



Estudio de Caso

Incendio de interfaz en
Balcarce, San Luis:
caracterización y
determinación de
severidad.

AUTORES:
LITWAK, MARIA MACARENA
PALERMO, VALENTINA MICAELA

COLABORADORES:
MARCUZZI, EZEQUIEL
REARTES, CECILIA

AFE | AGENCIA FEDERAL
DE EMERGENCIAS



Incendio de interfaz en Balcarce, San Luis: caracterización y determinación de severidad.

Autores: Litwak, Maria Macarena*; Palermo, Valentina Micaela*

Colaboradores: Reartes, Cecilia*; Marcuzzi, Ezequiel A.*

*Servicio Nacional de Manejo del Fuego. Agencia Federal de Emergencias. Ministerio de Seguridad Nacional.

Resumen

Este estudio caracterizó el incendio de interfaz en Balcarce, San Luis (septiembre 2024), que afectó 661 hectáreas. El objetivo general fue estimar la severidad ecológica mediante análisis meteorológico y teledetección (dNBR), validado en campo. Como análisis se puede destacar que las condiciones meteorológicas generaron un comportamiento de fuego extremo. Se concluyó que la propagación fue impulsada por la continuidad del combustible y la meteorología. Los resultados evidencian un impacto diferenciado: mortalidad del 100% del dosel arbóreo en zonas de alta severidad y aumento del suelo desnudo, lo que incrementa el riesgo de erosión. La resiliencia del estrato arbustivo es clave para la restauración post-incendio, siendo esta información fundamental para la gestión futura.

Introducción

Los incendios forestales son fenómenos naturales que representan uno de los desafíos más significativos en la gestión ambiental y la conservación de los ecosistemas en todo el mundo. En particular, aquellos que afectan zonas de interfaz urbano-forestal (IUF), generan impactos ambientales (naturales, sociales y económicos) significativos. Entre ellos se destacan la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo, la alteración de ciclos hidrológicos, la afectación de la salud humana, la destrucción de viviendas e infraestructura, y los costos elevados de recuperación (Moritz et al., 2012). El crecimiento urbano desordenado en ambientes naturales ha incrementado la exposición de personas y bienes a incendios, exigiendo enfoques de gestión más integrados (European Forest Institute [EFI], 2024).

Los incendios forestales son procesos complejos influenciados por múltiples factores como el tiempo atmosférico, la topografía, la vegetación y las actividades humanas (Pyne, 1997). Estos factores explican las causas y las características de la

propagación del fuego en una determinada zona.

La realización de estudios e investigaciones sobre incendios forestales es fundamental para identificar las causas, evaluar el impacto y sus consecuencias, y lograr una mayor comprensión de la dinámica de estos eventos. Además, estos estudios proporcionan información valiosa para diseñar estrategias efectivas de prevención, manejo y mitigación, contribuyendo a reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y las comunidades afectadas.

Dentro del análisis de incendios es fundamental comprender el concepto de severidad, que se refiere al grado de alteración que el fuego provoca en la vegetación y el suelo influenciados por la intensidad y la duración del evento (Keeney, 2006). Este término suele confundirse con el de intensidad, aunque expresan aspectos diferentes. La intensidad describe la cantidad de energía liberada durante la combustión, es decir, la fuerza con la que el fuego arde en el momento del evento. En cambio, la severidad se centra en las

consecuencias que permanecen una vez extinguidas el incendio, reflejando los efectos residuales y las transformaciones que el incendio deja en el ambiente (Chuvieco, 2003; Keeley, 2009).

La severidad, además, se ve influida por factores asociados como el tipo de cobertura vegetal, las características del suelo, los tiempos de rebrote de las especies y los impactos sociales relacionados con el uso del territorio.

En nuestro país, la “temporada de incendios”, es decir la época del año más favorable para la ocurrencia de incendios, varía de acuerdo a la región. Está determinada por el clima del lugar (estación seca). En la provincia de San Luis, la temporada de incendios se desarrolla normalmente desde finales del invierno, cuando las heladas y las bajas precipitaciones contribuyen a la disponibilidad del combustible fino, y se extiende hasta octubre, cuando las precipitaciones se incrementan nuevamente en la región.

Durante el desarrollo de la temporada 2024, un incendio forestal afectó un total de 661 ha. en el paraje Balcarce, departamento Chacabuco, provincia de San Luis. El evento se desarrolló entre el 18 y 26 de septiembre, presentando comportamiento extremo durante los primeros dos días, afectando un área de interfaz, lo que generó desafíos particulares para las tareas de control del fuego.

Dadas las características del evento, en este trabajo se propone caracterizar las condiciones en las que se desarrolló el incendio y evaluar la severidad del mismo integrando información de sensores remotos y relevamiento en terreno.



Figura 1. Avance de las llamas. Fuente: Natalia Brignone. BNC - SNMF

Para este trabajo se plantean los siguientes objetivos:

Objetivo general

Caracterizar el incendio forestal ocurrido en la provincia de San Luis, localidad de Cortaderas, mediante una metodología integral orientada a estimar su severidad.

Objetivos específicos

1. Realizar una descripción fitogeográfica y topográfica de la región y la influencia de estos factores en la propagación del fuego.
2. Caracterizar las condiciones meteorológicas bajo las que se desarrolló el incendio.
3. Estimar la severidad del incendio a través de herramientas satelitales y trabajo de campo, identificando los principales impactos ambientales y ecológicos derivados del incendio, con especial énfasis en la pérdida de

cobertura, densidad forestal y la alteración del hábitat natural.

