

Cartografía oficial de áreas afectadas por incendios forestales en la Provincia de Córdoba

María Luz Fuentes¹; María del Mar Funes²; Facundo Mariño¹, Ezequiel Francisco Pozzi Tay¹, Leonardo Sandon¹; Constanza Villagra², Ariel Chaves³

¹ Infraestructura de Datos Espaciales de Córdoba (IDECOR). Ministerio de Finanzas, Gobierno de la Provincia de Córdoba.

² Equipo Técnico de Acción ante Catástrofes (ETAC). Ministerio de Seguridad, Gobierno de la Provincia de Córdoba

³ Secretaría de Gestión de Riesgos Climáticos, Catástrofes y Protección Civil, SGRCCyPC, Ministerio de Seguridad, Gobierno de la Provincia de Córdoba.

E-mail: {MariaLuz.Fuentes; MariadelMar.Funes; Facundo.Marino; Constanza.Villagra; Ezequiel.PozziTay; ArielGustavo.Chaves}@cba.gov.ar; leomadvr@gmail.com

Resumen:

La Secretaría de Gestión de Riesgo Climático, Catástrofes y Protección Civil (SGRCCyPC), en conjunto con la Infraestructura de Datos Espaciales de Córdoba (IDECOR), disponen de un plan de trabajo centrado en la elaboración de herramientas cartográficas y analítica de datos para la prevención y gestión de incendios forestales. Este trabajo expone las estrategias, herramientas y principales alcances del proyecto en curso de "Cartografía oficial de áreas afectadas por incendios forestales para la provincia de Córdoba". El enfoque del estudio se basa en la aplicación de una serie de herramientas para el mapeo de áreas quemadas del conjunto "*Burned Area Mapping Tools*" (BAMT). En los análisis se integran, además, datos espaciales provenientes de focos de calor, registros oficiales de los eventos de fuego sucedidos, entre otra información complementaria contenida en el portal de la IDE, MapasCordoba.

Palabras Clave: AREAS QUEMADAS, INCENDIOS FORESTALES, ALGORITMO BAMT, IDE

1. INTRODUCCIÓN

El incremento en la frecuencia e intensidad de los incendios forestales evidencia la necesidad de contar con una base cartográfica de las áreas afectadas por incendios forestales como dato básico y fundamental que permita el análisis espacial de los impactos ambientales y daños ocasionados. El presente trabajo es un ejemplo de integración y trabajo interinstitucional entre la Secretaría de Gestión de Riesgo Climático, Catástrofes y Protección Civil, a través de las direcciones de Gestión Integral de Manejo de Fuego (GIMF) y de Protección Civil, y la Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba (IDECOR), con el propósito de llevar adelante la elaboración de herramientas cartográficas y analítica de datos para la prevención y gestión de incendios forestales.

Los objetivos de este trabajo conjunto se alinean con lo establecido en la legislación provincial vigente sobre el manejo del fuego (Ley Provincial N° 8.751) donde una de las atribuciones refiere a la elaboración de mapas de zonificación de riesgo de incendios. En función de ello, en esta misma ley se dispone de “Desarrollar un programa de investigación y experimentación en prevención, lucha y consecuencias de incendios”

En este marco, la SGRCCyPC e IDECOR iniciaron en 2020 una serie de actividades coordinadas para llevar adelante diversos proyectos que contribuyen al desarrollo de herramientas, obtención de datos y generación de información valiosa para la gestión integral de los incendios forestales. Entre ellos se puede destacar el Plan Provincial de Mapas de Riesgo Local (disponible para el corredor de Sierras Chicas y actualmente en elaboración para otras áreas de la provincia), el desarrollo de la App de recolección de datos a campo *Riesgo Collect* específicamente diseñada para atender los requerimientos del plan antes mencionado, como así también, la elaboración del mapa de Áreas afectadas por incendios forestales (de actualización trimestral) que en esta exposición se presenta.

El proyecto de “Cartografía Oficial de Áreas Afectadas por Incendios Forestales a nivel provincial” se basa en tres principios que aseguran la disponibilidad de información oportuna y de calidad. Uno de ellos refiere a la actualización regular de los productos que se desarrollan, otra al acceso a datos abiertos y estructurados de diversas temáticas y, por último, a la utilización de datos oficiales vigentes, a partir de la participación de diversos actores y organismos en la IDE provincial.

Bajo estos lineamientos, se integra un equipo de trabajo multidisciplinario con perfiles en geografía, biología, agrimensura, geología y recursos humanos formados en gestión de riesgos y especializados en combate de incendios forestales (bomberos voluntarios, personal de Equipo Técnico Ante Catástrofes, etc.). En este contexto, la IDE brinda su apoyo en el desarrollo metodológico y ejecución técnica para la identificación de las áreas quemadas, con la premisa de

que se trate de una cartografía de alcance provincial y homogénea en su realización técnica y de libre acceso.

A partir de la generación sostenida de este producto cartográfico se espera que puedan realizarse múltiples estudios, desde abordajes y enfoques diversos, que propicien y faciliten a los gestores del territorio herramientas eficientes para la toma de decisiones, encaminadas tanto a la prevención como a la extinción de los incendios forestales. A su vez, representa una herramienta de valiosa utilidad para el diseño y aplicación de políticas de remediación y asistencia para propietarios y productores afectados.

2. ÁREA DE TRABAJO

Para la detección de las áreas afectadas por incendios forestales la zona de estudio abarca toda la Provincia de Córdoba, a excepción de una pequeña porción al nordeste, perteneciente a los bañados del Río Dulce al norte de la laguna Mar de Ansenúza (Figura 1). Este sector se excluye debido a que la actividad económica más influyente es la ganadería bovina extensiva y para llevar adelante esta actividad se realizan quemadas que favorecen el manejo de las pasturas naturales.

