

Cambios en las coberturas del suelo por incendios en la Pampa Loéssica Plana (2012-2022)

Mercado, María Paula; Guzmán, Leticia Ana; Tuninetti, Luis Enrique; Sanchez, Sofia; Gallego, Fernando; Forgioni, Fernando Primo; Deheza, Julian; Restovich, Lucia; Robledo, Micaela

Resumen

Los cambios en el uso del suelo (CUS) responden a factores económicos, culturales y políticos específicos. Globalmente, los incendios se asocian al CUS; en Córdoba, afectan sistemas naturales y productivos, principalmente quemadas controladas agrícolas-ganaderas, detectables por teledetección.

Este trabajo evalúa coberturas afectadas por incendios en Unión y Gral. San Martín (Pampa Loéssica Plana, Córdoba, 2012-2022). Se usaron Google Earth Engine (áreas quemadas), Google Earth (visualización CUS), IDECOR (usos de suelo), Earth Explorer/USGS y Copernicus (imágenes para índices espectrales).

Resultados: 2715 ha quemadas en 6 meses de alto riesgo (junio-noviembre), con noviembre máximo (1138 ha). Sin CUS postquema, solo cambios de cobertura agrícola. Confirmados 2 de 4 grandes focos en campo. dNBR indica severidad moderada-alta en vegetación natural. 80% en usos agrícolas (rastros), pero afectó áreas naturales, incluidos 2 humedales del Arroyo Las Mojaras.

Se propone revalorizar ecosistemas naturales y dialogar con productores para prevención y restauración.

Palabras clave: usos de suelo, coberturas, incendios, paisaje, teledetección

Abstract

Land use changes (LUC) result from complex interactions of economic, cultural, and political factors in specific space-time contexts. Globally, most fires are closely linked to LUC. In Córdoba province, fires annually affect both natural and productive systems, with the latter mainly involving controlled burns in agricultural and livestock fields, detectable and mappable via remote sensing tools.

This study evaluates and characterizes soil covers affected by fires in Unión and Gral. San Martín departments, in the Loessic Plain Pampa (PLP) of Córdoba province, from 2012-2022. Repositories used included Google Earth Engine (burned areas), Google Earth (LUC visualization), IDECOR (land use categories), Earth Explorer (USGS), and Copernicus (satellite images for spectral indices).

Results show 2,715 ha burned across six high-risk months (provincial fire season), with November peaking at 1,138 ha. No LUC observed post-fire, only coverage changes tied to agriculture. Of four major burned areas, field visits confirmed fires in two. dNBR calculations indicated moderate-to-high severity in natural vegetation zones. 80% of burned surfaces linked to agricultural uses (likely stubble); however, natural areas were also affected, including two Las Mojaras Stream wetlands with key ecological roles.

It is essential to revalue natural ecosystems and strengthen dialogue with producers on burns for prevention and restoration efforts in affected areas.

Keywords: Land use, Land cover, Fires, Landscape, Remote sensing

Introducción

Las transformaciones humanas del uso y la cobertura del suelo influyen en el funcionamiento de los ecosistemas (Paruelo, 2008). El término “cobertura de suelo” hace referencia a las características físicas de la superficie del terreno (por ejemplo, la vegetación presente o las infraestructuras), mientras que el concepto de “uso” refleja las funciones económicas y sociales con las que cumple dicha superficie (Paruelo y Laterra, 2019). Los cambios en el uso del suelo (CUS) se deben a una compleja interacción de factores económicos, culturales y políticos en un espacio-tiempo determinado (Geist et al., 2006; Lambin et al., 2001).

A nivel global, la mayoría de los incendios son antropogénicos y están estrechamente relacionados con el cambio de uso del suelo (Bowman et al., 2020). En América del Sur, los incendios se vinculan a la expansión agropecuaria y la deforestación (Cavallero et al., 2023). Estos CUS incluyen el uso del fuego en áreas naturales que, una vez afectadas, se destinan a actividades agropecuarias o inmobiliarias. En este contexto, el término "avance de la frontera agropecuaria" (Barchuk, 2019; Svampa y Viale, 2020) hace referencia al desplazamiento de tierras por tierras agrícolas, lo que transforma drásticamente la fisonomía de los escasos paisajes naturales remanentes. Este proceso promueve la pérdida de hábitats, la disminución de especies nativas y la fragmentación de ecosistemas, lo que contribuye a la erosión de la biodiversidad.

El fuego es uno de los agentes más poderosos de transformación del paisaje (Kunst et al., 2003). Puede formar parte de los ciclos de disturbios y sucesión, claves en la dinámica de ciertos ecosistemas, o bien irrumpir como un factor exógeno que amenaza su supervivencia. La quema de cobertura vegetal expone al suelo a factores erosivos como el accionar del viento y el agua, así como a la colonización por especies exóticas y/o invasoras, entre otros efectos negativos para el paisaje.

En Argentina, los incendios forestales se producen en las diferentes regiones y provincias de acuerdo a la época del año. En la provincia de Córdoba, la temporada de riesgo de incendios se extiende entre los meses de junio a noviembre, siendo el inicio de la estación húmeda el factor que determina el fin de la misma (Argañaraz et al., 2015; Sánchez et al., 2022). Las Sierras de Córdoba es una región ampliamente estudiada en materia de monitoreo de incendios. Sólo para esta área, se contabilizaron aproximadamente 1.6 millones de hectáreas quemadas para un periodo de 30 años (Marinelli et al., 2019). Sánchez et al. (2022), reportó una superficie afectada similar para toda la provincia en un lapso, de tan solo 20 años, lo que refuerza la magnitud y persistencia de la problemática. De acuerdo a estos autores, los incendios en la provincia de Córdoba han afectado tanto a los sistemas naturales como a los productivos, en el marco de la temporada mencionada anteriormente, siendo las principales regiones afectadas las Sierras y los Bañados del Río Dulce; y menor medida la región pampeana, con el 2,5% de su superficie. En este último, la mayoría de los incendios se vincula a quemas controladas en establecimientos agrícolas y ganaderos.

La teledetección es una herramienta clave para la detección de incendios en tiempo real, de zonas quemadas o para la cartografía de “cicatrices de incendios”. Esta técnica se basa en el uso de sensores a bordo de satélites, que registran la energía emitida o reflejada por un objeto o superficie, en distintas bandas del espectro electromagnético, con el fin de obtener información sobre los mismos, sin tener un contacto directo con ellos. Así, las imágenes satelitales son productos procesados que proveen datos cuantitativos y espacialmente continuos de la superficie y, en tal sentido, son mucho más que una fotografía (Paruelo, 2008).