Localización geográfica y delimitación del área de estudio

El paraje Balcarce se encuentra en el departamento Chacabuco, al noreste de la provincia de San Luis, Argentina. Está ubicado aproximadamente a 7 km al sur de la localidad de Cortaderas y a 5 km al norte de Villa Larca, sobre la Ruta Provincial N.º 1. Las coordenadas geográficas aproximadas de lugar son 32°33'37.34" de latitud sur y 65°02'14.51" de longitud oeste (Figura 2).

Balcarce forma parte de la jurisdicción de la Comisión Municipal de Cortaderas y se sitúa al pie de las Sierras de los Comechingones, en el sector oriental del Valle del Conlara.

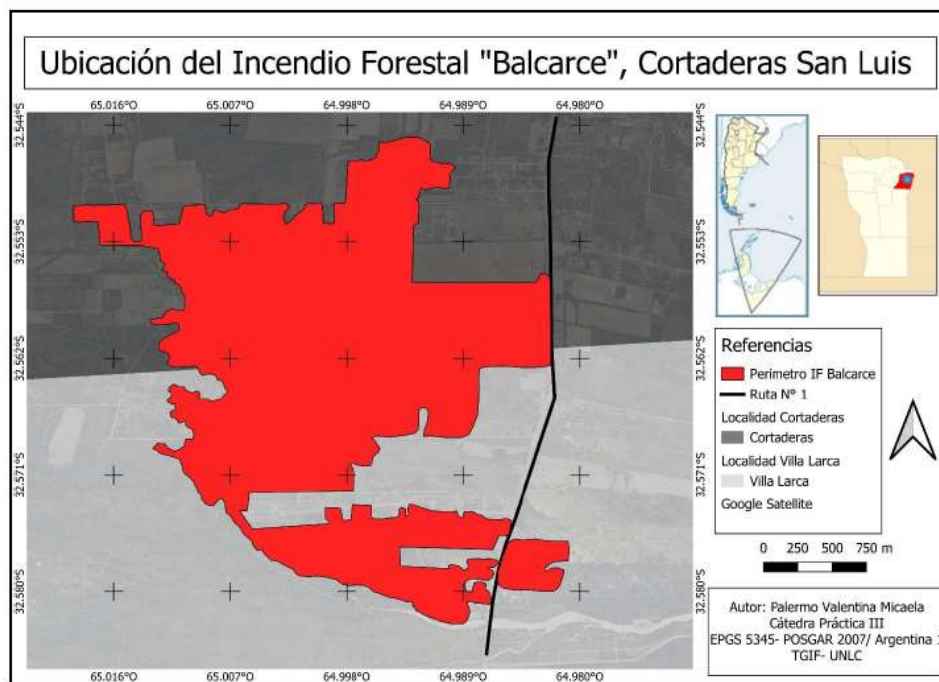


Figura 2. Ubicación del incendio. Fuente: de elaboración propia-Palermo Valentina.

Características fitogeográficas y topográficas

El área afectada por el incendio se encuentra dentro de la región fitogeográfica chaqueña, en la ecorregión del Chaco Seco, caracterizada por bosques xerófilos adaptados a condiciones áridas (Figura 3). Se trata de un monte bajo, con escasa presencia de árboles que superen los siete metros de altura y una notable predominancia de pastizales (Oyarzabal et. al. 2018).

En la zona se encuentran especies características como el espinillo (*Vachellia caven*), el algarrobo (*Ceratonia siliqua*), el

tala (*Celtis tala*), el romerillo colorado (*Acanthostyles buniifolius*), molle pispo (*Schinus sinuata*), Quiebrarao (*Heimia salicifolia*) y la palmera caranday (*Trithrinax campestris*), además de extensas áreas de gramíneas (*Poaceae sp.*).

La composición y distribución de esta vegetación favorecen la propagación de incendios. Los pastizales, al ofrecer combustibles finos y continuos, permiten rápida propagación del fuego en presencia de condiciones meteorológicas favorables. A su vez, especies como las palmeras, por su alto contenido químico e inflamabilidad, aumentan la peligrosidad y por lo tanto complican las tareas de control y extinción



Figura 3. Imagen representativa del mosaico de pastizales, matorrales y leñosas en el área de estudio. Fuente: Macarena Litwak BNC-SNMF.

El área de estudio, se sitúa en el piedemonte de los comechingones, un subsistema orográfico del centro-oeste de Argentina. La altitud varía entre 930 y 200 msnm aproximadamente. Hacia el oeste, se encuentran las zonas más bajas que albergan áreas urbanas, mientras que, por otro, se eleva una zona montañosa donde se llevan a cabo diversas actividades turísticas.

El área afectada por el incendio no presenta pendientes pronunciadas ni características topográficas muy marcadas que

favorecieran la propagación del fuego. Sin embargo, es importante destacar que la localidad de Cortaderas se encuentra a aproximadamente 930 metros sobre el nivel del mar (msnm), mientras que la localidad de Villa Larca está situada a unos 1,046 msnm.

Cronología del evento y tareas de control

El incendio “Balcarce” se inició el 18 de septiembre, en la localidad de Cortaderas (San Luis) y afectó un área total de 661 hectáreas, hasta las 20 horas del día siguiente. Se trató de un incendio de interfaz urbano-forestal, lo que incrementó el riesgo para las comunidades cercanas. Como consecuencia, se perdieron dos viviendas, más de 100 hogares estuvieron amenazados y fue necesario evacuar personas por seguridad.