En el territorio provincial se distinguen tres Provincias Fitogeográficas (Figura 1): Chaco, Espinal y Pampa (Oyarzábal et al., 2018). El Chaco que abarca la provincia se divide en Chaco Serrano, Chaco Seco y Chaco Árido. Además, existen regiones no vegetadas como son las Salinas Grandes, cuerpos de agua y extensiones de coberturas rocosas, principalmente en la zona serrana. Así mismo más allá de localizarse dentro de estas clasificaciones, en las tierras bajas, en gran parte de la Pampa, el Espinal y el Chaco Seco no existe actualmente su vegetación original. La vegetación de estas regiones fue convertida en tierras de uso agropecuario. Es importante destacar los tipos de vegetación que presenta la provincia, ya que ésta representa el material combustible a ser quemado durante los incendios (materia orgánica vegetal que alimenta la combustión).

En cuanto a las condiciones climáticas de la provincia, las mismas varían a causa de su gran extensión latitudinal y a las diferentes características topográficas. En este contexto, los incendios mayormente se registran en la estación seca, que va desde comienzos del invierno hasta fines de la primavera (Kopta et al., 2004). Este periodo se caracteriza por la presencia abundante de material vegetal, fruto de la temporada de crecimiento estival, el cual se seca por la falta de agua y la presencia de heladas, que matan a las plantas herbáceas.

A los fines metodológicos y optimización de los procesos de análisis, es importante resaltar que el área de estudio se subdividió en dos sectores homogéneos (Figura 1), zona serrana y zona agrícola. Tanto las coberturas de suelo, como las actividades productivas que se desarrollan en estos subespacios plantean la

necesidad de considerar parámetros y ventanas temporales diferenciales a la hora de la detección de área quemada (ver apartado 4.2).

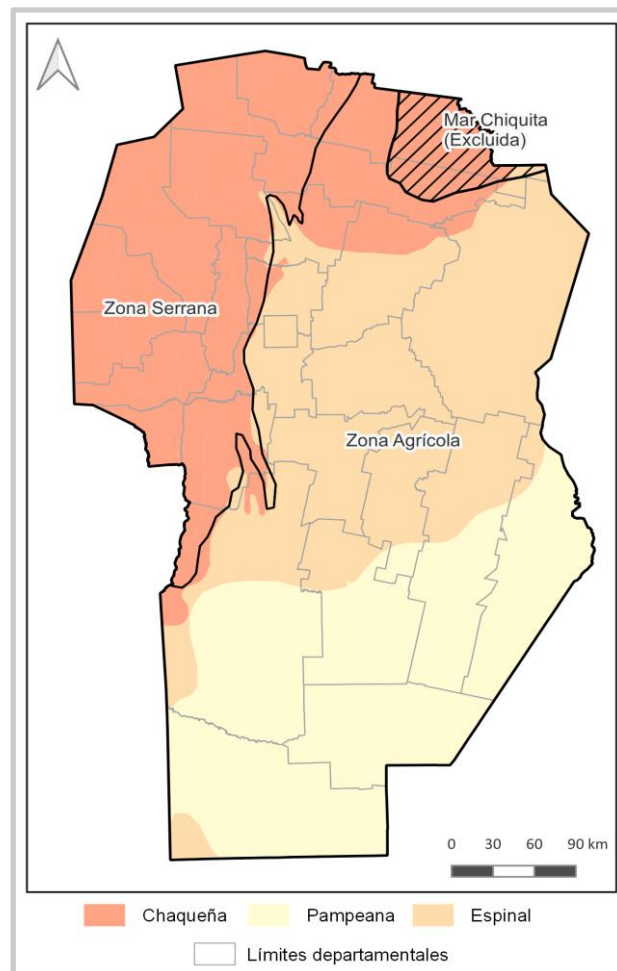


Figura 1: Delimitación de la provincia de Córdoba en el contexto de provincias fitogeográficas y sectorización del área de estudio.

3. ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA OFICIAL DE ÁREAS AFECTADAS POR INCENDIOS FORESTALES EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

3.1 Objetivo

Presentar la metodología integral y colaborativa aplicada para la creación de la cartografía de áreas afectadas por incendios forestales para la provincia de Córdoba, de carácter oficial y de acceso público.

Así mismo, con los productos resultantes de la aplicación de la metodología propuesta se pretende contribuir al diseño de políticas públicas y planes de prevención, sentando las bases para la articulación, consenso y transversalidad con otros organismos públicos e instituciones provinciales o nacionales, especializadas en la temática, sobre las líneas y prioridades estratégicas propuestas por el [Marco de Sendai](#)¹ para la reducción del riesgo de desastres.

3.2 Temporalidad de los productos cartográficos

La cartografía de áreas afectadas por incendios forestales prevé una frecuencia de actualización trimestral, lo cual facilita un mayor seguimiento temporal de los eventos, que permite, a su vez, evaluar patrones de ocurrencia, observar detalladamente la distribución espacial y analizar la severidad del fenómeno con cierta inmediatez.

Así mismo, la determinación de esta ventana temporal va de la mano con la necesidad de agilizar y optimizar los tiempos de ejecución de los algoritmos y procedimientos, de acuerdo con la capacidad de manejo y gestión de los volúmenes de datos que se integran en las distintas etapas del proceso (clasificación de imágenes satelitales, análisis de focos de calor, datos oficiales de registros de incendios, etc).

Cabe destacar que, en el caso del producto anual del año 2022, si bien para su realización se establecieron dos cortes temporales (por semestres), el mismo se trató de un mapeo único cuya cartografía final fue publicada en su totalidad en el mapa "[Áreas afectadas por Incendios 2022](#)", disponible en el portal de MapasCordoba desde principios del mes de marzo de 2023².