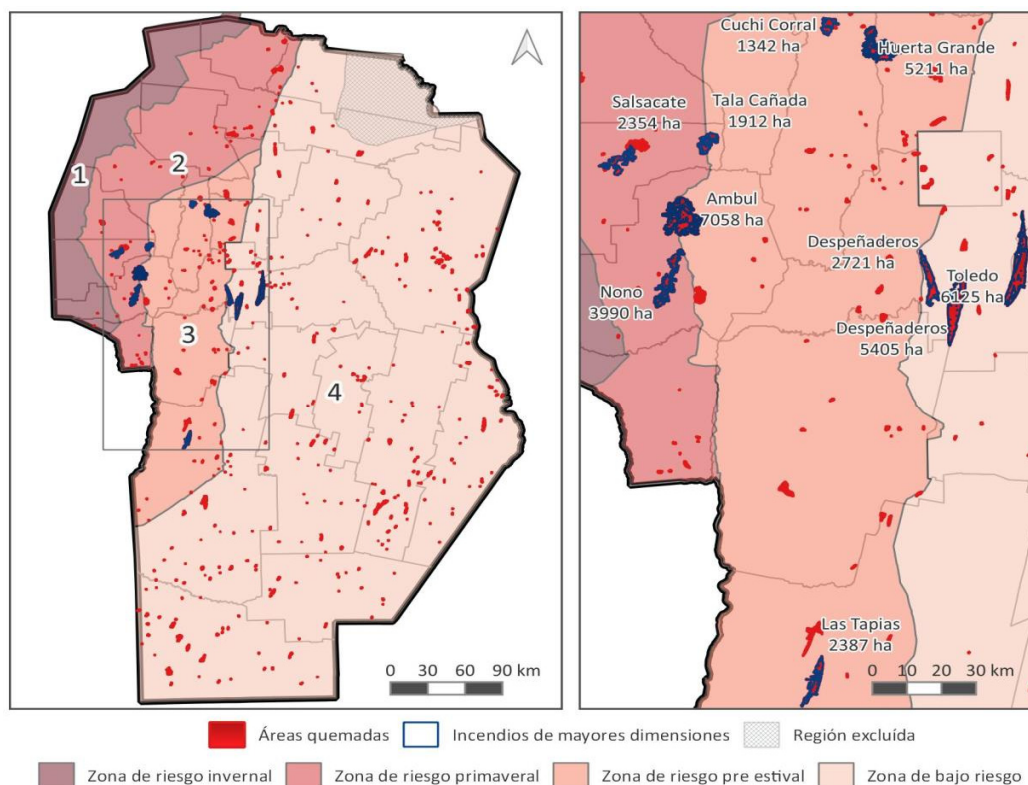
Los incendios, al modificar la cobertura biofísica del suelo, alteran su absorción y reflexión de la radiación electromagnética, lo que permite la detección y el monitoreo de los mismos (Chuvienco et

al., 2019). Por medio del uso de índices espectrales como lo son el NBR (Índice Normalizado de Área Quemada) o el Índice de Vegetación Normalizado (Normalized Difference Vegetation Index), pueden obtenerse datos concretos y realizarse estimaciones del comportamiento de la vegetación y la superficie luego de un evento de fuego. A partir de estas herramientas se pueden cuantificar las áreas quemadas, así como también determinar el nivel de severidad de los incendios, la frecuencia de los mismos, entre otros indicadores.

En relación con el riesgo de incendios (Figura 1), la Ley provincial N° 8.751 de Manejo del Fuego clasifica a Córdoba en cuatro zonas de riesgo según condiciones meteorológicas, disponibilidad de combustible y otros factores asociados a la probabilidad de ocurrencia. Las zonas de mayor amenaza corresponden a ambientes serranos, mientras que la llanura Chaco-Pampeana (Carignano et al., 2014), donde se ubica la Pampa Loessica Plana (PLP; Cabido et al., 2003), se encuentra en la categoría de bajo riesgo. Esta región, de relieve llano y con un marcado predominio agrícola-ganadero, presenta escasa vegetación natural y, en consecuencia, ha sido poco considerada en estudios sobre incendios. Sin embargo, en 2022 la PLP presentó la mayor proporción de superficie quemada, con 311 focos y más de 44.000 hectáreas afectadas (SGRCCyPC e IDECOR, 2023), lo que resalta la importancia de profundizar en su análisis.

Figura 1

Distribución de las áreas quemadas en 2022 en función de las zonas de riesgo delimitadas para la Provincia de Córdoba por Ley 8.751. Las categorías de riesgo del “1” al “3” son de ‘alto riesgo’; la categoría “4”, de ‘bajo riesgo’.



Fuente: Áreas afectadas por incendios forestales 2022 en la provincia de Córdoba (p. 20), por Secretaría de Gestión de Riesgo Climático, Catástrofes y Protección Civil (SGRCCyPC) e Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba (IDECOR), 2023.

Por todo lo expuesto, el presente trabajo buscó evaluar y caracterizar las coberturas de suelo afectadas por incendios en los departamentos Unión y Gral. San Martín, ubicado en la Pampa Loessica Plana (PLP) de la provincia de Córdoba, durante el período 2012-2022. Para ello, los objetivos específicos establecidos fueron:

- 1) Determinar la superficie afectada por incendios durante el periodo 2012-2022.
- 2) Identificar las coberturas y usos del suelo afectados y posibles CUS.
- 3) Analizar la severidad de los incendios ocurridos, incorporando la observación de indicadores paisajísticos a campo (vegetación, cenizas, infraestructura afectada) y la confirmación del evento en territorio.

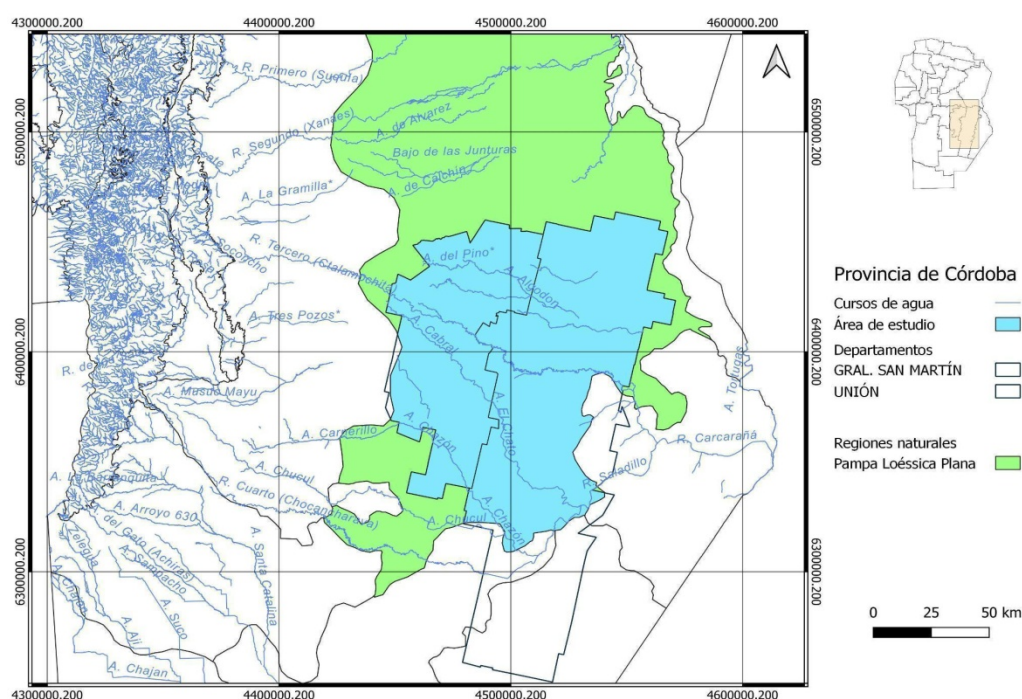
Como hipótesis general de trabajo, se planteó que en la Pampa Loessica Plana los incendios afectan principalmente rastrojos agrícolas, aunque también alcanzan coberturas naturales, y su severidad se encuentra asociada al tipo de uso y manejo del suelo.

Metodología

El área de estudio comprende una superficie total de 12.315,25 km² (1.231.525 ha) abarcando casi su totalidad al departamento Gral. San Martín y en un 68% al departamento Unión, y fue delimitada a partir de la superposición de los límites departamentales con el área de la PLP (Figura 2). Cabe aclarar que no se consideró la totalidad del departamento Unión, dado que una porción de su superficie se extiende por fuera de la PLP (Figura 3).

Para la delimitación y análisis se utilizaron datos vectoriales de la Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba (IDECOR), correspondientes a las regiones naturales y a los departamentos provinciales. El procesamiento fue realizado con el software libre QGIS (QGIS Development Team, 2022).

Figura 2. Área de estudio.



Fuente: Elaboración propia en base a IDECOR.

Vegetación y cobertura originales

La vegetación original para ambos departamentos es la definida para la ecorregión del Espinal (Oyarzabal et al., 2018; Morello et al., 2012; Arana et al., 2021). Esta cobertura estaba dominada por bosques de *Prosopis alba* y *Prosopis nigra*, acompañados por espinillo, chañar y tala, conformando bosques bajos de especies leñosas xerófilas, generalmente de un solo estrato arbóreo, que alternaban con sabanas y estepas gramíneas.

