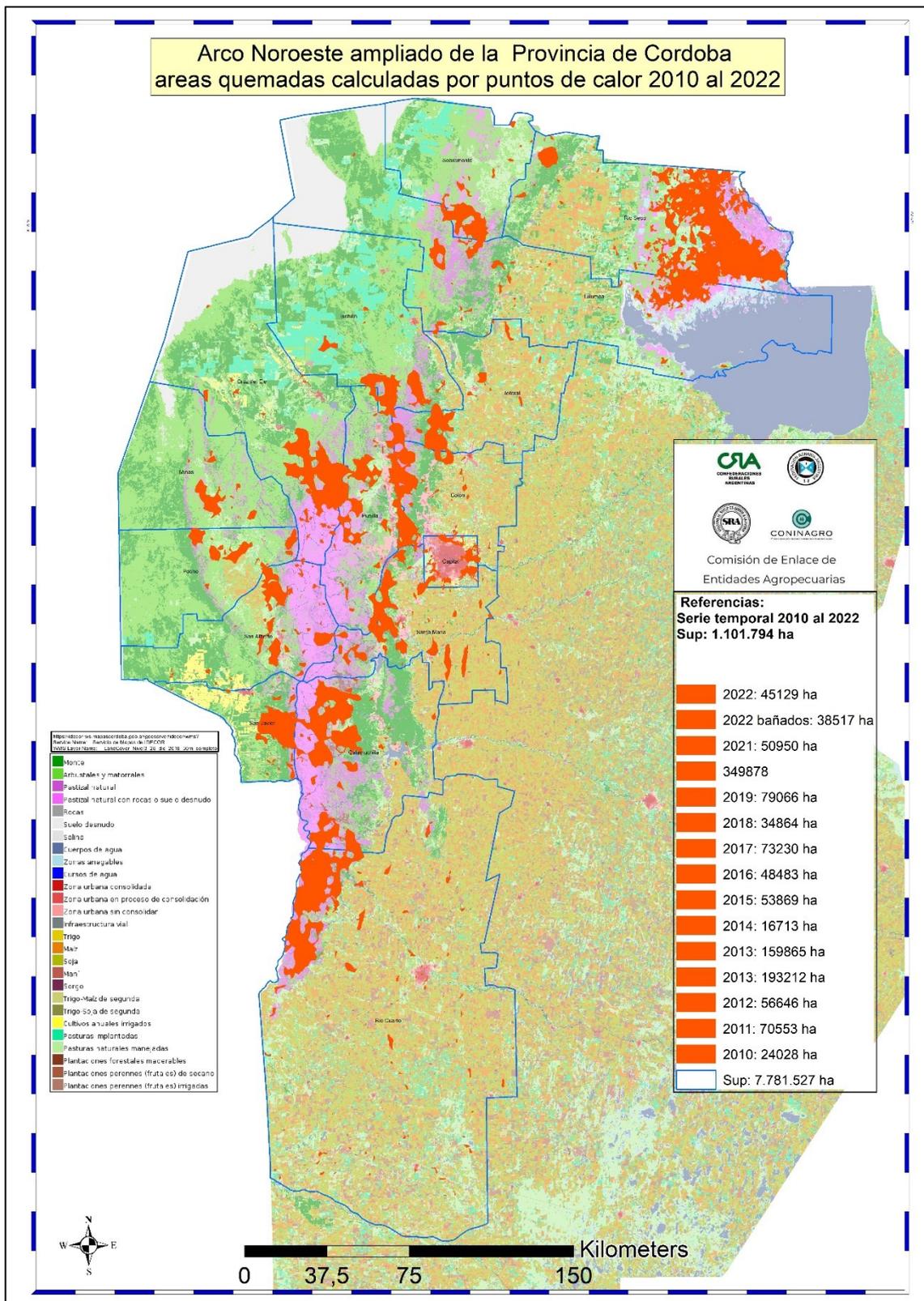
<sup>5</sup> [https://idecor-ws.mapascordoba.gob.ar/geoserver/idecor/Land\\_Cover\\_Nivel\\_3\\_2017\\_2018/wms](https://idecor-ws.mapascordoba.gob.ar/geoserver/idecor/Land_Cover_Nivel_3_2017_2018/wms)