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Conjunto de datos y preprocesamiento

Los trabajos de detección de áreas quemadas se inician en la plataforma basada en la nube de *Google Earth Engine (GEE)*³ la cual, no sólo cuenta con una variada

¹ El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015-2030) ofrece una serie de acciones concretas para los Estados y que va de la mano con acuerdos de la Agenda 2030, en el que se reconoce que sobre él recae la función principal de reducir el riesgo de desastres, siendo una responsabilidad que debe compartirse con otros actores, tales como los gobiernos locales, el sector privado y otros grupos interesados. Para mayor detalle consultar [¿Qué es el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres?](#). (Consultado: 25/04/2023)

² Para conocer los detalles metodológicos, fuentes utilizadas y resultados obtenidos se encuentra disponible para su descarga el Informe Técnico '[Áreas Afectadas por Incendios Forestales 2022 en la Provincia de Córdoba](#)'.

³ Plataforma gratuita de uso académico, educativo y gubernamental para el análisis científico y la visualización de imágenes satelitales y datos geoespaciales.

disponibilidad de datos espaciales en formatos ráster y vectorial de libre acceso, sino que también proporciona catálogos de imágenes satelitales y la posibilidad de ejecución de algoritmos de procesamiento geoespacial que facilitan los análisis científicos (Gorelick, et al., 2017).

En el entorno de GEE es posible ejecutar el conjunto de herramientas “*Burned Area Mapping Tools*”⁴ (BAMT en adelante; Roteta et al., 2019, 2021, 2022), basadas en el algoritmo original Burned Area Mapping Software (BAMS) desarrollado por Ekhi Roteta y Aitor Bastarrika (Bastarrika et al., 2014) que utilizaba únicamente imágenes Landsat. La última actualización del código⁵ brinda robustez, ya que incorpora el uso de series temporales de imágenes Sentinel-2 dando mayor resolución espacial y temporal.

BAMT dispone de una serie de herramientas que permiten realizar un proceso completo de mapeo de áreas quemadas, que incluye desde la identificación y posterior obtención de la cartografía de área quemada hasta técnicas de validación y evaluación de los productos obtenidos.

A los fines de este estudio se utiliza una de las herramientas del conjunto BAMT, la cual permite crear un producto de área quemada (Burned Area - BA) en una región y período de tiempo específico, a partir de la detección de cambios entre dos imágenes satelitales de media resolución espacial (Landsat o Sentinel-2), basándose en una clasificación supervisada mediante el algoritmo Random Forest.

Otro de los insumos necesarios para la detección, corroboración y seguimiento de los eventos de incendios son los datos aportados por los focos de calor, los cuales se encuentran disponibles casi en tiempo real y a nivel mundial en el Sistema de Información sobre Incendios para la Gestión de Recursos (FIRMS⁶, por sus siglas en inglés), provenientes de los sensores MODIS y VIIRS.

Sumado a estos datos satelitales, se considera además una base de datos alfanumérica generada por la SGRCCyPC (información sistematizada del Plan Provincial de Manejo de Fuego), que consta del registro de los incendios ocurridos en el periodo a estudiar, acompañado de datos relevantes, tales como: fechas de inicio y extinción, cantidad de personal interviniente, cobertura afectada, zona de referencia, entre otros atributos. La integración de esta fuente de datos facilita, no sólo la aproximación espacial a las zonas afectadas, sino también las tareas de control y revisión de los resultados.

⁴ Conjunto de herramientas para el mapeo de áreas quemadas desarrolladas por Ekhi Roteta, Aitor Bastarrika (Universidad del País Vasco, UPV/EHU).

⁵ Última versión v1.7 lanzada en abril de 2022. Disponible en <https://github.com/ekhiroteta/BAMT#bamt> (consultado: 25/04/2023)

⁶ Los datos de FIRMS pueden ser descargados desde el sitio web <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> (consultado: 25/04/2023)

4.2 Procedimientos para la determinación de áreas quemadas

Una de las metodologías más avanzadas para el mapeo semi-automático de áreas quemadas se basa en la aplicación del algoritmo ya citado de BAMT, empleado por diversas instituciones y organizaciones ligadas a la temática, tanto gubernamentales, científicas como así también académicas.

Bajo esta línea, los procedimientos para la detección de las áreas afectadas por incendios forestales fueron diseñados en dos etapas. La primera de ellas se inicia con la aplicación de la herramienta de cartografía de área quemada del conjunto BAMT. Sobre la base del producto obtenido en esta etapa, se da comienzo a la segunda, donde se realizan una serie de procesos que integran datos provenientes de diferentes fuentes que permiten la definición de la cartografía de áreas afectadas por incendios forestales para la provincia de Córdoba en una extensión temporal trimestral.

En este orden, el proceso inicia con la aplicación de la herramienta de [BAMT](#), la cual consiste en una serie de pasos para cartografiar las áreas quemadas en la que primeramente debe establecerse una escala espacial (región de estudio) y temporal (período de estudio) para limitar los resultados. A posterior, se aplica un algoritmo de dos fases, en la primera se deben identificar muestras de áreas quemadas (donde se observan píxeles con una señal de quemado muy fuerte) y luego muestras de áreas no quemadas. Las muestras actuarán como datos de entrenamiento (característicos de la clase que se quiere identificar) que luego, en una segunda fase, se extenderán abarcando las áreas quemadas (y no quemadas, respectivamente) en el entorno estudiado (Bastarrika et al., 2011).

Una vez digitalizadas las muestras, el procedimiento de detección de área quemada se da por medio de una clasificación supervisada basada en el algoritmo Random Forest (RF)⁷, en el que se incluyen varias bandas e índices espectrales de la imagen con fecha posterior al fuego y de una imagen de diferencia multitemporal. Como producto el clasificador devuelve una nueva imagen donde los valores de los píxeles varían entre 0 y 100. Estos valores representan porcentajes de probabilidad de que ese píxel represente área quemada (0% no quemada, 100% quemada).