En la actualidad, gran parte de esta vegetación ha sido reemplazada por sistemas agrícolas y ganaderos. Morello et al. (2012) destacan una intensa conversión agropecuaria en la región, mientras que Barchuk (2019) coincide en señalar que la cobertura boscosa original de la provincia ha sido transformada casi en su totalidad desde hace varias décadas. No obstante, aún persisten parches de vegetación nativa dispersos y aislados en el paisaje.

Determinación de superficie quemada

Para determinar la superficie quemada durante el periodo 2012-2022 se optó por un procesamiento en la nube de la plataforma Google Earth Engine (GEE)⁶, a partir del producto “MODIS Global Burned Area” versión 6.1 (MCD64A1), a bordo de los satélites Terra y Aqua de la NASA. Se trata de un producto mensual cuadriculado global con resolución espacial de 500 metros, cuyo algoritmo de mapeo de área quemada utiliza un índice de vegetación sensible a las quemaduras derivado de las bandas 5 y 7 del espectro (correspondientes al infrarrojo) corregidas a nivel atmosférico. El algoritmo procesa la fecha de la quema como el día ordinal del año calendario en el que la misma ocurrió, y además, asigna distintos valores según se trate de píxeles “quemados”, “sin quemar”, “sin datos” y aquellos que refieran a cuerpos o cursos de agua (Giglio et al., 2018).

Se cargó el área de estudio (departamentos Unión y General San Martín) y se ejecutó un algoritmo en GEE para el período 01-01-2012 a 01-01-2023, identificando los píxeles quemados. Posteriormente, los datos se descargaron y procesaron en QGIS (QGIS Development Team, 2022), seleccionando únicamente los meses correspondientes a la temporada de riesgo de incendios. Es decir, se trabajó con seis imágenes MODIS por año, contabilizando un total de 66 imágenes para los diez años en estudio.

Los productos fueron organizados, vectorizados y reproyectados al sistema POSGAR 98 / Argentina 4 (EPSG:22174), generando una única capa integrada con información de localización departamental, mes de quema y superficie (ha). Con esta metodología, el tamaño mínimo de píxel es de 21 ha.

Identificación de coberturas y cambios de uso

Para corroborar si hubo CUS en las zonas indicadas por dichos polígonos, se procedió al análisis visual de cada una de ellas en las fechas anteriores y posteriores al posible incendio, por medio del uso de la plataforma Google Earth Explorer. Así, la detección fue hecha de manera manual con cada uno de los 36 polígonos obtenidos. De cada uno de ellos se anotaron el año y mes de quema (brindados por MODIS), la fecha inmediata anterior disponible al incendio, el tipo de cobertura observable para la misma y la cobertura observable al año 2022, para confirmar si hubo o no cambio de uso.

Para el caso de no haberse observado cambios de uso, se optó por identificar a las coberturas y los usos del suelo con mayor nivel de detalle a partir de su extracción del Mapa de Usos y Cobertura

⁶ Recuperado del enlace <https://earthengine.google.com>

de IDECOR⁷ (también conocida como “Land Cover”) para el año 2022. Si bien, en el repositorio de IDECOR se encuentran Land Covers desde el año 2018, la del 2022 tiene una mayor resolución espacial e información actualizada. Más específicamente, a partir de su vectorización y de la superposición con los polígonos de MODIS, se obtuvieron las coberturas correspondientes a las áreas quemadas detectadas, pero con una clasificación de categorías más específica en cuanto a la superficie observada.

Severidad de los incendios

De acuerdo a Keeley (2009), la severidad del incendio se refiere al grado de afectación que ha tenido un área o un ecosistema debido al fuego. Se optó por estimar este parámetro con el Índice Normalizado de Área Quemada (NBRI o NBR), de uso extensivo en la bibliografía, con el cual se analizaron los cuatro polígonos de mayor tamaño (superiores a 200 ha). Para ello, se descargaron desde el repositorio EarthExplorer⁸ (USGS) y Copernicus⁹ (de la Agencia Espacial Europea), imágenes satelitales Landsat 8-9 (de resolución espacial de 30m) y Sentinel 2A-2B (de 10 m, 20 m y hasta 60 metros según la banda), respectivamente. Con las imágenes de los meses anteriores y posteriores al mes del incendio, con una cobertura de nubes de hasta un 15%, el índice NBR fue calculado en QGIS a partir de la siguiente fórmula:

$$NBR = (\rho NIR - \rho SWIR) / (\rho NIR + \rho SWIR)$$

donde, ρNIR es la reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR, Near Infrared) y $\rho SWIR$ la reflectancia en el infrarrojo de onda corta SWIR (Short Wave Infrared). En las imágenes Landsat 8, la banda 5 corresponde al NIR y la banda 7 al SWIR. En el caso de Sentinel-2, la banda 8 se corresponde con el NIR y la banda 12 con el SWIR. Por lo tanto, el cálculo del NBR según la imagen utilizada se obtuvo de la siguiente manera:

$$NBR \text{ (Landsat 8)} = (B5 - B7) / (B5 + B7)$$

$$NBR \text{ (Sentinel 2)} = (B8 - B12) / (B8 + B12)$$

La diferencia entre el NBR anterior al incendio con el NBR posterior, se conoce como dNBR; sirve para estimar la severidad del incendio, donde un valor más alto de dNBR indica un daño más severo y un diferencial negativo puede indicar un nuevo crecimiento después del mismo (Portal de Conocimientos, s.f.); y se calcula de la siguiente manera (Melchiori y Mari, 2018):

$$dNBR = NBR_{\text{previo}} - NBR_{\text{posterior}}$$

Finalmente, los dNBR para cada sitio fueron clasificados en función a los umbrales de severidad adoptados por Key y Benson (2006) (Tabla 1).

⁷ Recuperado del enlace <https://www.mapascordoba.gob.ar>

⁸ Recuperado del enlace <https://earthexplorer.usgs.gov/>

⁹ Recuperado del enlace <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>

Tabla 1

Umbral de severidad para valores de NBR (Key y Benson, 2006)

Severity Level	dNBR Range (scaled by 10 ³)	dNBR Range (not scaled)
Enhanced Regrowth, high (post-fire)	-500 to -251	-0.500 to -0.251
Enhanced Regrowth, low (post-fire)	-250 to -101	-0.250 to -0.101
Unburned	-100 to +99	-0.100 to +0.99
Low Severity	+100 to +269	+0.100 to +0.269
Moderate-low Severity	+270 to +439	+0.270 to +0.439
Moderate-high Severity	+440 to +659	+0.440 to +0.659
High Severity	+660 to +1300	+0.660 to +1.300

Fuente: Índice Normalizado de Área Quemada (NBR), por Portal de Conocimientos de ONU-SPIDER de la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre, (s.f.), United Nations (<https://un-spider.org/es/node/10959>).