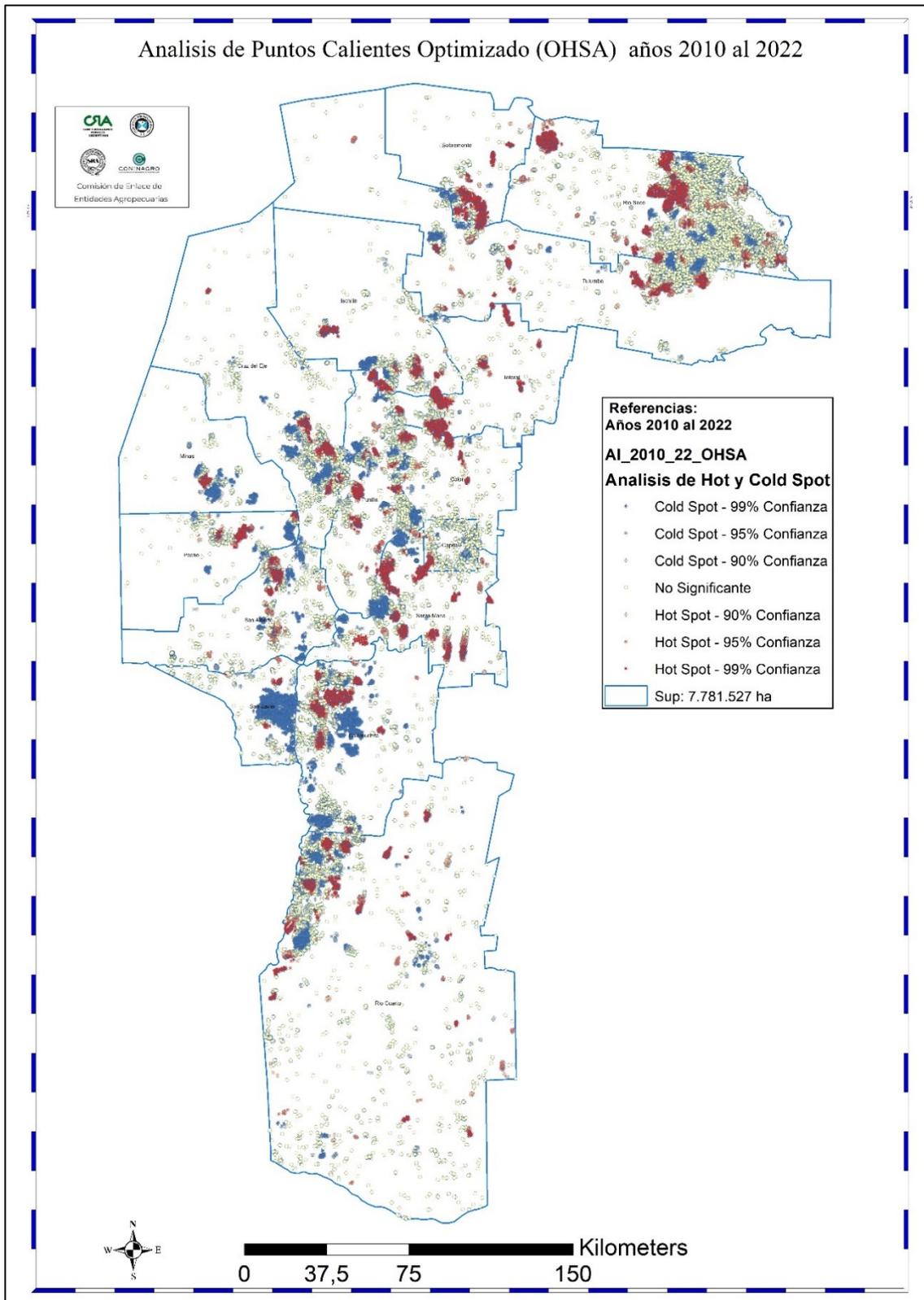
**Figura 10:** mapa de puntos de calor en el ANA (periodo 2010-2022). Fuente: Global Fire Atlas V1 – IPCC



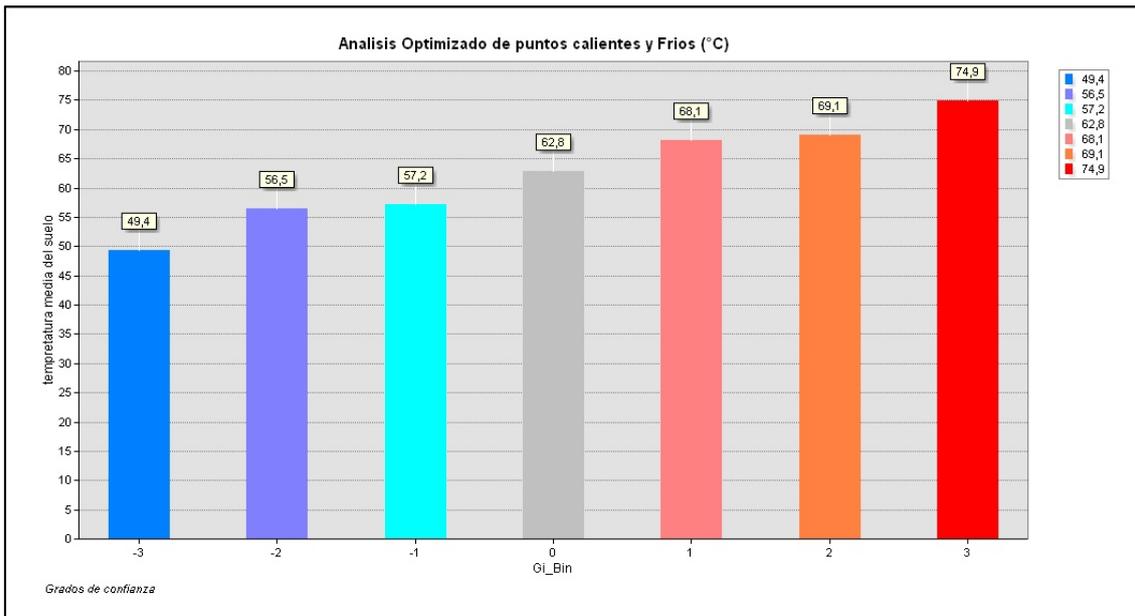
**Figura 11:** mapa de áreas quemadas en el ANA determinadas a partir de la agregación de tres o más puntos de calor dentro de una distancia determinada (periodo 2010-2022) sobre un Modelo de Elevación Digital (DEM 30m <https://www.mapascordoba.gob.ar/#/descargas>).



**Figura 12:** mapa de áreas quemadas en el ANA determinadas a partir de la agregación de tres o más puntos de calor dentro de una distancia determinada (periodo 2010-2022) sobre un mapa de coberturas de suelo (LandCover: [https://idecor-ws.mapascordoba.gov.ar/geoserver/idecor/Land\\_Cover\\_Nivel\\_3\\_2017\\_2018/wms](https://idecor-ws.mapascordoba.gov.ar/geoserver/idecor/Land_Cover_Nivel_3_2017_2018/wms)).



**Figura 13:** mapa de puntos calientes (*hot spots*) y fríos (*cold spots*) obtenido mediante *Análisis de Puntos de Calor Optimizado (OHSA)* en el ANA (periodo 2010-2022).