La primera respuesta estuvo a cargo de los bomberos voluntarios de Cortaderas, quienes asumieron el mando hasta la llegada de la Dirección de Prevención y Gestión de la Emergencia provincial. Esa misma noche se sumaron cuarteles de Merlo, Carpintería, Villa Larca y Los Molles, junto con Bomberos de la Policía y la Brigada Nacional Centro del SNMF. En los días siguientes participaron también Papagayos, Villa del Carmen y Santa Rosa del Conlara, además de los municipios, Defensa Civil y Vialidad Provincial, que brindaron apoyo logístico y en el control del tránsito.

Durante los dos primeros días (18 y 19), se aplicó principalmente ataque directo, utilizando autobombas y camionetas con kits forestales, bombas de espalda, chicotes y quemas de ensanche como herramienta auxiliar. Luego, las acciones se concentraron en realizar tareas de liquidación, con agua y herramientas manuales para asegurar los focos residuales.

El día 18 la propagación del incendio fue en dirección norte/noreste-sur/sudeste, mientras que el 19, la dirección fue principalmente oeste-este, lo que pudo determinarse a partir de la cronología de focos de calor detectados de manera remota. Esta información proviene de los sensores MODIS y VIIRS, a bordo de los satélites de órbita polar Terra y Aqua y del grupo de satélites Suomi NPP (SNPP), JPSS-1 (NOAA-20) y JPSS-2 (NOAA-21) respectivamente.

Finalmente, el incendio fue contenido el 19 de septiembre, alrededor de las 20 horas. Luego se mantuvo bajo vigilancia hasta declararlo controlado y, finalmente, extinguido el 26 de septiembre.

Datos y metodología

Análisis de condiciones meteorológicas previas y durante el incendio

Para el análisis de las condiciones meteorológicas se utilizaron datos de temperatura, humedad relativa y viento de las estaciones Villa Dolores (Córdoba), Santa Rosa de Conlara (San Luis) y los radiosondeos realizados en el aeropuerto de la ciudad de Córdoba. Estas estaciones pertenecen a la red del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Además, se tomaron datos de la estación Villa Larca, Merlo y Merlo Alto que pertenecen a red de estaciones de la provincia de San Luis (REM) (Figura 4).

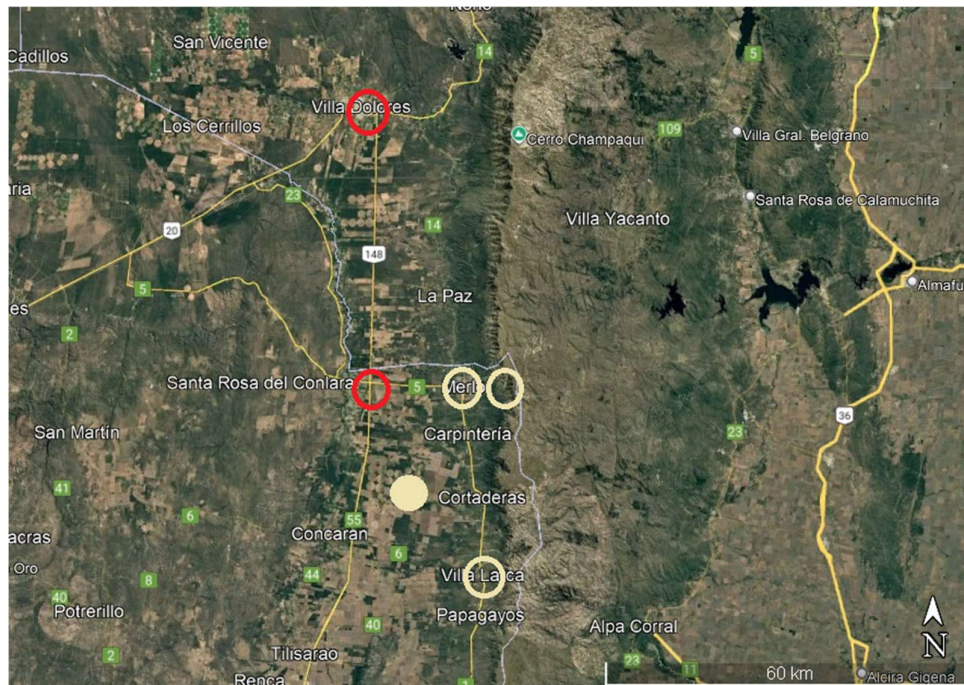


Figura 4. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la red del SMN (rojo) y REM(Amarillo) utilizadas y localización del área afectada por el fuego (naranja). Fuente: de elaboración propia en base a Google Earth.

Para las condiciones durante el incendio, se analizaron, además, imágenes satelitales GOES-16 y campos de análisis de geopotencial de 1000 y 500 hpa con modelo ETA-SMN.

Además, se analizaron los datos de índices de peligro del subsistema meteorológico FWI (Fire Weather Index, por sus siglas en inglés) calculados a partir de las estaciones meteorológicas de la red del SMN y la de Villa Larca. Los valores alcanzados se compararon con umbrales de comportamiento documentados en bibliografía (Van Wagner, C.E. (1987); Stocks, B.J., Alexander, M.E., Van Wagner, C.E. et al. (1989); Wotton, B.M. (2009); Taylor, S.W., & Alexander, M.E. (2006)).