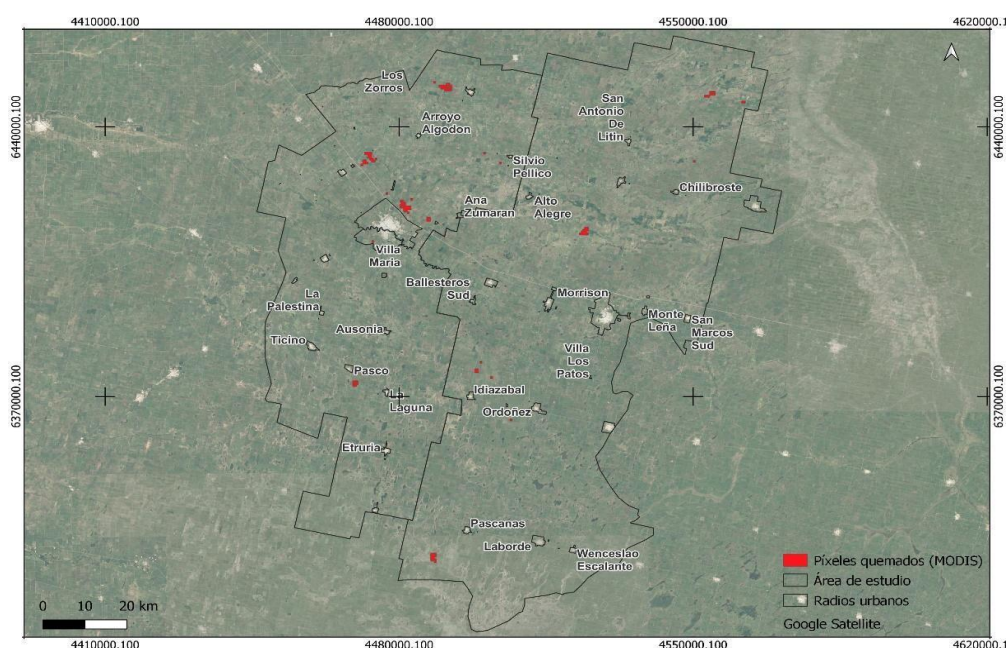
A los fines de constatar la información recabada por teledetección, se realizaron dos visitas prediales: al parche quemado de “Villa María” y al parche de “Tío Pujio”. Ambos sitios fueron visitados al encontrarse cercanos a la ciudad de Villa María.

Resultados

Superficie quemada

El procesamiento en la nube de Google Engine arrojó 132 productos MODIS para el periodo seleccionado (doce por cada año). Sin embargo, los datos descargados y procesados fueron únicamente los correspondientes a los meses de mayor riesgo de incendio a nivel provincial (de junio a noviembre). Las áreas quemadas calculadas a partir de los productos de MODIS sumaron 2715 ha, que representan el 0,22% de la extensión total del área de estudio (Figura 4).

Figura 4. Áreas afectadas por posibles eventos de incendios en el área de estudio durante el período 2012-2022.



Fuente: Elaboración propia en base a IDECOR.

Del total de superficie quemada, el 66% correspondió a áreas ubicadas dentro del departamento General San Martín (1791 ha), y el 34% pertenecientes al departamento Unión (924 ha) (Tabla 2).

Tabla 2. Distribución de las áreas quemadas (en ha) por departamento durante el periodo 2012-2022.

Departamento	Sup. afectada absoluta (ha)	Sup. afectada relativa (%)
General San Martín	1791	66
Unión	924	34
Total	2715 ha	100

Fuente: Elaboración propia.

En 2012 y 2018 no se registraron eventos de incendio. Para el resto de los años, se identificó al menos un evento de incendio por año (Tabla 3). Los años con mayor superficie afectada fueron 2021, 2020, 2013, 2019, 2017 y 2016, en orden decreciente de superficie quemada, alcanzando las áreas quemadas entre 300 y 400 ha por año (Tabla 3). Además, es posible observar en dicha tabla los años sin detección de polígonos (2012 y 2018) y los años con menor registro de área quemada (2014 y 2015).

Tabla 3. Distribución anual de área quemada en el área de estudio.

Año	Cant. de polígonos detectados	Sup. absoluta afectada por año (ha)	Sup. relativa afectada por año (%)
2012	0	0	0
2013	5	420	15,5
2014	1	21	0,8
2015	1	21	0,8
2016	3	338	12,5
2017	7	380	14
2018	0	0	0

2019	6	418	15,4
2020	5	422	15,5
2021	6	463	17
2022	2	232	8,5
TOTAL	36	2715 ha	100%

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que el suceso, no acumulativo, de incendio con la mayor dimensión se localizó en el departamento Unión, aproximadamente a 15 km de distancia al SO de la localidad de Cintra, el cual abarcó una superficie de 273,55 hectáreas, y ocurrió en el mes de septiembre del año 2013 que completa los 420 ha del año referidos en la Tabla.

Según la metodología utilizada, no se observaron incendios para los años 2012 y 2018, lo cual no significa que no hayan ocurrido incendios menores, que podrían ser observados con sensores de mayor resolución espacial como Landsat o Sentinel.

De acuerdo con Sánchez et al. (2022), esta región presenta relativamente pocos incendios y áreas quemadas menores, en comparación con otras regiones de la provincia, lo que concuerda con la baja superficie afectada en varios de los años analizados.

Con respecto a la distribución mensual de los incendios (Tabla 4), junio no presentó ningún evento durante los años analizados. El mes de julio presentó incendios en dos años, los cuales superaron las 400 ha quemadas (año y año). En agosto se quemaron más de 100 ha, pero sólo en 2019; mientras que septiembre presentó áreas quemadas en 2013, 2015, 2019 y 2022. En octubre sólo se registró la superficie mínima quemada (21 ha, correspondiente al tamaño del píxel) en 2014; posteriormente, de 2016 a 2021, se repitieron los mismos eventos de manera consecutiva. Por último, noviembre presentó superficies afectadas por encima de las 100 ha y concentró la mayor superficie afectada de todos los meses, sumando un total de 1138 ha en los diez años de estudio.

Tabla 4. Distribución mensual de área quemada (en ha) para el periodo 2012-2022.

Año/mes	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Total (ha)
2013				273,55		146,74	420
2014					21,04		21
2015				21,08			21
2016					63,35	274,53	338
2017					126,71	253,38	380

2019	41,92	125,76	166,92	83,46		418	
2020	400,54			21,08		422	
2021				147,4	315,83	463	
2022			84,19		147,82	232	
Total (ha)	0	442	126	546	463	1138	2715

Fuente: Elaboración propia.

Coberturas y cambios de uso del suelo (CUS)

La detección de los CUS se hizo de manera manual y visual, revisando individualmente cada uno de los 36 polígonos obtenidos. Para ello, se contrastaron imágenes correspondientes a fechas previas y posteriores a la quema registrada por MODIS; que estuvieran disponibles en la plataforma de Google Earth Explorer.

Las cuatro coberturas (“agrícola”, “agrícola con presencia de agua”, “natural” o “mixta”) fueron establecidas visualmente en función al visor de Google Earth. Tomando de referencia a “agrícola” cuando eran observadas parcelas con cultivo o rastrojo, “natural” cuando predominaban arbustales y/o pastizales, “mixto” cuando se observaban ambos tipos de cobertura, y “agrícola con presencia de agua” en el caso de observarse parcelas con lagunas temporarias. Para simplificar y agilizar el análisis, no fueron utilizadas las clasificaciones de Land Cover de IDECOR.

Durante la evaluación de los 36 polígonos obtenidos, no fueron detectados CUS. Las coberturas agrícolas sí variaron de un año a otro, posiblemente debido a la rotación de cultivos (o el barbecho, por ejemplo), pero permaneciendo el mismo tipo de uso de suelo (agrícola); es decir, no existieron cambios entre usos agrícolas y naturales. Sólo se observó un caso en el que se presume CUS por abandono de la actividad agrícola, relacionado con la aparición de lagunas.

Para una mejor identificación de las coberturas afectadas, fue complementada la observación visual con la información de Land Cover del año 2022 de IDECOR (Tabla 5). En cuanto a las coberturas y usos de suelos afectados, la mayoría de los incendios ocurrieron en tierras agrícolas. Contrastando con el mapa de Cobertura y Uso del Suelo 2022-2023 de IDECOR, los cultivos extensivos anuales presentaron la mayor superficie incendiada (1740 ha), lo cual representa aproximadamente el 65% de todas las áreas quemadas. La ligera diferencia entre la superficie calculada a partir de IDECOR (2672 ha) y la estimación basada en píxeles MODIS (2715 ha), se explica por la distinta resolución espacial de los productos utilizados.

Tabla 5. Tipo de coberturas (IDECOR, 2022) afectadas durante el periodo 2012-2022 en el área de estudio.