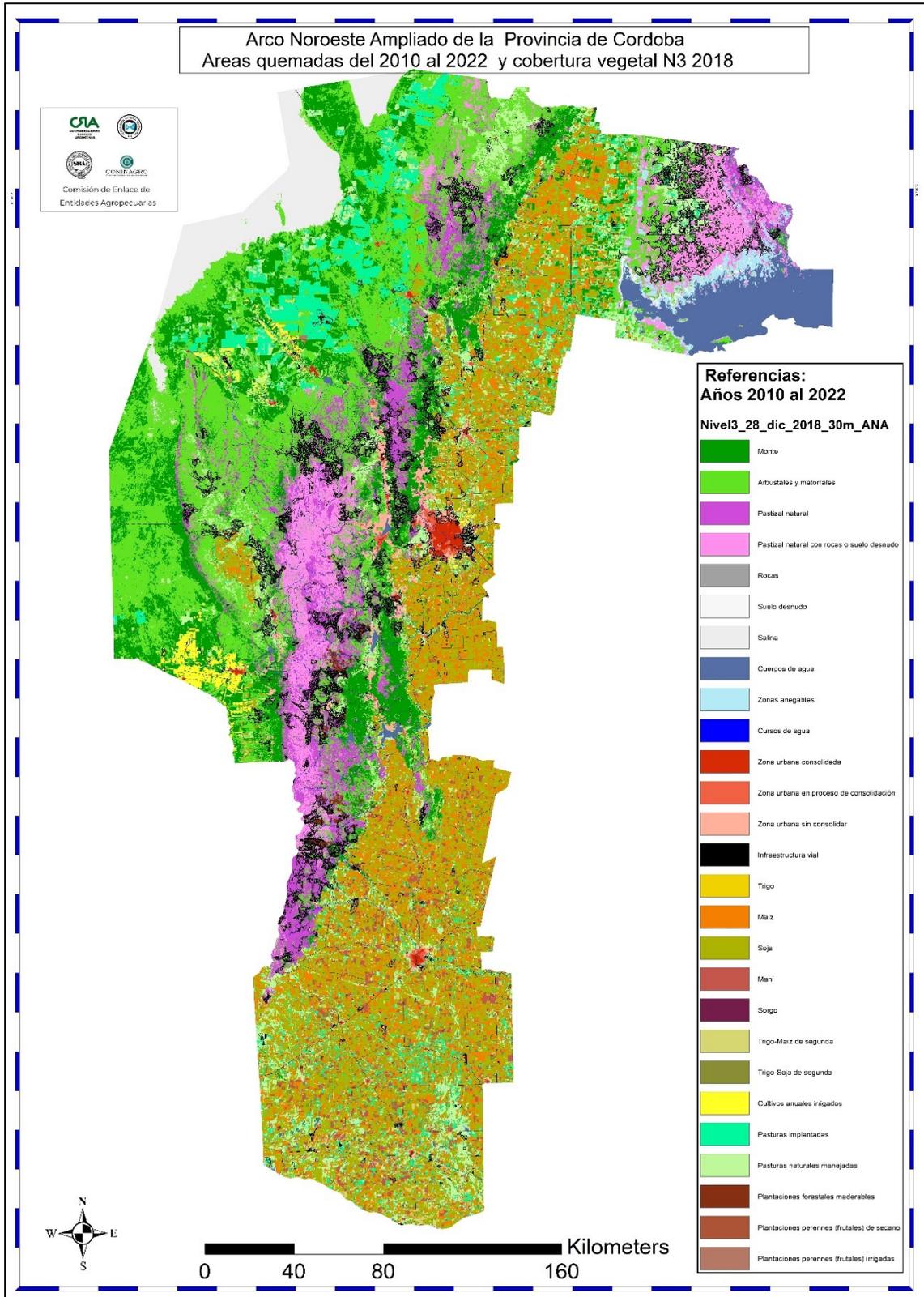
**Figura 14:** gráfico que muestra la temperatura de los puntos de calor obtenidos mediante el *Análisis de Puntos de Calor Optimizado (OHSA) en el ANA (periodo 2010-2022)*.

Para conocer cuáles fueron las coberturas más afectadas se superpusieron las áreas quemadas identificadas durante el periodo 2010-2022 con el mapa de coberturas agrícolas 2017-2018 de IDECOR <sup>6</sup> (figura 15).

En la tabla 3 y en las figuras 16 y 17 se muestra la superficie y el porcentaje del total de cada cobertura afectada por el fuego. Como puede apreciarse, tres coberturas (**arbustales y matorrales, pastizal natural y pastizal natural con rocas o suelo desnudo**) reúnen casi el 70% de la superficie quemada en el periodo analizado, en tanto que el **monte**, al igual que las **pasturas naturales manejadas**, fue afectado en un 9% en esos doce años. El resto de las coberturas presentan contribuciones menores al total del área quemada.

Finalmente, el mapa de focos de calor generado en el presente estudio fue superpuesto con el Mapa de Ordenamiento Territorial de Bosque nativo producido por la Secretaría de Ambiente de la Provincia de Córdoba (figura 18). De este cruzamiento de información puede apreciarse que la **categoría II (amarillo)** ha sido la más afectada, con alrededor de 23.000 ha, seguida por las **categorías I (rojo) y sin bosque** con aproximadamente 11.000 ha cada una.