A posterior, se analizan los productos de probabilidad de píxel quemado, a partir de los cuales se determinan umbrales, que permiten discriminar las áreas quemadas de aquellas que no se identifican como tales. Considerando otras herramientas del conjunto BAMT, es posible exportar un archivo vectorial que contenga los polígonos de las áreas quemadas donde se incluye el atributo con la fecha de detección. En ocasiones, y a los fines de estudios de incendios particulares a detalle, los correspondientes productos de probabilidades son exportados en formato ráster para su procesamiento en el software QGIS (versión

⁷ RF: técnica de aprendizaje automático (machine learning) supervisado, basado en árboles de decisión. Clasificador que utiliza 100 árboles de decisión y nodos con un mínimo de 10 hojas.

3.22-Białowieża), donde se realiza una reclasificación de los valores de píxeles según umbrales determinados.

Debido a la heterogeneidad de ambientes presente en la extensión del territorio provincial, en las experiencias de mapeo llevadas a cabo hasta el momento los umbrales establecidos en la determinación de los sitios quemados se establecieron por encima del 50% de probabilidad, a excepción de eventos particulares para los cuales se definieron por encima del 80%, como lo fue, por ejemplo, en sitios del sector serrano (Figura 2).

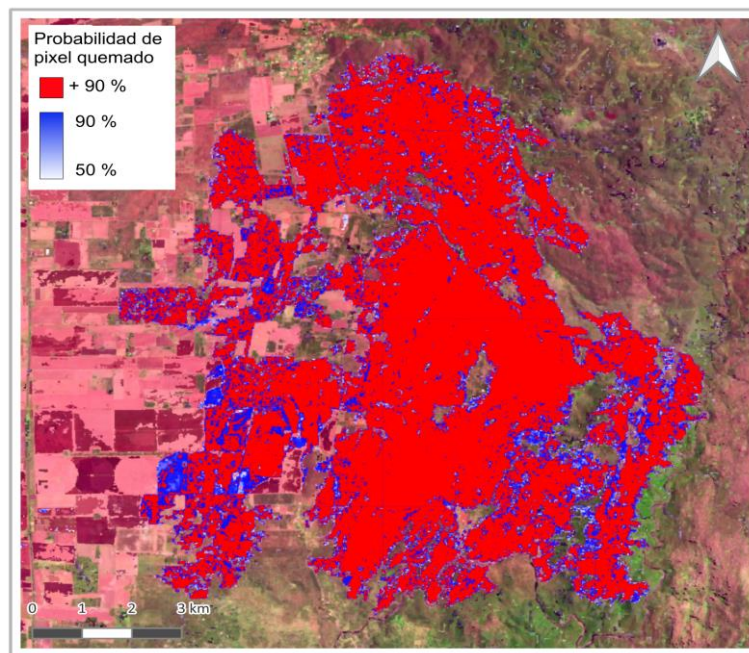


Figura 2: Imagen de probabilidad de incendio. Detección del incendio ocurrido en la localidad de Ambul (Dpto San Alberto) entre los días 25/11/2022 y 30/11/2022.

Una vez obtenida la capa ráster reclasificada se procede a la vectorización de los polígonos que definirán las áreas quemadas, los cuales conforman el producto base para los siguientes procesos de obtención de la cartografía final.

En esta segunda etapa, sobre la base de datos de polígonos de área quemada, se realizan tareas de revisión y control de calidad de los resultados, a fines de eliminar sitios detectados como incendios que en realidad no se corresponden con áreas quemadas y, a su vez, para agregar sitios quemados no detectados por el algoritmo. La revisión de errores se realiza por medio de fotointerpretación de los compuestos de imágenes (mosaicos multitemporales) y mediante el seguimiento del registro oficial eventos de incendios, como así también de la consideración de los datos satelitales de foco de calor de la base de FIRMS.

Otro proceso de revisión consiste en la corroboración de polígonos menores a 10 hectáreas, dado que la resolución espacial de las imágenes utilizadas podría ser una limitante para su correcta identificación. Para estos casos, se adopta el criterio de cartografiar aquellos incendios que cuentan con registro oficial y/o información proveniente de FIRMS. Finalmente se aplican técnicas cartográficas de simplificación, supresión de anillos sin datos menores a 0,25 ha (2500 m²), y de suavizado, para disminuir el efecto pixelado del producto original y maximizando así la calidad cartográfica del producto.

Finalizados estos procesos, se realiza el cálculo correspondiente del área afectada (extensión espacial en hectáreas) y se procede a la recuperación de la fecha probable de ocurrencia del evento (Figura 3).

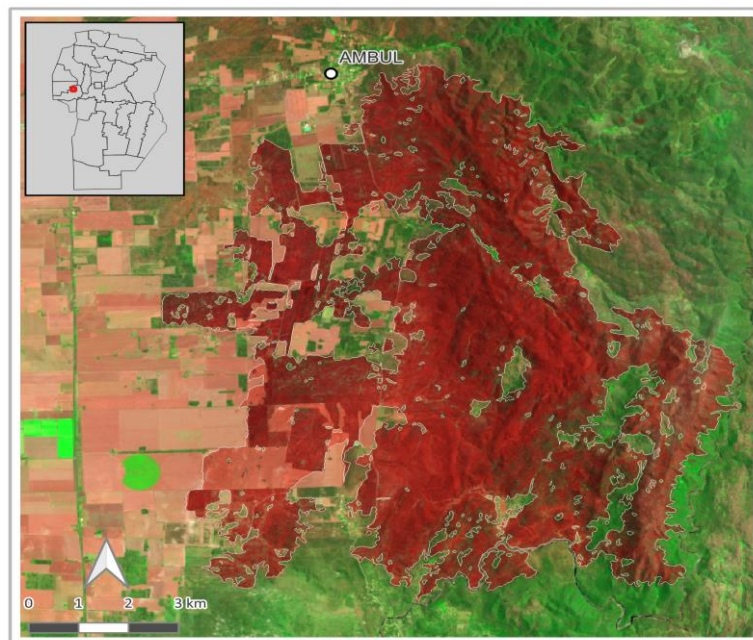


Figura 3: Cicatriz del incendio ocurrido en la localidad de Ambul (Depto. San Alberto), superficie quemada detectada 7.058 has. Imagen satelital de falsa composición color, utilizando bandas 'SWIR2', 'NIR' y 'Red' del sensor Sentinel 2 en fecha posterior al incendio. Fecha de imagen: 3/12/2022.