Cobertura y uso de Suelo 2022	Área total (ha)	Sup. afectada relativa (%)
Cultivo extensivo anual	1740,2	65%

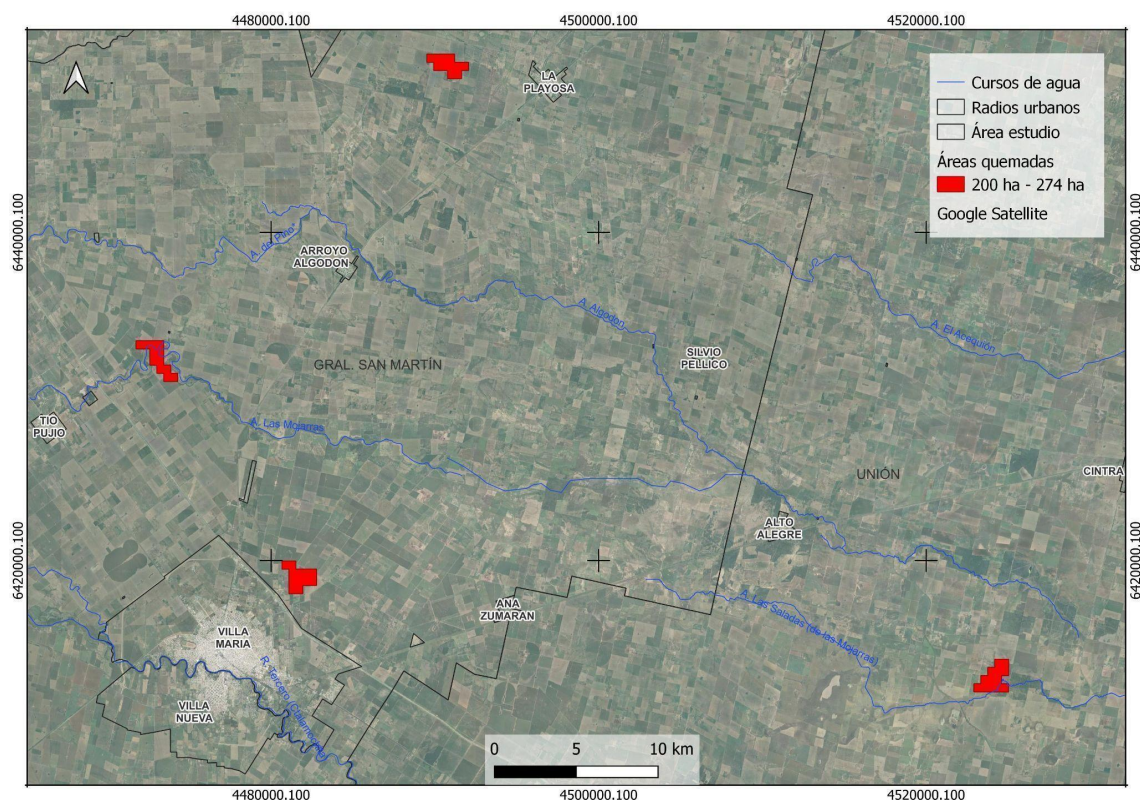
Pastura implantada	494,58	19%
Matorral/arbustal	209,21	8%
Pastura manejada con o sin emergentes	130,64	5%
Bosque	76,4	3%
Arbustal/pastizal natural	5,14	0%
Cultivo anual irrigado	4,44	0%
Cuerpo de agua estacional	4,1	0%
Pastizal natural	2,99	0%
Cuerpo de agua	2,51	0%
Infraestructura vial	1,91	0%
Total	2672,12	100%

Fuente: Elaboración propia en base a las coberturas de IDECOR.

Severidad de los incendios

Para evaluar la severidad de los incendios, se calculó el índice espectral de área quemada (NBR) sobre los cuatro sitios de mayor extensión (>200 ha) identificados en el área de estudio. A cada sitio se le asignó un nombre para su referencia geográfica de rápida identificación: sitio 1) “La Playosa”, sitio 2) “Tío Pujio”, sitio 3) “Villa María” y sitio 4) “Arroyo Las Mojaras” (Figura 5). La Tabla 6 condensa los resultados obtenidos para los cuatro dNBR calculados, y la diferencia entre los valores extremos de sus rangos.

Figura 5. Sitios seleccionados para el cálculo de índices espectrales.



Fuente: Elaboración propia en base a IDECOR.

Tabla 6. Resultados para dNBR.

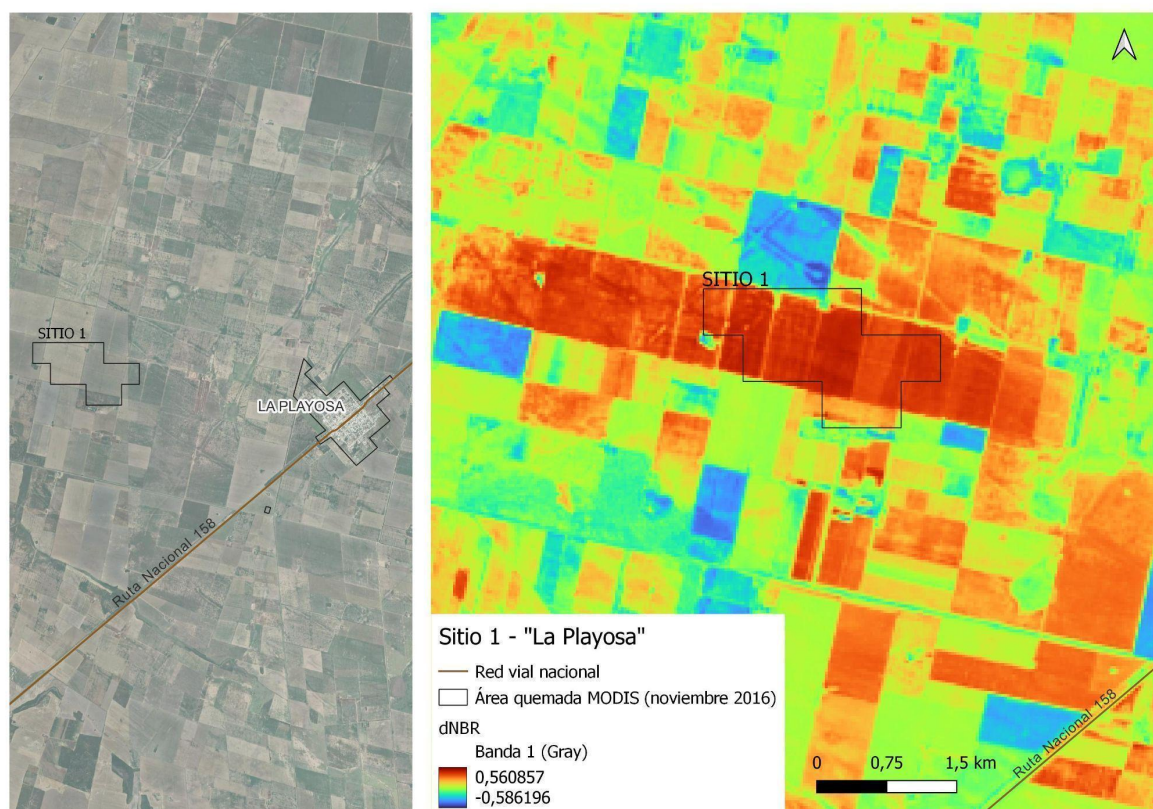
Resultados dNBR			
Sitios >200 ha	NBR extremo menor	NBR extremo mayor	Diferencia
La Playosa	-0,58	0,56	1,14
Villa María	-0,58	0,66	1,24
Tío Pujio	-0,3	0,62	0,92
Las Mojaras	-0,41	0,34	0,75
Valores reescalados a 1000			
La Playosa	-580	560	1140

Villa María	-580	660	1240
Tío Pujio	-300	620	920
Las Mojarras	-410	340	750

Fuente: Elaboración propia

La descripción y comparación de las quemas se realizaron teniendo en cuenta los umbrales de severidad adoptados por Key y Benson (2006). Según dicha clasificación, el parche correspondiente al Sitio 1 ("La Playosa") presentó valores de severidad moderada a alta (Figura 6). Sin embargo, la imagen obtenida no permite confirmar con certeza el evento de incendio, ya que podría confundirse una quema con un desmalezado del lote para su posterior siembra de cultivo de verano. Este tipo de error, en el que un píxel es clasificado como "quemado" cuando en realidad no lo está, se conoce como "error por comisión" (es decir, un falso positivo). Dicho error es frecuente en superficies agrícolas debido a que la reflectancia de suelos removidos o recién trabajados puede asemejarse a la de áreas quemadas. Si bien las versiones más recientes de los productos MODIS (MCD64A1) han mejorado la detección de áreas quemadas y reducido la tasa de errores de comisión, su presencia sigue siendo relevante (Giglio et al., 2018). Por esta razón, es recomendable considerar la información complementaria del uso del suelo y la verificación de campo para confirmar los eventos detectados.