<sup>6</sup> <https://mapascordoba.gob.ar/viewer/mapa/24>

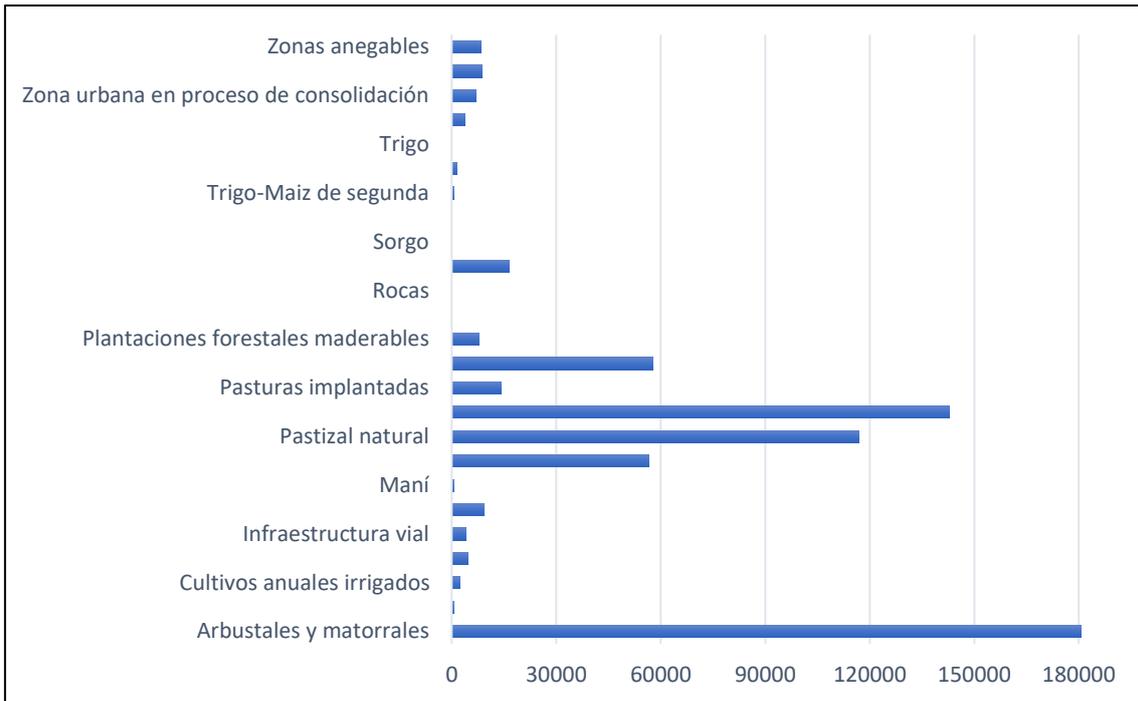


**Figura 15:** en negro se muestran los polígonos de áreas afectadas por incendios en el periodo 2010-2022 sobre las coberturas agrícolas 2010-2018 Nivel 3 según IDECOR (<https://mapascordoba.gob.ar/viewer/mapa/24>).

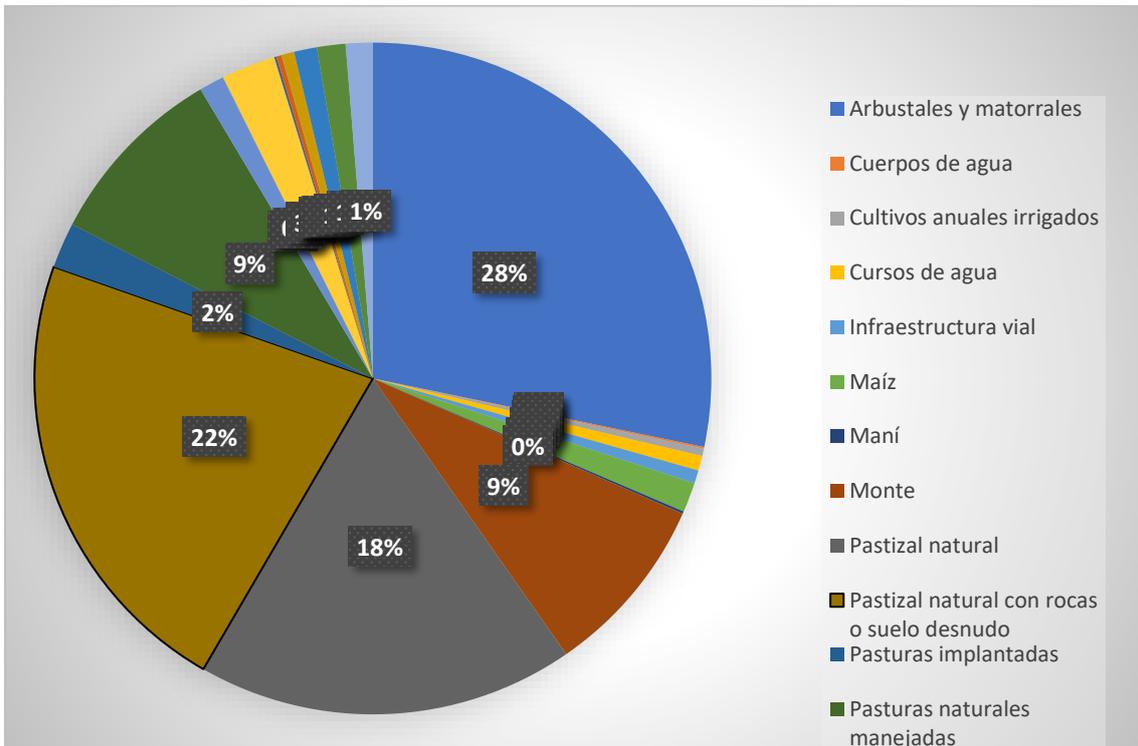
**Tabla 3:** superficie de coberturas afectadas por el fuego en el periodo 2010-2022. Fuente: cobertura agrícola 2010-2018 Nivel 3 según IDECOR.

<https://mapascordoba.gob.ar/viewer/mapa/24>.