La asignación de la fecha implica considerar una serie de criterios para su determinación. Si bien los productos obtenidos del BAMT pueden exportarse incluyendo la fecha de la imagen en la cual el área quemada fue detectada, la misma no siempre coincide con la de la ocurrencia del incendio, ya que el satélite no tiene una frecuencia diaria y la respuesta espectral puede mantenerse por varios días. Para atribuir a cada polígono una fecha lo más fehaciente posible a la ocurrencia verdadera del incendio forestal (como fecha probable de inicio), se consideran otras fuentes de información.

Por un lado, se combinan los registros de eventos de fuego identificados en la base de datos propia de la SGRCCyPC. Por otro lado, se consideran los datos satelitales de foco de calor FIRMS (utilizados en etapas de revisión y control) y las propias imágenes utilizadas en la detección del área. Sobre esto, hay que señalar que estos últimos, al estar basados en datos satelitales, pueden presentar limitaciones en su disponibilidad debido a la presencia de nubes. Sin embargo, los datos FIRMS presentan cierta ventaja, dado que informan la localización de los incendios activos casi en tiempo real y, además, cuentan con una alta resolución temporal (actualización cada 3 horas), a diferencia de una imagen de satélite que tiene una resolución temporal de 5 días (cuando no hay nubosidad).

En este sentido, y a partir del cotejamiento de las tres fuentes, las fechas probables de inicio de cada incendio se determina según el siguiente orden de prioridad: 1) fecha indicada en los registros oficiales del Plan de Manejo del Fuego; 2) fecha de focos de calor de FIRMS; 3) fecha de la primera imagen satélite en la que se detecta la cicatriz del incendio.

Finalmente, la cartografía de área quemada queda constituida por el conjunto de polígonos que identifica la ocurrencia de los incendios forestales en un trimestre determinado. En cada uno de ellos se informan los atributos de extensión espacial, fecha probable de inicio (detección), ubicación respectiva a localidad más próxima, coberturas de suelo afectadas, datos topográficos, entre otras características territoriales complementarias

En la siguiente imagen (Figura 4) se describe el flujo de trabajo definido para el estudio de las áreas quemadas en la provincia de Córdoba. En el mismo, se puede observar las herramientas utilizadas y la integración de las distintas fuentes de datos antes descritas.

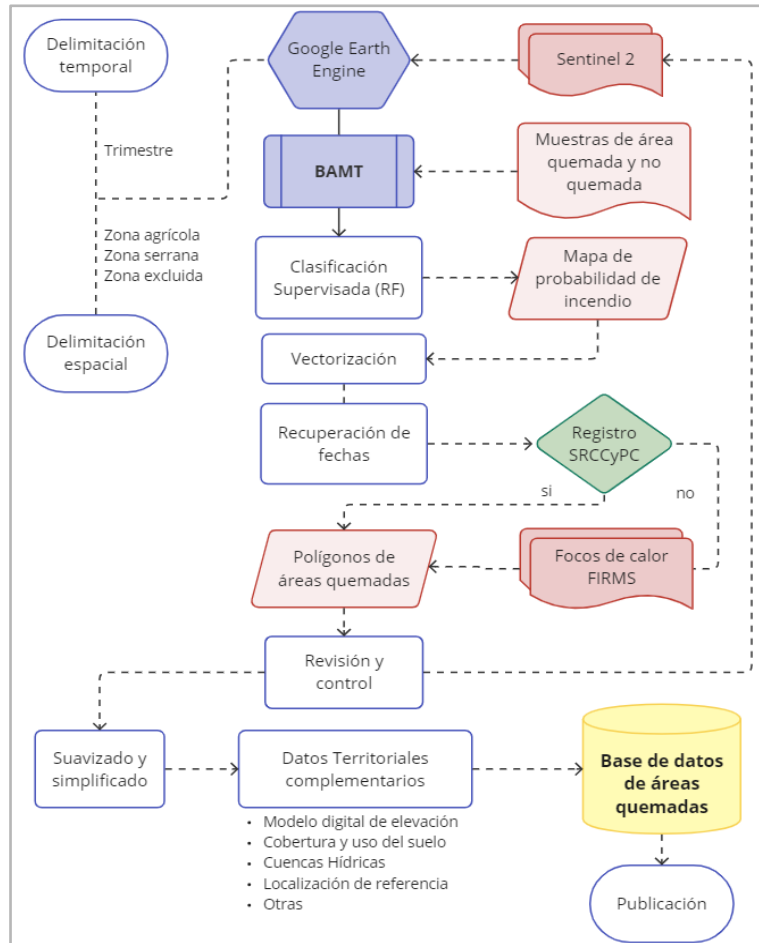


Figura 4: Diagrama de flujo para la determinación de áreas afectadas por incendios forestales en la provincia de Córdoba.

5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS OBTENIDA

A partir de la implementación de la metodología descrita, se obtiene una base de datos cartográfica, que es posible de ser analizada a la luz de ciertos indicios que pueden tomarse para la interpretación de las condiciones en que se sucedieron los eventos y el alcance de sus efectos.

En este sentido, es importante considerar que los incendios forestales, por desarrollarse en ambientes abiertos, experimentan constantes cambios evolutivos generados por la interacción de tres factores; por un lado, la situación meteorológica reinante durante el incendio (tiempo atmosférico); por otro lado, la disponibilidad de la materia orgánica vegetal que alimenta la combustión

(combustible) y las características del terreno donde está el combustible que se quema (topografía), (Ivandić, 2007).