Para completar el análisis se solicitaron al SMN, las alertas oficiales emitidos para los días 17 al 19 de septiembre de 2024 y los pronósticos especiales para incendios forestales emitidos por el Servicio Nacional de Manejo del Fuego (SNMF) y SMN.

Estimación de la severidad del incendio

El índice Normalizado de Área Quemada (NBR) es una herramienta diseñada para identificar y resaltar las áreas afectadas por incendios en grandes extensiones territoriales. Este índice combina información obtenida en las bandas de infrarrojo cercano (NIR) y de infrarrojo de onda corta (SWIR), permitiendo evaluar la severidad del daño causado por el incendio. Para la estimación de la severidad del incendio forestal en la zona de Balcarce, se utilizaron imágenes satelitales Sentinel-2, las cuales cuentan con una resolución espacial de 10 metros. Se seleccionaron dos fechas específicas: una imagen del 3 de septiembre de 2024, previo al incendio y otra del 28 de septiembre de 2024, posterior al evento. Las bandas utilizadas para el cálculo del NBR fueron la banda 8 (infrarrojo cercano, NIR) y la banda 12 (infrarrojo de onda corta, SWIR). Fuente de datos: <https://dataspace.copernicus.eu/>.

El índice NBR pre y post incendio, se obtuvo de la siguiente manera:

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

$$(\text{NIR} + \text{SWIR})$$

Posteriormente, para evaluar la severidad del daño provocado por el incendio se obtuvo el índice dNBR mediante la diferencia entre ambos valores:

$$\text{dNBR} = \text{NBR}_{\text{pre}} - \text{NBR}_{\text{post}}$$

Luego, para la clasificación de la severidad, el dNBR fue clasificado en cuatro categorías de severidad de la siguiente manera basada en datos de UN-SPIDER:

- No quemado: -1,000 y 0,100
- Severidad baja: 0,101 y 0,270
- Severidad media: 0,271 y 0,660
- Severidad alta: 0,661 y 1,300

De esta manera se logró determinar las diferentes zonas según su nivel de afectación, permitiendo una interpretación visual de la severidad del área quemada.

A partir de esta información se delimitaron las unidades de muestreo a campo para la posterior validación de la información obtenida.

Se delimitaron unidades de muestreo representativas para cada uno de los cuatro niveles de severidad identificados. Para cada categoría de severidad, se seleccionaron tres unidades de muestreo en zonas representativas del área de estudio, asegurando así una adecuada cobertura y representatividad.

En cada unidad de muestreo, se tomaron cuatro fotografías, orientadas en los siguientes sentidos: 0°, 90°, 180° y 270°, siguiendo siempre los puntos cardinales Norte, Este, Sur y Oeste, respectivamente. Dado que la vegetación había experimentado un crecimiento importante al momento del muestreo, se empleó la metodología de línea de intercepción.

Análisis de cobertura y densidad de árboles y renuevos según la severidad

Para validar los resultados obtenidos de manera remota, se llevaron a cabo muestreos de la cobertura vegetal en la zona afectada, utilizando el método de línea de intercepción. En cada punto de muestreo se realizó el siguiente procedimiento:

- Evaluación visual de la cobertura vegetal: se trazó una transecta de 25 metros de longitud, orientada de norte a sur, de manera fija en todas las unidades de muestreo (ver figura 5). Cada 0,5 metros, se marcó la proyección visual de la vegetación viva en los diferentes estratos. Posteriormente, se promediaron los datos observados en cada punto de muestreo para determinar el porcentaje de cobertura de cada estrato vegetal. Para facilitar la interpretación, se elaboraron gráficos que representan estos porcentajes.
- Estimación de la densidad de vegetación arbórea (viva y muerta) en pie: en cada transecta, se proyectó una parcela denominada A, de 25 m x 20 m (500 m²), con el fin de estimar la densidad de árboles vivos y muertos. Dentro de esta parcela, se contabilizaron las especies arbóreas, identificando las que estaban vivas y las muertas, se tomaron fotografías para respaldo visual y se calcularon promedios según cada categoría.
- Estimación de la densidad de la vegetación arbustiva (viva y muerta): en las mismas transectas, se proyectó una parcela denominada B, de 25 m x 2 m (50 m²), para estimar la densidad de arbustos vivos y muertos. En esta área, se contabilizaron los arbustos, se identificaron las especies observadas, se documentaron

mediante fotografías y se calcularon los promedios correspondientes para cada categoría.

- Este enfoque metodológico permitió obtener datos cuantitativos que sirven para validar y complementar la información de dNBR, facilitando una interpretación más precisa del estado de la vegetación en las áreas afectadas por el incendio.

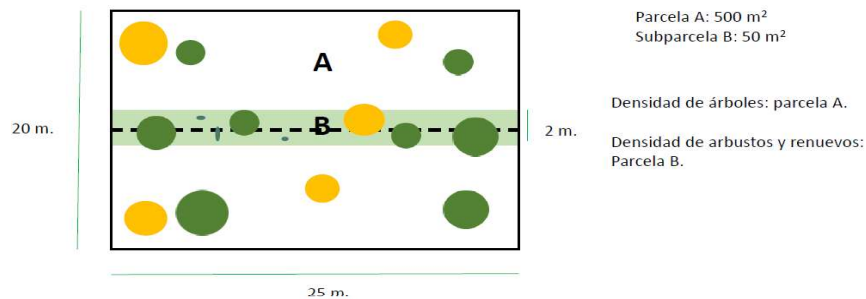


Figura 5. Parcela de muestreo utilizada para el método de intercepción lineal. Fuente: Cátedra de Análisis y Restauración de Impactos. UNLC

Resultados

Condiciones meteorológicas e índices de peligro:

En la zona de estudio, la temporada de incendios abarca desde los últimos meses de invierno a los primeros meses de la primavera. Esta condición media, se puede observar a partir de 15 años (2008-2023) de datos tomados de la estación Merlo, donde se advierte una estación seca con precipitaciones por debajo de los 10 mm en los meses de junio a agosto, con aumento de las temperaturas a partir de Julio (Figura). Esta condición, sumada a la ocurrencia de heladas, provoca una gran disponibilidad de combustible para arder. Mientras más se extienda este período seco, mayores serán las condiciones de peligro.