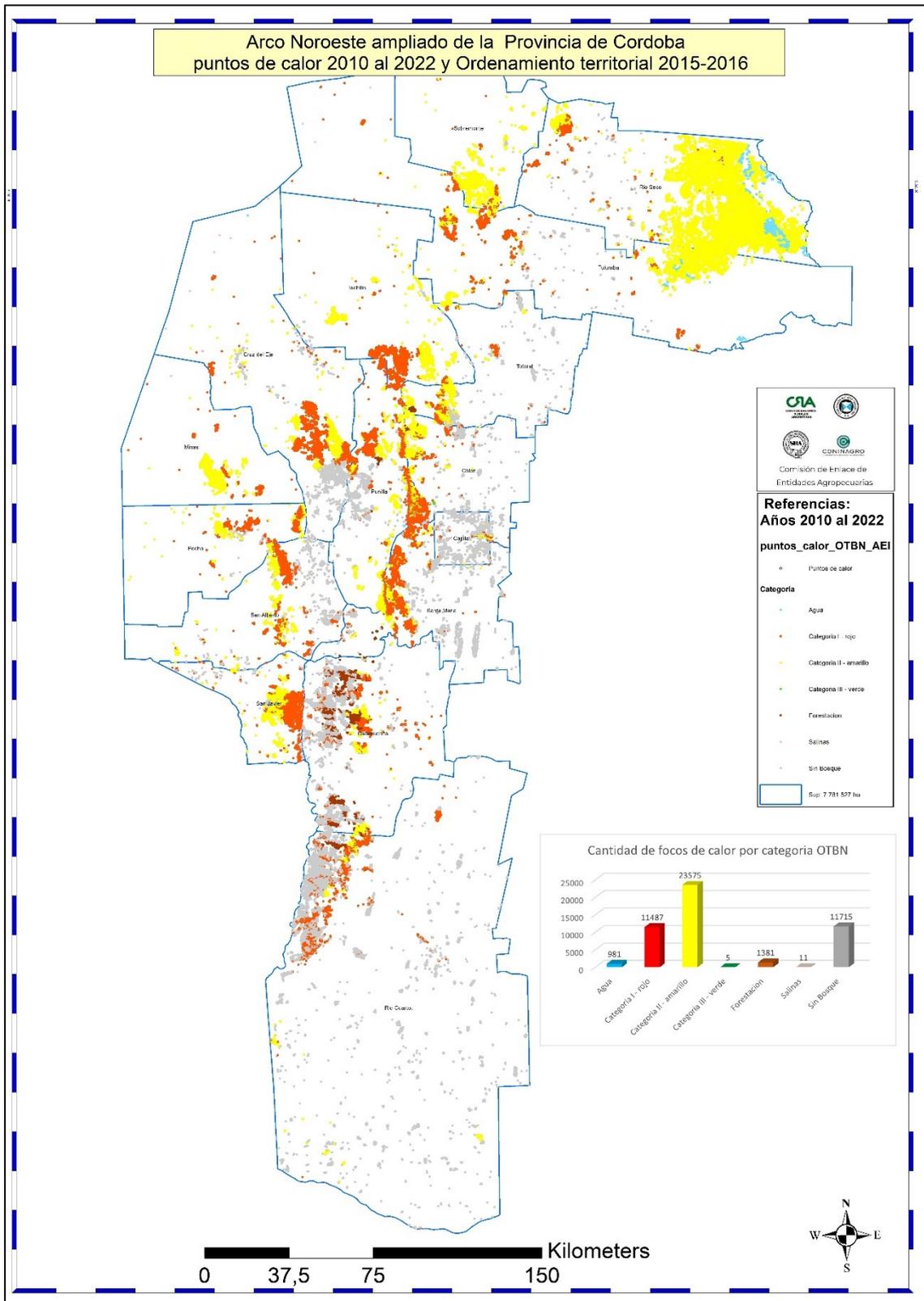
<b>Cobertura vegetal</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje</b>
Arbustales y matorrales	183.199,1	28,28%
Cuerpos de agua	542,3	0,08%
Cultivos anuales irrigados	2265,1	0,35%
Cursos de agua	4.603,9	0,71%
Infraestructura vial	4.095,6	0,63%
Maíz	9.274,7	1,43%
Maní	766,3	0,12%
Monte	56.514,8	8,72%
Pastizal natural	116.809,1	18,03%
Pastizal natural con rocas o suelo desnudo	142.811,8	22,04%
Pasturas implantadas	14.186,4	2,19%
Pasturas naturales manejadas	57.729,9	8,91%
Plantaciones forestales maderables	7.733,2	1,19%
Plantaciones perennes (frutales) irrigadas	68,9	0,01%
Rocas	137,5	0,02%
Soja	16.564,7	2,56%
Sorgo	93,4	0,01%
Suelo desnudo	52,8	0,01%
Trigo-Maíz de segunda	586,0	0,09%
Trigo-Soja de segunda	1.616,6	0,25%
Trigo	92,2	0,01%
Zona urbana consolidada	3.915,5	0,60%
Zona urbana en proceso de consolidación	7.059,8	1,09%
Zona urbana sin consolidar	8.835,8	1,36%
Zonas anegables	8.361,9	1,29%
<b>Total</b>	<b>647.917,1</b>	<b>100%</b>



**Figura 16:** representación gráfica de la superficie de cada cobertura afectada por incendios en el período 2010-2022.



**Figura 17:** representación gráfica el porcentaje del total de incendios de cada cobertura afectada por incendios en el período 2010-2022.



**Figura 18:** focos de calor detectados en el Arco Noroeste Ampliado durante el periodo 2010-2022 por categoría de Ordenamiento Territorial de Bosque Nativo. Fuente: Secretaria de Ambiente de la Provincia de Córdoba

## Conclusión

En algunos ecosistemas la posibilidad de ocurrencia de fuegos espontáneos es prácticamente nula debido a las condiciones climáticas y ambientales imperantes. En estos casos, la única posibilidad de que un incendio forestal acontezca debe atribuirse con alta certeza a una acción humana. No es el caso del arco noroeste de la provincia de Córdoba.

Debido a que estamos frente a un fenómeno de ocurrencia global resulta útil preguntarse cómo se gestionan los incendios de campo en otros países.