En estos términos, los resultados de las áreas quemadas deben ser analizados e interpretados sobre la base complementaria de otros datos territoriales que permiten describir el comportamiento temporal y espacial de los mismos.

Respecto al primer factor antes mencionado, sobre las condiciones atmosféricas, se puede decir que, si bien las mismas son particulares al momento de desarrollo de cada evento, es importante también considerar las condiciones climáticas (en cuanto a precipitaciones acumuladas, temperaturas, ocurrencia de heladas, etc) dominantes en cada uno de los períodos trimestrales definidos en estos estudios. Esta caracterización permite, no sólo contextualizar los incendios en diferentes épocas del año, sino que también ayuda a entender la dinámica del crecimiento de la vegetación, identificando períodos de mayor o menor abundancia de humedad (secos).

En definitiva, esto explica la cantidad de material combustible disponible en los diferentes ambientes (Mari et al., 2021) y que, por tanto, pueden significar un aumento en las condiciones de riesgo de incendios en un determinado sector. Particularmente, en la provincia de Córdoba la época donde se registran la mayor cantidad de incendios forestales sucede entre los meses de mayo y hasta octubre⁸, coincidentes con los períodos más secos.

En cuanto a los otros dos aspectos mencionados, vinculados a la cubierta vegetal y topografía, es importante poder determinar cuáles son los tipos de cobertura de suelo y usos de la tierra afectados por el fuego, y en qué condiciones de altitud se desarrollan los eventos.

El análisis de estas condiciones pretende orientar sobre el impacto del fuego sobre los recursos forestales y forrajeros, como así también sobre la infraestructura presente en los sitios afectados (Mari et al., 2021). En esta línea, también es relevante considerar los condicionamientos del relieve que confiere mayor, o menor, vulnerabilidad de los ambientes en caso de ocurrencia de una amenaza de fuego. En el caso de la provincia de Córdoba, en los sectores de mayores elevaciones (sierras) es donde no sólo se registran la mayor cantidad de incendios, sino que también, allí donde desarrollan los eventos de fuego de grandes extensiones como consecuencia de la conjunción de ambos factores, topografía y presencia de vegetación abundante. Tal es así que los resultados de la cartografía del año 2022 evidenciaron que la zona serrana (con presencia de vegetación nativa), fue en general el sector provincial más afectado por los

⁸ Cabe destacar que, en el año 2022, se registró un gran número de incendios en las épocas lluviosas, entre noviembre y diciembre, que pueden explicarse como consecuencia del fenómeno de La Niña (Oscilación del Sur), que tiene como efectos la disminución de las precipitaciones, un aumento en las irregularidades de las temperaturas y consecuentemente alteraciones en los niveles de humedad, en la región donde se encuentra Córdoba.

incendios, en los que se quemaron coberturas de pastizales o bosques y matorrales, principalmente.

5.1 Integración de resultados con datos disponibles en la IDE

La IDE trabaja con diversos organismos para la apertura y accesibilidad de múltiples datos temáticos que resultan esenciales en la gestión del riesgo. En el geoportal *MapasCordoba* se encuentran disponibles una serie de datos espaciales que permiten integrar los resultados del mapeo de áreas quemadas con datos oficiales vinculados al catastro provincial, estructura y ocupación urbana, urbanizaciones en trámite, infraestructura, geología, suelos, equipamiento urbano, entre otros.

Entre los datos disponibles en la IDE que resultan de gran relevancia en los análisis de gestión de riesgo de incendios forestales se destaca el mapa de [Cobertura y Uso del Suelo 2020-2021](#)⁹, a partir del cual es posible calcular con alta precisión las distintas coberturas vegetales y usos de suelos afectados por cada incendio (Figura 5).

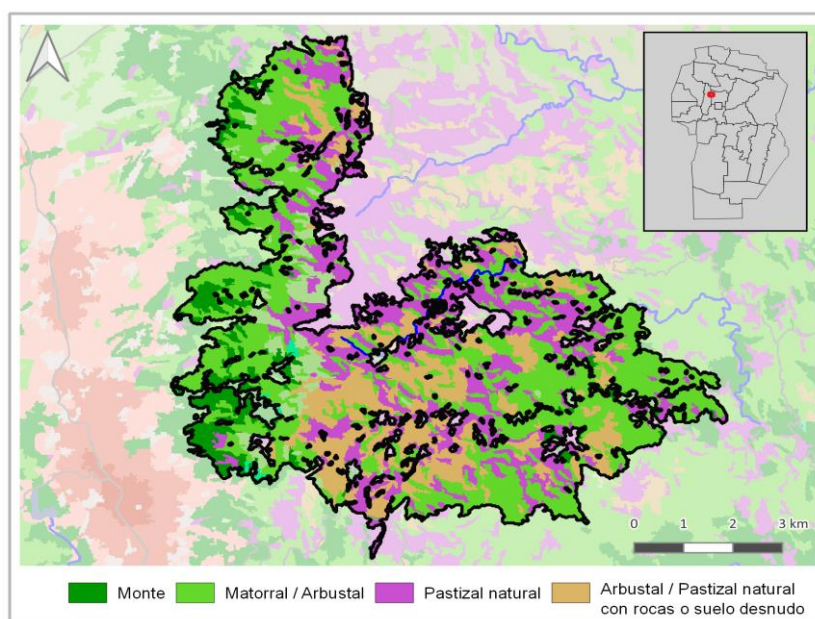


Figura 5: Ejemplo de integración de los resultados de área quemada con el mapa de Cobertura y Usos de Suelo. Identificación de las principales coberturas afectadas en el incendio ocurrido en la localidad de Huerta Grande (Depto. Punilla). Superficie quemada detectada 5.229 has. Fecha de ocurrencia del incendio: 07/09/2022 al 12/09/2022.