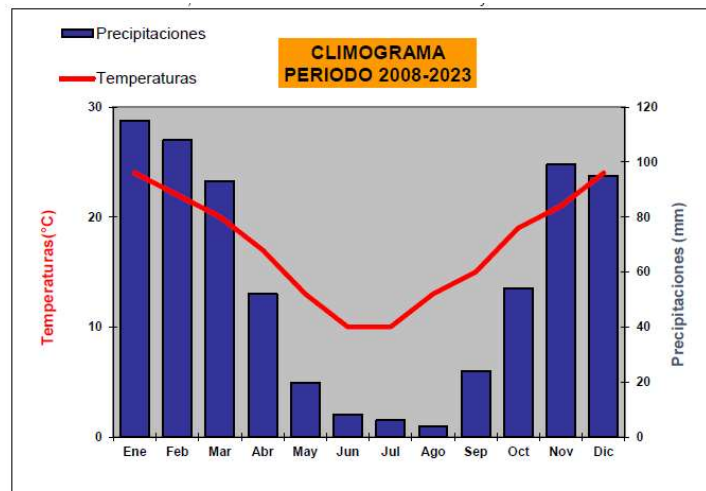


Figura 6. Climograma de Merlo, San Luis. Fuente: de elaboración propia-Palermo Valentina

Durante el mes de septiembre las precipitaciones fueron de 0.7 mm, registradas el día 13 en la zona del incendio, según los datos de la estación Villa Larca. Este monto, afectó solamente la humedad del combustible fino, pero no modificó el incremento de las condiciones de peligro asociadas a la disponibilidad de combustibles muertos medios y gruesos para arder (BUI). En Santa Rosa de Conlara y Villa Dolores no se registraron precipitaciones.

Día 18:

Un sistema de baja presión sobre el noroeste del país, sumado a un centro de alta presión en el océano Atlántico provocaron viento del sector norte con velocidades máximas de 29,1km/h con predominio del noreste sobre la zona del incendio (Tabla 1), lo que provocó una propagación en dirección principal noreste-sudoeste (Figura).

La zona se encontraba bajo alerta meteorológico por vientos intensos del sector norte desde el día anterior. Se preveía viento del sector norte 40 a 55 km/h con ráfagas mayores a 70 km/h.

La temperatura máxima horaria en Santa Rosa de Conlara alcanzó los 32.7 °C a las 19 hs., en Villa Dolores fue de 33 °C a las 17 hs.

y también superó los 30 °C en Villa Larca. El viento máximo en el primer sitio alcanzó los 33,3 km/h del norte/noroeste a las 14 hs.

Los índices calculados a las 12 hs. a partir de esta última estación fueron los siguientes:

- ISI: 13,4 (este valor implica elevada velocidad de propagación)
- BUI: 135,3 (este valor implica importantes dificultades en las tareas de control por elevada disponibilidad de combustible medio y grueso para arder)
- FWI: 43,1 (comportamiento extremo)

Día 19:

La aproximación de un frente frío dio lugar a la rotación del viento al sector oeste. Esta jornada, la región se mantuvo bajo alerta por vientos intensos del sector oeste, estimando velocidades entre 40 y 55 km/h con ráfagas superiores a 70 km/h. Esta situación además era advertida en el pronóstico especial para incendios forestales emitido este día por el SNMF y SMN. Las mayores velocidades de viento se registraron en Villa Dolores con 59,2 km/h del norte. Luego, en la mañana del 19, a partir de las 9 horas el viento rotó al sector oeste coincidentemente con lo registrado en Merlo Alto. La propagación del incendio fue oeste-este (Figura 7).

En la estación de Villa Larca, la más cercana al incendio, que se encuentra por encima de los 1000 mts. de altura, los valores de humedad relativa se mantuvieron por debajo del 10 % desde las 12 hasta las 18 hs. con un mínimo de 5.1 % a las 16 hs., coincidente con la mayor temperatura que fue de 26.7 °C (Tabla 1). Los valores de humedad en Santa Rosa de Conlara registraron 7 % entre las 16 y 18 hs con una temperatura de 29 °C.

Los índices para esta jornada fueron los siguientes:

- ISI: 15,2 (este valor implica elevada velocidad de propagación)
- BUI: 138,9 (este valor implica importantes dificultades en las tareas de control por elevada disponibilidad de combustible medio y grueso para arder)
- FWI: 47,1 (comportamiento extremo)

Los códigos de humedad del combustible fino (FFMC) registrados en Santa Rosa de Conlara, para los días 18 y 19 fueron de 92,9 y 94,3, mientras que en Villa Dolores fueron de 94,1 y 95,1, valores extremos que implican elevada facilidad de ignición y probabilidad de focos secundarios.