A nivel mundial, la investigación sobre el fuego es muy activa dado el impacto social, económico y ambiental que genera. Al respecto, puede mencionarse el informe sobre incendios forestales elaborado por el *Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España* (CSIC 2023) en el que se abordan conceptos interesantes que consideramos que merecen ser incorporados a la discusión pública local. El fuego es un agente natural y necesario en muchos ecosistemas ya que contribuye al rejuvenecimiento de la vegetación, al ciclado de nutrientes e incluso, en escalas temporales más amplias, a la evolución de las especies. Esta contribución a los ecosistemas y, por tanto, a los seres humanos necesita ser reconocida no solo desde el ámbito de la investigación, sino también desde la gestión política que en la actualidad basa su accionar en el paradigma que indica la necesidad de extinguir cualquier incendio sin reconocer su importancia bajo ciertas circunstancias. Habiendo establecido que los incendios forman parte de la dinámica de muchos ecosistemas, es importante considerar el régimen de incendios (rango de frecuencia, tamaño, intensidad y estacionalidad). Si suceden fuera de ese régimen, ya sea por exceso o por defecto, sus impactos negativos se incrementan, pudiendo incluso resultar nocivos e insostenibles. De esta forma, el problema es un cambio brusco en el régimen y no los incendios en sí mismos. Durante miles de años los seres humanos gestionaron el paisaje mediante la utilización del fuego, por ejemplo, para transformar zonas boscosas y de matorrales en zonas agrícolas, para mantener pastos aptos para el ganado, y para eliminar residuos agrícolas y fertilizar el suelo. Junto con estas prácticas tradicionales, en las últimas décadas ha surgido **el concepto de *quemada prescrita***, que consiste en el uso del fuego de manera controlada pero también planificada, de manera que se ejecute dentro de una ventana de prescripción, esto es, bajo unas condiciones meteorológicas específicas que permitan predecir el comportamiento del fuego y sus efectos en el ecosistema en un área delimitada. Su objetivo más extendido es la disminución de la probabilidad o intensidad de incendios futuros mediante reducción de combustible, pero también se usa para regeneración de pastos o, incluso, para restaurar hábitats naturales para fauna o flora que necesitan espacios abiertos. **Además de las quemadas controladas existen otras herramientas que pueden ayudar a dar sostenibilidad a los incendios en determinados paisajes, entre las que se incluyen el pastoreo prescrito, los desbroces, dejar quemar incendios pequeños y poco intensos, favorecer a los herbívoros silvestres o estimular la actividad rural**. Si no se gestiona el paisaje de manera adecuada puede ocurrir una mayor acumulación y continuidad de combustible, y, por lo tanto, un

incremento del peligro de incendios, a lo que también contribuye la aplicación indiscriminada de políticas de extinción de incendios. A pesar de que hoy se reconoce ampliamente la necesidad de coexistir de forma sostenible con los incendios, su supresión a cualquier precio genera una acumulación de combustibles que aumenta el riesgo de incendios más graves en el futuro, algo que se conoce como la paradoja de la extinción.

Tomando estos conceptos en consideración, resulta oportuno destacar que la Ley Provincial 8751, conocida como “de manejo del fuego”, solo establece acciones, normas y procedimientos para prevenir incendios, para luchar contra ellos y para trabajar sobre sus consecuencias, es decir, evitar que se produzcan, tratar de extinguirlos una vez declarados y remediar su efecto. Los países más avanzados en esta materia incluyen dentro del manejo no sólo la evaluación de riesgos sino también la aplicación de acciones tendientes a reducir la posibilidad de propagación, entre las que se encuentra la aplicación de *quemadas prescritas*. La experiencia muestra que los incendios más severos superan ampliamente las capacidades humanas y materiales para hacerles frente y sólo se extinguen cuando se agota el combustible o se producen fenómenos meteorológicos favorables como cambios en la dirección de los vientos o precipitaciones.

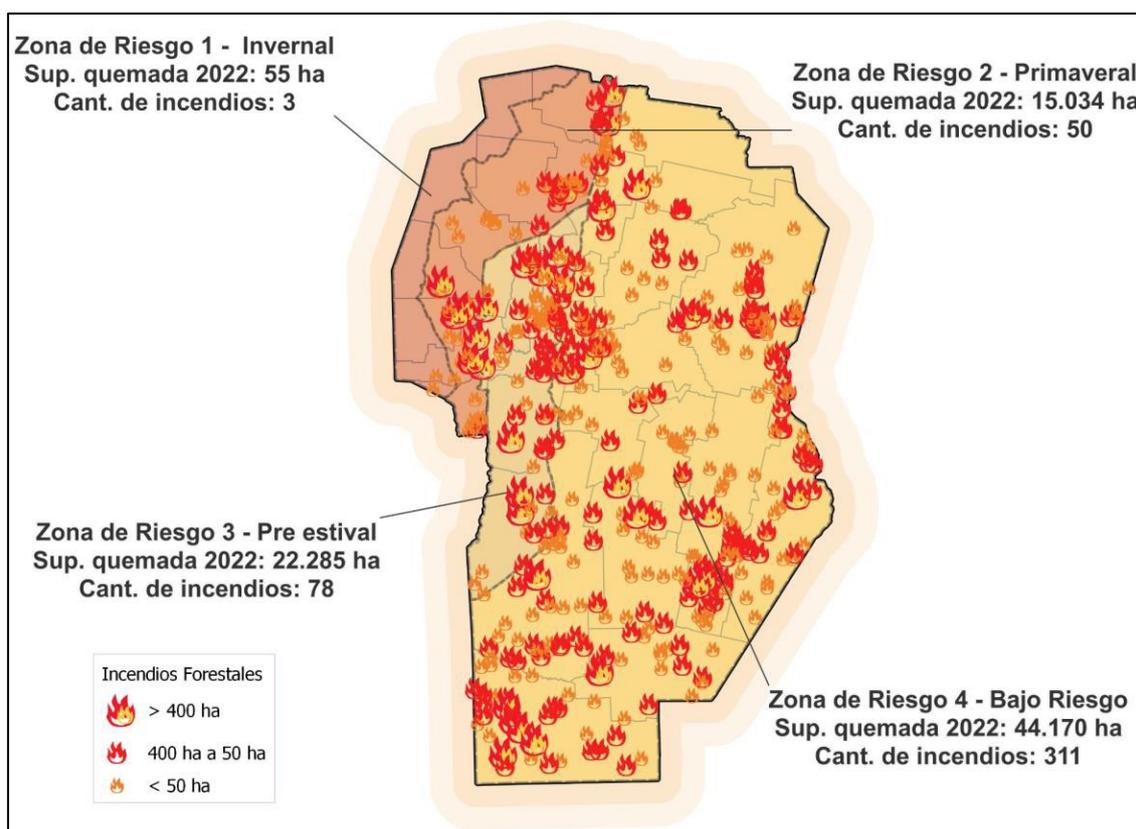
Si bien, en muchos ecosistemas como el chaqueño, el fuego puede considerarse una perturbación natural, es importante destacar que se trata de una adaptación a un régimen de incendios en la que algunas especies de árboles pueden tolerar algunos tipos de fuegos, pero no de cualquier tipo. Cuando este régimen sostenible de incendios se ve alterado, pueden generarse efectos negativos. La mayor frecuencia de incendios debido a cambios en el uso del suelo y a variaciones climáticas producto del cambio global puede determinar impactos negativos duraderos o incluso permanentes, especialmente si se combinan con otras presiones ambientales, como sequías prolongadas o introducción de especies invasoras. En este contexto de cambios globales es necesario comenzar a trabajar sobre nuevos paradigmas. La experiencia en el mundo, y la provincia de Córdoba no escapa a esa realidad, muestra que la supresión total del fuego es imposible e insostenible. El desafío pasa entonces por aprender a convivir con este fenómeno de una manera sostenible. En ese sentido, es importante trabajar para generar comunidades socio ecológicas resilientes capaces de adaptarse a los regímenes de incendios y de reducir o mitigar sus impactos negativos. En el ámbito científico-técnico, hay consenso en que la solución más viable es aprender a convivir con esta perturbación ecológica esencial e ineludible y pasar a ver al uso del fuego como una herramienta cultural muy valiosa en los ámbitos agrícola, ganadero y forestal (CSIC 2023).