⁹ Este mapa es un producto desarrollado por IDECOR, que muestra en 22 categorías los principales usos del suelo con una resolución de 10 mts/px y 1 ha de Unidad Mínima Mapeable (UMM).

Para comprender el alcance y distribución espacial de los incendios otro importante conjunto de datos que puede ser incluido es el que ofrece el mapa de [Catastro Online](#)¹⁰, el cual integra información esencial sobre la demarcación de límites departamentales, radios urbanos, parcelario catastral, entre otros datos. También resulta importante considerar las delimitaciones de [Cuencas y Unidades de Gestión Hídrica](#)¹¹, [Áreas Naturales Protegidas y Regiones Naturales](#), etc.

Por otro lado, para comprender el comportamiento de los eventos de incendios, los resultados pueden ser analizados conjuntamente con los datos del mapa de [Relieve Provincial](#), que incluye diferentes Modelos Digitales de Elevaciones y productos derivados de los mismos como ser aquellos de pendiente, sombra y orientación.

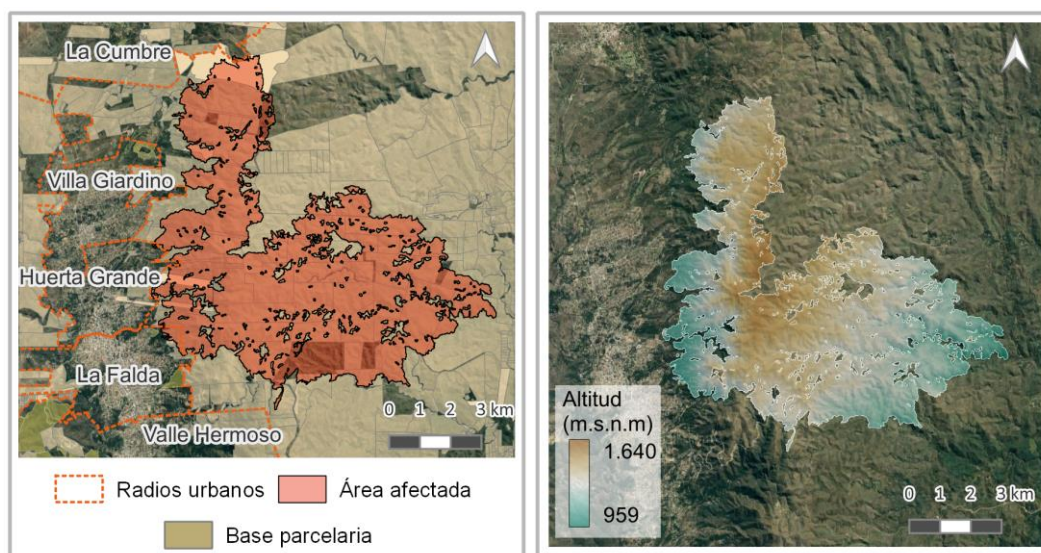


Figura 6: Ejemplo de integración de los resultados de área quemada con datos de demarcación de radios urbanos y parcelario catastral. Incendio ocurrido en la localidad de Huerta Grande (Depto. Punilla). Superficie quemada detectada 5.229 has. Fecha de ocurrencia del incendio: 07/09/2022 al 12/09/2022.

Por último, cabe destacar la integración con productos propios de la SGRCCyPC, en los cuales la IDE colabora en su mantenimiento ya actualización. Los mismos que son:

- [Mapa de Riesgo Local para Incendios Forestales](#), actualización del Corredor de Sierras Chicas y Jesús María, en que se pueden visualizar y consultar 3 (tres) niveles de Riesgo, resultado de los diversos factores que integran la Amenaza y la Vulnerabilidad

¹⁰ Productor del contenido clave: Dirección General de Catastro de Córdoba.

¹¹ Productor del contenido clave: Administración Provincial de Recurso Hídricos (APRHI).

-[Mapa de Cuarteles de Bomberos Voluntarios](#), el cual contiene las ubicaciones de todos cuarteles de la provincia de Córdoba son sus correspondientes jurisdicciones, y la Zonificación de Riesgo ante Incendios Forestales, que de acuerdo con la Ley N° 8.751 se establecen para el manejo de fuego en áreas rurales y forestales.

A partir de lo expresado en este apartado, se puede afirmar que la IDE no sólo garantiza la disponibilidad de datos estructurados, sino que también propicia un entorno de trabajo sostenido en el que diversos actores integran sus datos, propiciando la realización de múltiples estudios, desde abordajes y enfoques diversos, que faciliten a los gestores del territorio herramientas eficientes para la toma de decisiones, encaminadas tanto a la prevención como a la extinción de los incendios forestales.

6. DISPONIBILIDAD DE LOS DATOS

Los resultados de la cartografía de área quemadas se encuentran disponibles en el geoportal de la IDE Provincial MapasCordoba en los mapas [Áreas Afectadas por Incendios 2022](#) y [Áreas Afectadas por Incendios 2023](#) (de actualización trimestral). Además de la visualización de los mapas online, también es posible acceder a los datos vía geoservicios OGC (formatos WFS y WMS), desde software SIG de escritorio u otra aplicación de tipo geográfica, o bien, descargarse en diversos formatos.

El acceso a estos recursos permite observar cada uno de los incendios ocurridos, con la siguiente información particular: extensión en hectáreas, fecha de detección, localidad próxima, sitio de referencia (si lo hubiere) departamento, zona de riesgo de incendio forestal y cuenca hidrográfica donde se localizó el evento. Además, cada actualización de los mapas se emite acompañado de un reporte trimestral que muestra las principales estadísticas de los incendios ocurridos en el período (cantidad, superficie y fecha), distribución espacial, principales coberturas afectadas y una tabla comparativa con los datos del mismo periodo del año anterior. Se incluye, además, una descripción general de las condiciones climáticas del trimestre, a considerar en la lectura e interpretación de los datos.