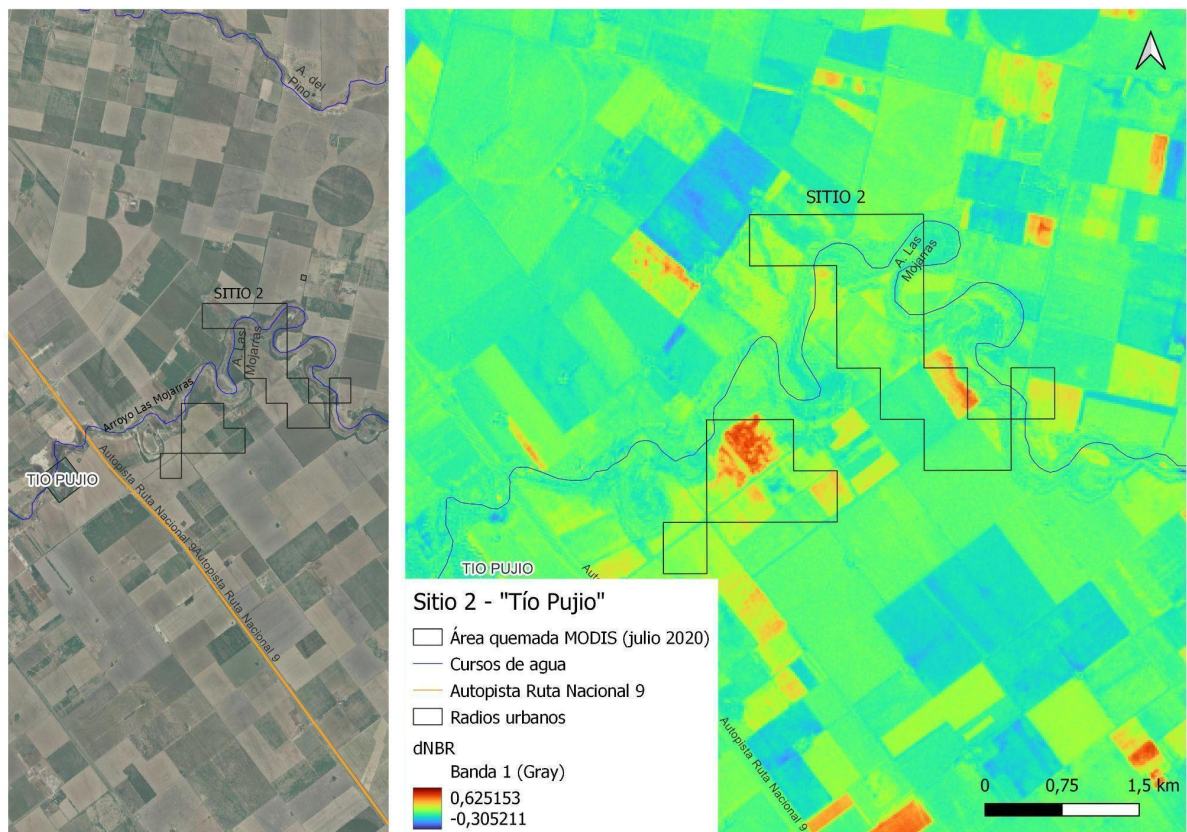
Figura 6. dNBR para Sitio 1 "La Playosa".



Fuente: Elaboración propia en base a IDECOR.

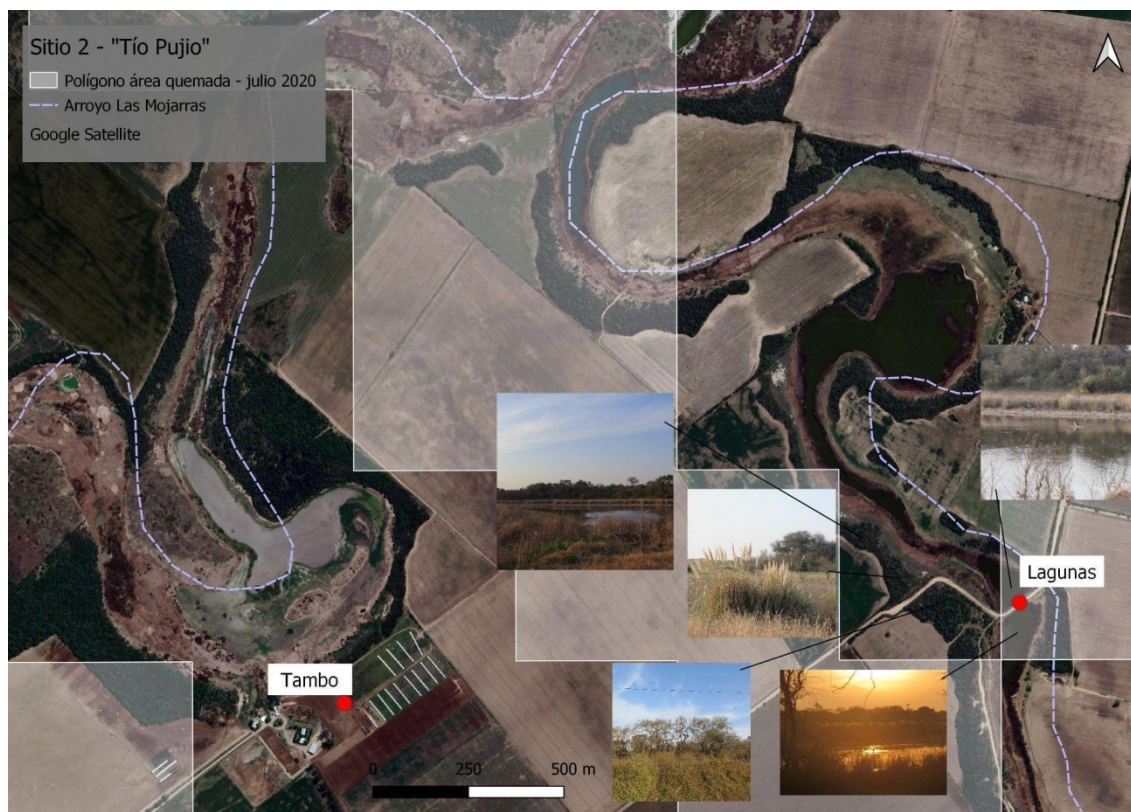
El índice dNBR (Figura 7) resalta coberturas incendiadas con un nivel de severidad moderada a alta. El evento, ocurrido en julio de 2020, fue confirmado a campo mediante observación visual de indicios de incendios y a partir de una conversación con el encargado del establecimiento, quien confirmó que el incendio afectó principalmente totorales (comunidades de *Typha* sp.). El área afectada corresponde a un sitio destinado a la producción agropecuaria (específicamente un tambo), que conserva relictos de monte nativo asociados a los meandros del Arroyo Las Mojaras (Figura 8).

Figura 7. dNBR para Sitio 2 “Tío Pujio”.



Fuente: Elaboración propia en base a IDECOR.