La completa eliminación, si fuera posible, de los incendios en paisajes como el chaqueño, donde históricamente han sido frecuentes podría ser positivo para las comunidades humanas que viven en ese entorno, pero podría afectar negativamente a la biodiversidad. Es imperativo que la gestión comience a ser integral y, dado que hemos de convivir con los incendios, es también indispensable que se genere un régimen de incendios sostenible (ecológica y socialmente), dependiendo de los contextos ambientales y socioeconómicos.

El último informe de áreas quemadas en la provincia corresponde a 2022 y fue publicado en febrero del corriente año por la Secretaría de Gestión de Riesgos Climáticos, Catástrofes y Protección Civil (<https://www.idecor.gob.ar/wp-content/uploads/2023/03/Informe-Mapeo-areas-afectadas-por-incendios-2022.pdf>).

Nuevamente, y como ya se ha manifestado, el objetivo de este trabajo es la prevención y el diseño de políticas públicas con foco en la remediación y asistencia a propietarios y productores afectados. Nunca se hace referencia al manejo.

El informe muestra una zonificación del riesgo de incendio forestal, donde las zonas 1 a 3 conforman la región de mayor amenaza de incendios forestales y de interfase, siendo la zona 4 la que menor riesgo representa (figura 19). La zona de Riesgo 1, registró sólo 3 incendios con una superficie afectada de 55 ha. Le sigue la zona 2 con 50 incendios y 15.034 ha quemadas. Es decir que las zonas 1 y 2 que ocupan la mayor proporción de nuestra área de estudio representan apenas el 18.5 % de la superficie provincial afectada. Curiosamente, el 54.16 % corresponde a la zona 4 considerada como de riesgo bajo.



**Figura 19:** superficie afectada por incendios forestales y cantidad de eventos registrados en 2022 en función a las Zonas de Riesgo de Incendios Forestales. Fuente: SGRCCyPC e IDECOR, 2023

Los cultivos agrícolas fueron los más afectados (46%), seguidos por los arbustales (26%), los pastizales nativos (12%), las pasturas implantadas (11%) y los bosques (5%). La zona serrana, donde aún se preserva la mayor proporción de vegetación nativa, fue en general la más afectada por los incendios. La mayor cantidad de incendios forestales y

rurales sucedieron entre abril y octubre, aunque también se registraron muchos incendios en las épocas lluviosas, entre noviembre y diciembre.

El citado informe excluye de la evaluación de superficie quemada a un sector del noreste provincial que corresponde a los bañados del río Dulce, al norte de la laguna Mar de Ansenusa. Esta área es parte de la Reserva de Uso Múltiple Bañados del Río Dulce y Laguna Mar Chiquita (Decreto 3215/94). La exclusión de este sector se justifica por su baja densidad poblacional (vulnerabilidad) y escasas obras de infraestructura. Se explica que allí la actividad económica preponderante es la ganadería bovina extensiva, para la cual se aplican prácticas de manejo de pasturas naturales por medio de la quema que favorece el rebrote de la vegetación, para la limpieza de potreros o también para la quema de desechos luego de una *tala y roza* de las tierras. Esta situación explicaría la gran cantidad de incendios rurales y las extensas superficies afectadas. Esta decisión merece algunas consideraciones: *a)* la primera, y más importante, es que la importancia que se asigna a un incendio está dada por la vulnerabilidad de las personas (en baja densidad en la zona) o por la infraestructura que podría afectarse por los incendios (también escasa). Nunca se menciona la afectación de la biodiversidad, al aporte de los productos de la quema a la atmósfera y a las afecciones de la salud de la gente que habita la región; y *b)* la Ley 8751, Artículo 3°, inc. d, autoriza la utilización del fuego en quemas controladas y prescriptas **a modo de excepción**. Aclara que dicha autorización, **en ningún caso podrá recaer en áreas naturales**, reservas y bosques naturales o implantados, tal el caso que nos ocupa. Cabe preguntarse porqué se aplican medidas tan severas y restrictivas en el resto de la provincia y no se aplica el principio de igualdad ante la ley para todos los cordobeses, a pesar de que la situación descripta es perfectamente conocida por funcionarios y técnicos de varias áreas de gobierno.

La proliferación de incendios que el informe menciona se verificó también en nuestro análisis. Igual situación se repite en otras zonas bajas e inundables del este provincial.

El mapa de puntos de calor generado muestra claramente que además de los incendios de los bajos inundables existe una concentración de incendios, de dimensiones variables que sigue la dirección de la zona serrana, más densamente poblada y que recibe una gran afluencia de visitantes producto de la oferta turística de nuestra provincia. Otro patrón distinguible, sobre todo en el sur provincial, es el alineamiento de puntos de calor en relación con rutas y caminos. Este agrupamiento puede deberse, por un lado, al mayor tránsito de personas que pueden encender fuegos ocasionales, y por otro, a la presencia de basurales clandestinos que se encienden de manera espontánea o intencional. Nuevamente, es el gobierno provincial, responsable del manejo del fuego, quien debería ordenar el manejo de los residuos sólidos urbanos minimizando, de esta manera, el riesgo que representan como potencial fuentes generadoras de incendios rurales.