7. CONCLUSIONES

Llevar adelante el proyecto de cartografía de áreas quemadas, surgió de la necesidad de poder contar con una fuente de datos única y oficial sobre la localización y extensión de las áreas afectadas por incendios forestales en la provincia de Córdoba. A partir de la ejecución del plan de trabajo aquí expuesto, los resultados obtenidos hasta el momento evidencian que dicho estudio integral puede proporcionarse de forma rápida, precisa y de manera sostenida en plazos razonablemente inmediatos luego de ocurridos los eventos.

Los métodos y herramientas considerados han demostrado una capacidad de resolución eficaz y eficiente en la obtención de la cartografía del área quemada. La mayor ventaja de la aplicación de la metodología propuesta radica en la combinación del uso de sensores remotos, el procesamiento en la nube y el uso de algoritmos específicos que permiten la automatización de procesos para la detección de áreas quemadas. En este sentido, la utilización de la herramienta BAMT resultó muy conveniente, sin perjuicio de resaltar que su utilización requiere de ciertas capacidades técnicas y esfuerzo de post proceso. Además, es importante remarcar que los resultados se integran con fuentes de datos oficiales de los organismos provinciales que facilitan y enriquecen las tareas de revisión y verificación de los productos obtenidos. Es deseable que las herramientas, los métodos descritos y la escala de los resultados puedan ser replicados e implementados de forma estándar y automatizada, en otros niveles regionales.

Por otro lado, la continuidad de las vinculaciones entre la SGRCCyPC y la IDE provincial consolida el equipo interdisciplinario y promueve la articulación, consenso y transversalidad entre diferentes organismos públicos, profesiones y niveles del Estado. Actualmente se trabaja en líneas de acciones conjuntas con especialistas en la temática de la Estación Experimental Agropecuaria Manfredi de INTA Córdoba, con la perspectiva que puedan incorporarse también profesionales de otras entidades provinciales y nacionales, como el Observatorio Hidrometeorológico de Córdoba y CONAE.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a miembros de la Secretaría de Gestión de Riesgo, Cambio Climático, Catástrofes y Protección Civil, en especial a su Secretario, el Crio. Gral. (R) Claudio Vignetta, al Director General de Protección Civil Marcelo Zornada y en nombre de Hermann Unterthurner a todo el personal de la Dirección de Gestión Integral de Manejo de Fuego (GIMF), por el apoyo y aportes brindados en la definición de los lineamientos y acciones sobre los que se sustentan los trabajos conjuntos con IDECOR.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASTARRIKA, A., ALVARADO, M., ARTANO, K., MARTINEZ, M. P., MESANZA, A., TORRE, L., RAMO, R. & CHUVIECO, E. (2014). BAMS: A tool for supervised burned area mapping using Landsat data. *Remote Sensing*, 6(12), 12360-12380. Bastarrika,
- GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., & MOORE, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27.

- IDECOR (2022). Mapas de Riesgo Local para Incendios Forestales Corredor Sierras Chicas y Jesús María 2022. Infraestructura de Datos Espaciales de Córdoba (IDECOR). <https://www.idecor.gob.ar/wp-content/uploads/2022/04/Informe-Riesgomarzo2022.pdf>. Consulta enero 2023.
- IVANDIC, F. (2007). Incendios forestales en la interfase urbano rural: Características y formas de proceder. Medio Ambiente 7, Bariloche: INTA, n°7, 35-40.
- KOPTA, F., COLOMBATI, M. & PÉREZ, F.J. (2004). Jornadas de prevención de incendios de montes y pastizales desde las escuelas primarias. Agencia Córdoba Ambiente. Córdoba, Argentina. 40 págs.
- LEY PROVINCIAL N° 8751/1999. Normas y procedimientos para el Manejo del fuego. Córdoba, Argentina. <https://www.cba.gov.ar/wpcontent/4p96humuzp/2013/05/Ley-8751.pdf>. Consulta enero 2023.
- MARI, N., AHUMADA, M. & PONS, D. (2021). Incendios en la Provincia de Córdoba: Año 2020. INTA. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Proyecto: Prevención y Evaluación de la Emergencia y Desastre Agropecuario - Componente 1.6.2.3.PE.I064.
- OYARZABAL, M., CLAVIJO, J., OAKLEY, L., BIGANZOLI, F., TOGNETTI, P., BARBERIS, I., MATURO, H. M., ARAGÓN, R., CAMPANELLO, P. I., PRADO, D., OESTERHELD, M., & LEÓN, R. J. (2018). Unidades de vegetación de la Argentina. Ecología Austral, 28(1), 040–063.
- ROTETA, E., BASTARRIKA, A., PADILLA, M., STORM, T., & CHUVIECO, E. J. R. S. O. E. (2019). Development of a Sentinel-2 burned area algorithm: Generation of a small fire database for sub-Saharan Africa. Remote sensing of environment, 222, 1-17. 35
- ROTETA, E., BASTARRIKA, A., FRANQUESA, M., & CHUVIECO, E. (2021). Landsat and Sentinel2 Based Burned Area Mapping Tools in Google Earth Engine. Remote Sensing, 13(4), 816.
- ROTETA, E., BASTARRIKA, A. (2022). Area Mapping Tools in Google Earth Engine User Guide Version 1.7. Universidad del País Vasco 13(4), 816.
- SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGO CLIMÁTICO, CATÁSTROFES Y PROTECCIÓN CIVIL (SGRCCYPC) E INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA (2023). Áreas Afectadas por Incendios Forestales 2022, en la Provincia de Córdoba. Febrero 2023. Disponible en: <https://www.idecor.gob.ar/wp-content/uploads/2023/03/Informe-Mapeo-areas-afectadas-por-incendios-2022.pdf>. Consulta mayo 2023.