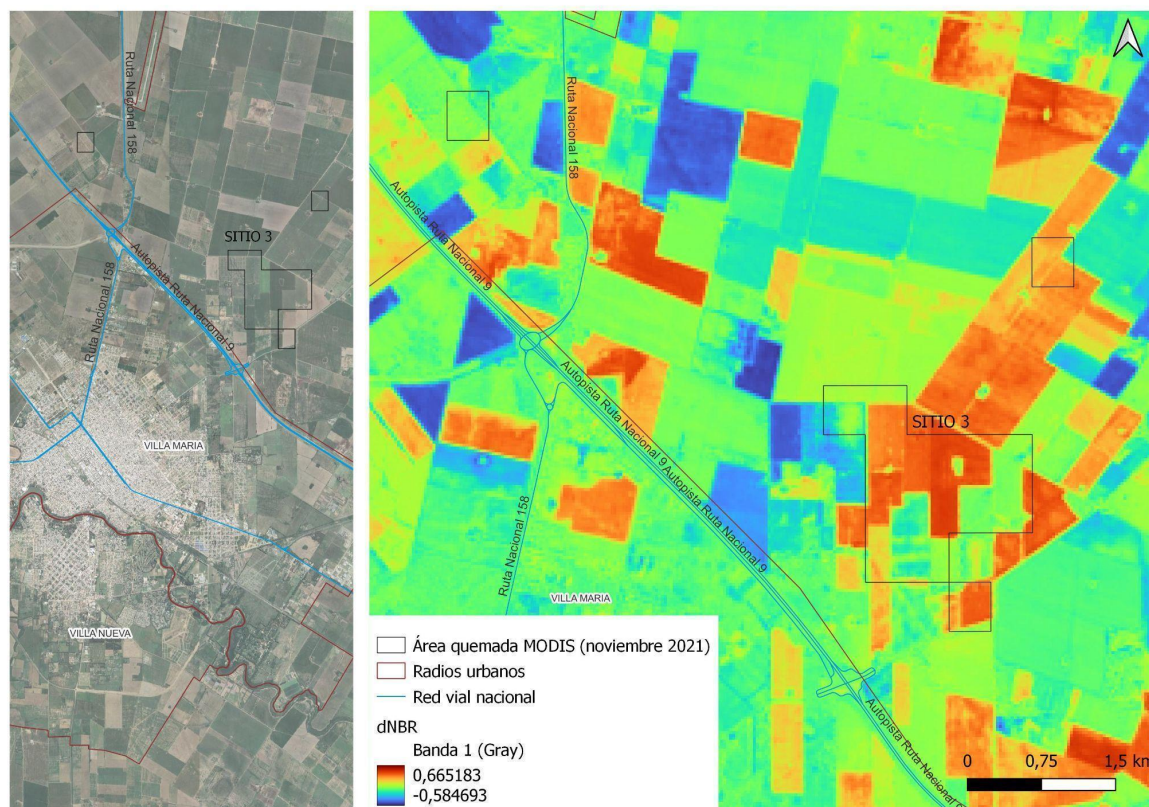
Figura 8. Sitios visitados en la salida a campo del polígono de área quemada del Arroyo Las Mojarras, Tío Pujio, Córdoba.



Fuente: Elaboración propia en base a IDECOR.

El dNBR obtenido para el Sitio 3 también se corresponde con un nivel aproximado de severidad de moderada a alta (Figura 9). Fue realizada la salida a campo del sitio y pudo constatarse con los pobladores del lugar el incendio ocurrido en noviembre de 2021; quienes mencionaron que podría haberse iniciado el fuego por un rollo de alfalfa. La vegetación afectada habría sido en principio agrícola, pero también fueron encontrados signos de quema en sitios cubiertos por vegetación exótica arbórea (Figura 10). Sin embargo, el píxel MODIS es probable que incluya un área mayor al área quemada por error de comisión; al tratarse nuevamente de un área agrícola y de un mes preparatorio para la siembra de cultivos de verano.

Figura 9. dNBR para Sitio 3 “Villa María”.



Fuente: Elaboración propia en base a IDECOR.

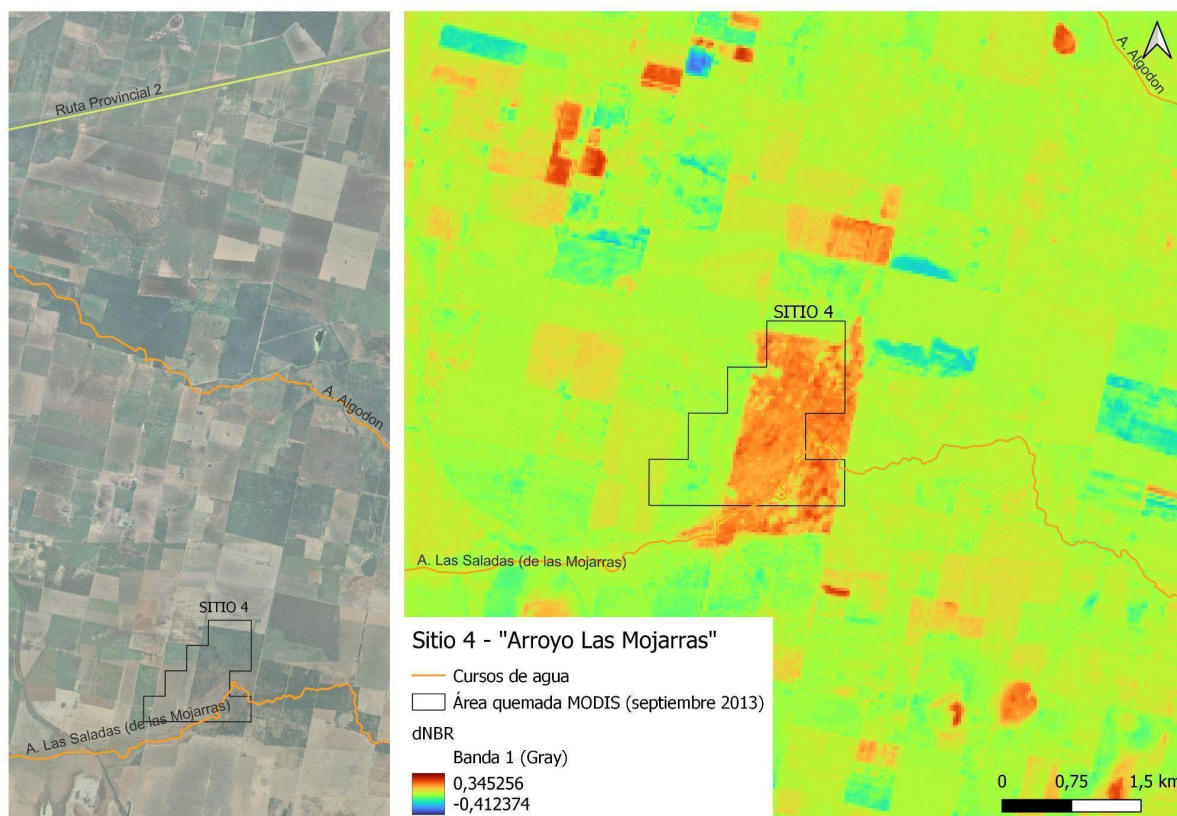
Figura 10. Sitio visitado en la salida a campo del polígono de área quemada de Villa María, Córdoba.



Fuente: Elaboración propia en base a IDECOR.

Por último, el dNBR del Sitio 4 arrojó resultados de severidad moderada a baja (Figura 11) para un lugar donde visualmente se observa presencia de arbustales y pastizales asociados al curso de agua, posiblemente con vegetación de ribera. Este sitio no fue visitado predialmente y, por lo tanto, no se pudo confirmar su condición y si hubo o no quema.

Figura 11. dNBR para Sitio 4 “Arroyo Las Mojarras”.



Fuente: Elaboración propia en base a IDECOR.