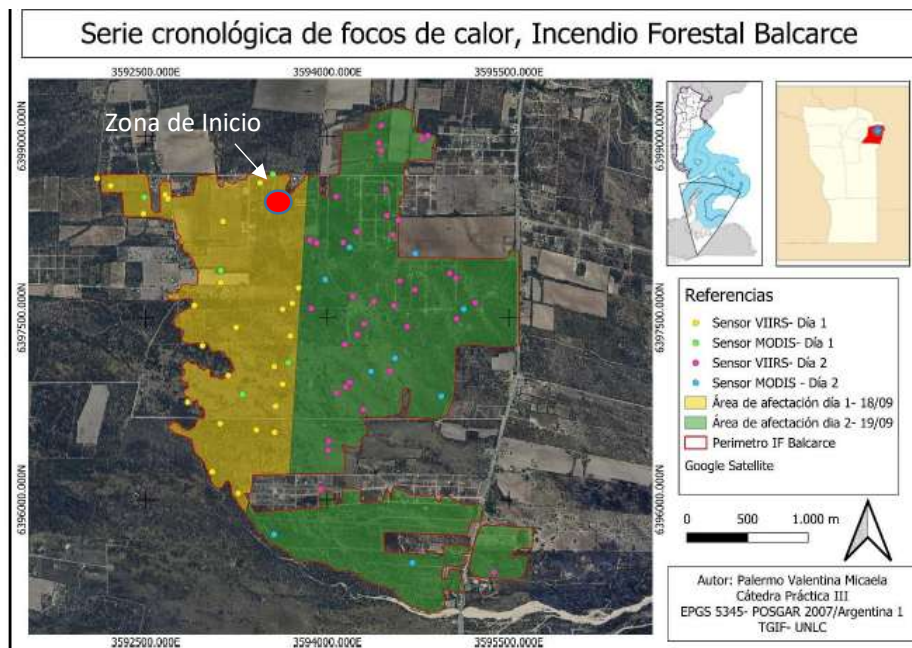


Figura 7- Cronología de focos de calor detectados por los sensores MODIS y VIIRS y área afectada por día. Fuente: de elaboración propia en base a <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>

Tabla 1. Datos meteorológicos del día 18 y 19 de septiembre (fase activa del incendio). Datos de temperatura y humedad extraídos de la REM de Villa Larca, dato de viento extraído de la REM de Merlo Alto.

Fecha	Hora	Viento	Dirección	Temperatura	Humedad
18/09/2024	19:00	25,9 km/h	EpN	23,8°C	32,2%
18/09/2024	20:00	26,6 km/h	EpS	22,9°C	31,2%
18/09/2024	21:00	28,8 km/h	E	21,7°C	34,8%
18/09/2024	22:00	27 km/h	ENE	21,7°C	34,1%
18/09/2024	23:00	29,1 km/h	ENE	22,1°C	32,5%
19/09/2024	00:00	27,3 km/h	EpN	22°C	33%
19/09/2024	01:00	20,8 km/h	ENE	21,7°C	34,1%
19/09/2024	02:00	10,8 km/h	NEpN	21,6°C	34,7%
19/09/2024	03:00	14,4 km/h	NNE	23,2°C	34,6%
19/09/2024	04:00	20,5 km/h	NNE	23,4°C	37,6%
19/09/2024	05:00	22,3 km/h	NNE	21,9°C	50%
19/09/2024	06:00	18,3 km/h	NNE	20,9°C	55,5%
19/09/2024	07:00	18,3 km/h	NpN	20,3°C	58,7%
19/09/2024	08:00	18 km/h	NpN	19,7°C	57%
19/09/2024	09:00	14,7 km/h	NO	20,1°C	46,7%
19/09/2024	10:00	12,9 km/h	NOpN	21,9°C	21,4%
19/09/2024	11:00	10,8 km/h	ONO	22,3°C	11,5%
19/09/2024	12:00	7,2 km/h	O	23,1°C	8,3%
19/09/2024	13:00	7,2 km/h	OpN	24,2°C	6,9%
19/09/2024	14:00	11,1 km/h	NOpO	25°C	6,2%
19/09/2024	15:00	7,9 km/h	NO	25,6°C	6,4%
19/09/2024	16:00	7,2 km/h	ONO	26,4°C	5,1%
19/09/2024	17:00	2,5 km/h	NOpO	25,7°C	5,8%
19/09/2024	18:00	3,2 km/h	NO	23,4°C	9,7%
19/09/2024	19:00	0,72 km/h	NEpE	19,1°C	12,5%
19/09/2024	20:00	7,56 km/h	SE	18,3°C	13,6%
19/09/2024	21:00	8,28 km/h	SEpS	18,3°C	15,2%
19/09/2024	22:00	6,84 km/h	SSE	17,8°C	15,7%
19/09/2024	23:00	4,32 km/h	SE	17°C	16,7%

Esta marcada disminución de la humedad previo al ingreso del frente frío también pudo observarse a través del radiosondeo de las 9 hs. de ese día en el aeropuerto de la ciudad de Córdoba (Figura 8). Esta situación además tuvo relación con el evento de viento zonda que se registró sobre el oeste del país.

Los valores de humedad comenzaron a recuperarse a partir de las 19 hs., el viento rotó al sudeste y las temperaturas descendieron, momento que coincide con el detenimiento en el avance de las llamas y la declaración del incendio como “contenido”.