Consideramos que, en base a todo lo expresado, la SRJM podría contribuir a la revisión de los paradigmas instalados en Córdoba acerca del manejo del fuego,

propiciando espacios de debate a los que puedan sumarse especialistas de otros países que tienen tradición en manejo efectivo del fuego. Tal vez la realidad local marque que debe continuarse con el rumbo establecido, pero sería saludable considerar lo que se hace en otras latitudes dado que el problema se repite año tras año. Igualmente deberían establecerse convenios de cooperación entre instituciones académicas y de extensión (UNC, UCC, INTA, etc.) para realizar investigación en distintas estrategias para el manejo del fuego.

El análisis comparativo de las diferentes fuentes de datos, tanto las oficiales como son la Secretaría de Ambiente de la Nación, agroindustria-forestal, Idecor, Secretaría de Ambiente de la provincia de Córdoba, como así también los producidos en el marco de este trabajo, ya sea el basado en el cálculo de las áreas por métodos BURN área, GNDVI, RdNBR, Dnbr, RBR, RI y BAI, que calculan las áreas quemadas mediante la comparación de imágenes previas y posteriores al evento, o los que calculan lo mismo, pero utilizando las nubes de puntos de calor, arrojan resultados interesantes en cuanto a la cantidad de hectáreas quemadas. Debido a los métodos que utilizan las diferentes variantes de comparación de imágenes de satélite previo y post incendio tienen como principal limitante la baja resolución temporal de los principales satélites de uso público como son los de la serie Landsat y Sentinel, que durante periodos de tiempo como el de 2010 y 2011, cuando por problemas de rotura de satélites como de alta nubosidad, no generaron datos en cantidad y calidad para determinar las correspondientes áreas afectadas por fuego. En este sentido es cuando cobra más valor la utilización de metodologías que toman en cuenta los puntos de calor para el cálculo de las áreas afectadas ya que estas presentan una resolución temporal de dos veces por día con una resolución espacial de 375 metros de pixel. Cabe destacar que para el presente trabajo se tuvieron en cuenta los parámetros estadísticos que minimizan los errores por comisión, es decir que es posible que las áreas calculadas sean inferiores a las reales.

## Referencias bibliográficas

- ANDELA N., MORTON D.C., GIGLIO L., PAUGAM R., CHEN Y., HANTSON S., VAN DER WERF G.R. & J. T. RANDERSON (2019).** The Global Fire Atlas of individual fire size, duration, speed and direction. *Earth Syst. Sci. Data*, 11, 529–552, 2019. <https://doi.org/10.5194/essd-11-529-2019> © Author(s) 2019.
- ARIZA PASTRANA A. (2017).** Análisis de los cambios en la estructura del paisaje por incendios forestales mediante teledetección. Universidad de Alcalá. Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente. Programa de Doctorado en Cartografía, GIS y Teledetección.
- BUCHER E.H. (1982).** Chaco and Caatinga - South American Arid Savannas, Woodlands and Thickets. B. J. Huntley et al. (eds.), *Ecology of Tropical Savannas* © Springer-Verlag Berlin. Heidelberg.
- CABRERA A.L. (1971).** Fitogeografía de la República Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. Volumen XIV. Noviembre 1971 N° 1-2.
- CHUVIECO E., CIFUENTES Y., HANTSON S., AGUSTÍN LÓPEZ A., RAMOR. & J. TORRES (2012).** Comparación entre focos de calor MODIS y perímetros de área quemada en incendios mediterráneos. Asociación Española de Teledetección. *Revista de Teledetección* 37, 9-22 ISSN: 1988-8740.
- COSKUNER K.A. (2022).** Assessing the performance of MODIS and VIIRS active fire products in the monitoring of wildfires: a case study in Turkey. *iForest* 15: 85-94. DOI:10.3832/ifor3754-015 [online 2022-03-19]
- CSIC (2023).** Incendios forestales. Ciencia para las políticas públicas. Informe de transferencia de conocimiento. Centro Superior de Investigaciones Científicas. Ministerio de Ciencia e Innovación. Gobierno de España. Editorial CSIC. Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).
- DECRETO PROVINCIAL N° 3215 (1994).** Reserva de Uso Múltiple Bañados del Río Dulce y Laguna Mar Chiquita.
- DONG B., LI H., XU J., HAN C. Y S. ZHAO (2023).** Análisis espaciotemporal de incendios forestales en China de 2012 a 2021 basado en incendios activos de Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS). *Incendios activos. Sostenibilidad* 2023, 15, 9532. <https://doi.org/10.3390/su15129532>.
- FITZGIBBON A., BAKSHI A. & A. NIETO (2022).** Spatial Statistics: Making Predictions. ESRI User Conference. [esriurl.com/spatialstats](https://esriurl.com/spatialstats).
- GUASONE M.V. & RONCORONI L. (2022).** Estudio mediante técnicas de teledetección de los incendios forestales ocurridos en las islas del Delta del Paraná durante el año 2020. Pontificia Universidad Católica Argentina. Facultad de Química e Ingeniería del Rosario. Proyecto Final de Carrera.

**LEY PROVINCIAL N° 8751 (1999).** Manejo del fuego. Decreto de promulgación N° 686/99.

**NIETO A., BAKSHI A. & L. BUIE (2022).** Spatial Statistics: Analyzing Space Time Data. ESRI User Conference. [esriurl.com/spatialstats](http://esriurl.com/spatialstats).

**OLIVA P. & W. SCHROEDER (2015).** Assessment of VIIRS 375 m active fire detection product for direct burned area mapping. Remote Sensing of Environment. DOI: 10.1016/j.rse.2015.01.010.

**SIABATO W. & J. GUZMÁN-MANRIQUE (2019).** La autocorrelación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía 28 (1): 1-22. DOI: 10.15446/rcdg.v28n1.76919.