Discusiones

En el periodo 2012-2022, los incendios en los departamentos Unión y Gral San Martín, ubicados en la Pampa Loésica Plana (PLP), han afectado una superficie total de 2715 ha (0,22%). La distribución geográfica de los incendios está relacionada con factores de uso del suelo, tales como uso agrícola y la presencia de rastrojos. Aproximadamente el 80% de las áreas quemadas se ha concentrado en tierras agrícolas (sobre todo cultivos extensivos y pasturas), como se plantea en la hipótesis, lo cual es consistente con las prácticas de quemas asociadas a la agricultura en la región. En cuanto al uso del suelo, no se observaron cambios en ninguna de las áreas quemadas luego de los eventos de incendio. Se pudieron constatar cambios de cobertura, pertenecientes al mismo uso de suelo, sobre todo en las superficies agrícolas, debido a la ciclicidad que implica la actividad productiva.

Por otro lado, también se observaron áreas naturales afectadas, especialmente vegetación de ribera sobre el arroyo Las Mojarras. Los humedales asociados a este curso de agua cumplen una función ecológica importante, en tanto son drenajes naturales que regulan los escurrimientos en eventos de lluvias intensas, además de conformar hábitats para vegetación riparia y albergar una notable diversidad de aves acuáticas.

Para los dos sitios donde pudo comprobarse que hubo incendio, la severidad de los mismos ha mostrado una estrecha relación con el tipo de uso y cobertura. Las zonas de vegetación natural presentaron una severidad moderada a alta. La observación predial de la vegetación quemada, corroboró que la severidad está vinculada al tipo de cobertura.

Consideraciones finales

Los incendios en la Pampa Loéssica Plana tienen efectos negativos sobre el paisaje. La pérdida de cobertura vegetal, la disminución de especies nativas y la alteración de las características del suelo son algunas de las consecuencias más evidentes. Si bien los incendios en esta región en escala provincial son menores, la relevancia se centra en los cambios de uso del suelo con una alta pérdida de paisajes naturales, donde los incendios son un factor más a considerar. En las áreas de relevancia ecosistémica, como son los humedales del Arroyo Las Mojaras, resulta imprescindible promover el monitoreo de la vegetación y fauna asociadas, y fortalecer acciones de conservación y restauración, dada su importancia en la regulación hídrica y la biodiversidad regional. Finalmente, los trabajos articulados e interdisciplinarios permiten un abordaje integral a problemáticas que suelen ser complejas y que afectan sistémicamente a la naturaleza.

Bibliografía

- Arana, M. D., Natale, E. S., Ferretti, N. E., Romano, G. M., Oggero, A. J., Martínez, G., Posadas, P. E. y Morrone, J. J. (2021). Esquema biogeográfico de la República Argentina. Fundación Miguel Lillo. Opera Lilloana, 56, 3-2021, 1-240.
- Argañaraz, J. P., Gavier Pizarro, G., Zak, M., y Bellis, L. M. (2015). Fire regime, climate, and vegetation in the Sierras de Córdoba, Argentina. *Fire Ecology*, 11(1), 55-73.
- Barchuk, A. H. (2019). Manual de Buenas Prácticas para la Conservación del Bosque Nativo. Editorial Brujas.
- Bowman, D. M. J. S., Balch, J. K., Artaxo, P., y Bond, W. J. (2020). The global impact of anthropogenic fire on ecosystems and biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*, 29(7), 1180-1191.
- Cabido, D., Cabido, M., Garré, S. M., Gorgas, J. A., Miatello, R., Ravelo, A., Rambaldi, S. y Tassile, J. L. (2003). Regiones naturales de la provincia de Córdoba. Agencia Córdoba D.A.CyT., Dirección de Ambiente.
- Carignano, C., Kröhling, D., Degiovanni, S. y Cioccale, M. (2014). Geología de Superficie, Geomorfología. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino. 747-821.
- Cavallero, L., Peinetti, R. y López, D. R. (2023). Incidencia de fuegos en la Argentina durante las últimas dos décadas y su asociación con coberturas y usos del suelo en distintos contextos ambientales. *Asociación Argentina de Ecología. Ecología Austral*, 33 (3), 10-2023, 773-797.
- Chuvieco, E., Mouillot, F., Van der Werf, G. R., San Miguel, J., Tanase, M., Koutsias, N., García, M., Yebra, M., Padilla, M., Gitas, I., Heil, A., Hawbaker, T. J. y Giglio, L. (2019). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 225, 5-2019, 45-64.
- Geist, H., McConnell, W., Lambin, E. F., Moran, E., Alves, D., y Rudel, T. (2006). Causes and trajectories of land-use/cover change en Lambin, E. F., y Geist, H. J. (Eds.). *Land-use and land-cover change: Local processes and global impacts* (1era ed., pp. 41-70). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D. P., Humber, M. L., y Justice, C. O. (2018). The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote sensing of environment*, 217, 11-2018, 72-85.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) (2024). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022.
- Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International journal of wildland fire*, 18(1), 116-126.
- Key, C. H. Y Benson, N. C. (2006). Landscape Assessment (LA) en Lutes, D. C., Keane, R. E.; Caratti, J. F., Key, C. H., Benson, N. C., Sutherland, S. y Gangi, L. J. (Eds.). *FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station (p. 1-55).
- Kunst, C. R., Bravo, S., y Panigatti, J. L. (2003). Fuego en los ecosistemas argentinos. Ediciones INTA.
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. J., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon J., Leemans, R., Xiubin, L., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., ... y Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 12-2001, 261-269.
- Marinelli, M.V., Bustos Revol, S., Viotto, S., Clemente, J.P., Benitez, J.; Mari, N., Scavuzzo, C.M. y

- Argañaraz, J.P. (2-5 de diciembre de 2019). Elaboración de la base de datos de incendios 1987-2018 para las Sierras de Córdoba mediante imágenes Landsat [Ponencia]. IV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental. Buenos Aires, Argentina.
- Melchiori, E., y Mari, N. (septiembre de 2018). Generación de mapas de áreas quemadas a partir de imágenes Landsat 8 OLI y Sentinel 2 MSI [Conferencia]. X Congreso de AgroInformática (CAI), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- Morello, J., Matteucci, S. D., Rodríguez, A. F., Silva, M. E., Mesopotámica, P., y Llana, P. (2012). Ecorregiones y complejos Ecosistémicos de Argentina. Orientación Gráfica Editora.
- Oyarzabal, M., Clavijo, J., Oakley, L., Biganzoli, F., Tognetti, P., Barberis, I., Maturo, H. M., Aragón, R., Campanello, P. I., Prado, D., Oesterheld, M. y León, R. J. (2018). Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología austral*, 28(1), 40-63.
- Paruelo, J. M. (2008). La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Ecosistemas*, 17(3), 2008, 4-22.
- Paruelo, J. M. y Littera, P. (2019). El lugar de la naturaleza en la toma de decisiones. Servicios ecosistémicos y Ordenamiento Territorial Rural. Ediciones CICCUS.
- Portal de Conocimientos de ONU-SPIDER de la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre (s.f.). Índice Normalizado de Área Quemada (NBR). <https://un-spider.org/es/node/10959>
- QGIS Development Team. (2022). QGIS Geographic Information System (Version 3.22.9). Open Source Geospatial Foundation. <https://qgis.org>
- Sánchez, S., Grilli, M., Karlin, M., Fachinetti, R., y Ravelo, A. (2022). Determinación de regímenes de incendios y sequías usando información satelital y meteorológica para Córdoba, Argentina. *Agriscientia*, 39(1), 1-10.
- Secretaría de Gestión de Riesgo Climático, Catástrofes y Protección Civil (SGRCCyPC) e Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba (IDECOR) (2023). Áreas afectadas por incendios forestales 2022 en la provincia de Córdoba. <https://www.idecor.gob.ar/informes/areas-afectadas-por-incendios-forestales-2022/>
- Svampa, M. y Viale, E. (2020). El colapso ecológico ya llegó: Una brújula para salir del (mal) desarrollo. Siglo XXI editores.