Station 87344 at 12 UTC 19 Sep 2025
CORDOBA AERO, ARGENTINA

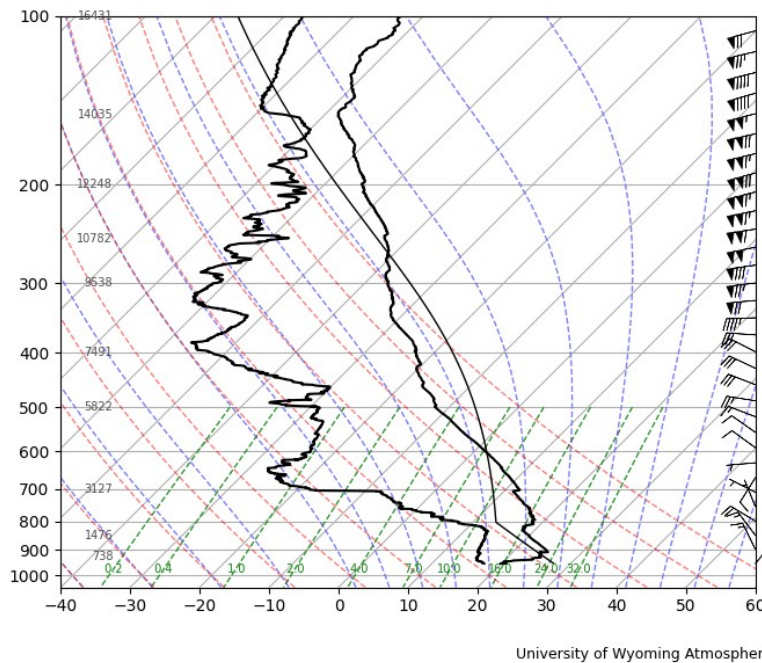


Figura 8. Radiosondeo del aeropuerto de la ciudad de Córdoba en el que se observa un importante secamiento a partir de los 700mts. de altura aproximadamente Fuente: <https://weather.uwyo.edu>

Estimación de severidad del incendio

El mapa de severidad del incendio forestal Balcarce (18 al 26 de septiembre de 2024) evidencia el grado de impacto del fuego sobre la vegetación dentro del área afectada (Figura 9). La clasificación muestra un predominio de severidad media, especialmente en el sector central del perímetro y hacia los bordes, donde el fuego generó pérdida de biomasa y alteración de la estructura vegetal.

En contraste, se identifican zonas de severidad baja distribuidas de manera fragmentada, probablemente asociadas a

menor carga de combustible, discontinuidad del paisaje o condiciones ambientales que limitaron la propagación. También se observan sectores no quemados que funcionaron como refugios biológicos y serán clave para la regeneración natural del ecosistema.

Aunque de superficie reducida, se detectaron tres parches de alta severidad. Estos sectores concentran el mayor impacto ecológico y requieren atención prioritaria en las acciones de restauración y manejo post-incendio debido a la posible degradación del suelo y pérdida total de cobertura vegetal.

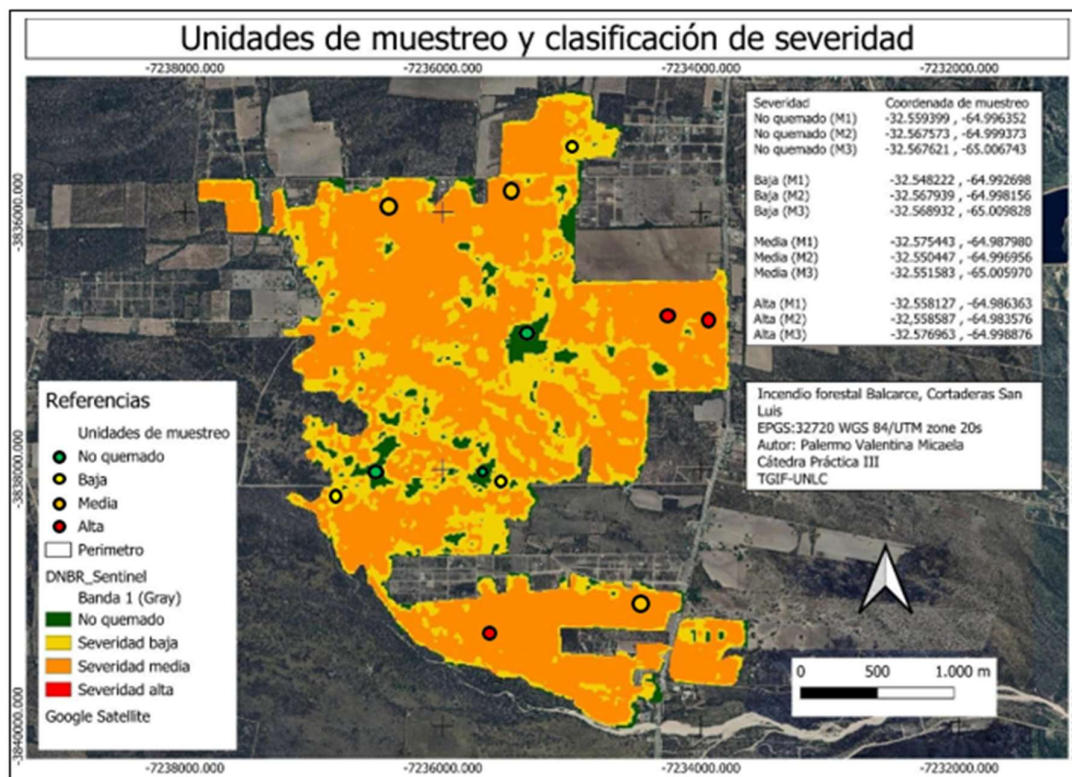


Figura 9. Severidad del incendio y unidades de muestreo. Fuente: de elaboración propia- Palermo Valentina

Análisis de cobertura y densidad de vegetación según severidad del incendio

El análisis de la cobertura vegetal en función de la severidad del incendio que se muestra en la Tabla 2. Este permitió caracterizar el estado estructural de la vegetación en el área de estudio. En las zonas no quemadas, la cobertura fue alta y equilibrada: el estrato herbáceo alcanzó el 100% y los arbustos el 98%, mientras que la cobertura arbórea presentó valores moderados (55% para árboles de 3 a 7 metros y 49% para árboles mayores). Esta condición refleja un ecosistema estable, sin perturbaciones recientes.

En sectores de baja severidad, el impacto del fuego fue limitado. La pérdida de cobertura fue mínima (3,3% de suelo desnudo) y el estrato herbáceo se mantuvo dominante (96,7%). Aunque se registró una leve disminución de arbustos y árboles, la

estructura vegetal conservó su funcionalidad y evidencia un proceso de recuperación activo.

Las áreas de severidad media mostraron una mayor alteración: el suelo desnudo aumentó al 32% y la cobertura herbácea descendió al 68%. La vegetación leñosa también resultó afectada, con una reducción notable de árboles adultos, aunque persiste la presencia de arbustos y renovales, lo cual indica capacidad de regeneración.

En zonas de alta severidad, el impacto ecológico fue profundo. Más del 58% del suelo quedó expuesto y la cobertura vegetal se redujo drásticamente en todos los estratos. Tanto arbustos como herbáceas mostraron valores bajos (41% y 34%, respectivamente), evidenciando condiciones iniciales de recuperación y alto riesgo de erosión.

Tabla 2. Porcentaje de cobertura en función de la severidad del incendio.

Severidad	Suelo desnudo	Herbáceas	Arbustos	Árboles 3-7 m	Árboles + 7 m
No quemado	0%	100%	98%	55,33%	49,33%
Baja	3,33%	96,67%	38%	45,33%	0%
Media	32%	68%	62%	11,33%	0%
Alta	58,67%	41,33%	34,67%	29,33%	0%



Figura 10. Fotografías representativas de las zonas afectadas por el incendio. De izquierda a derecha, severidad baja, media y alta. Fuente: Valentina Palermo y Macarena Litwak, BNC-SNMF.

Análisis de densidad de árboles y arbustos según la severidad del incendio

El análisis de densidad de árboles y arbustos refuerza este patrón. La densidad de árboles vivos disminuye abruptamente con el aumento de la severidad, pasando de 846 individuos por hectárea en zonas no quemadas a cero en sectores de alta severidad, como se observa en la Figura . De igual forma, aumenta la cantidad de árboles muertos, reflejando el colapso del estrato arbóreo. En contraste, los arbustos muestran mayor resiliencia: si bien su densidad disminuye con la severidad, permanecen presentes incluso en las áreas más afectadas, lo que indica su rol clave en los procesos iniciales de recuperación ecológica.

La comparación entre los resultados de campo y la estimación satelital mediante dNBR evidenció una alta correspondencia entre ambos métodos. La integración de análisis de sensores remotos con validación en terreno permitió verificar la clasificación de severidad y fortalecer la interpretación de los patrones espaciales del impacto del fuego.



Figura 11. Densidad de árboles muertos y vivos (Izquierda) y densidad de arbustos muertos y vivos (derecha). Fuente: de elaboración propia.

Conclusiones

A partir de los datos presentados se puede concluir que la composición y distribución de la vegetación en la zona de estudio favorecieron la propagación de incendios. Los pastizales de cobertura continua, permitieron una rápida propagación del fuego en presencia de condiciones meteorológicas favorables, lo que junto a especies inflamables por su elevado contenido químico como las palmeras dificultaron las tareas de control.

Las condiciones meteorológicas registradas durante los primeros dos días en los que se desarrolló el incendio, marcadas por la falta de precipitaciones y temperaturas elevadas, enmarcadas en el ingreso de un frente frío, denotaron que el peligro fuera extremo, lo que se reflejó tanto en los indicadores de disponibilidad de combustible muerto para arder, como en los valores extremos de FWI alcanzados (asociados a la intensidad de línea en el frente de llama). Además, las variables registradas por las estaciones más próximas al incendio revelaron la influencia

de una marcada disminución de la humedad relativa, asociada a la situación meteorológica sinóptica de la ocurrencia de un importante viento zonda en la zona de Cuyo. Esta condición pudo haber tenido relación con la mayor severidad alcanzada en sectores durante el día 19.

Por otro lado, se observó una importante relación entre la dirección del viento registrada en Merlo Alto y el sentido de avance de propagación del fuego, aunque las mayores velocidades se registraron en Villa Dolores, al norte de la zona del incendio.

En cuanto al análisis de severidad y sus diferentes niveles, se logró caracterizar su impacto ecológico mediante la integración del análisis de sensores remotos, relevamientos de campo y métodos cuantitativos de evaluación de vegetación. Los resultados evidencian un efecto diferenciado del fuego sobre la estructura y composición de la vegetación.

La cobertura vegetal disminuyó asociado al aumento de la severidad del incendio, con mayor afectación en el estrato arbóreo. En las zonas de severidad alta, la mortalidad de árboles alcanzó el 100%, lo que indica un colapso total del dosel y pérdida de estructura vertical. En cambio, el estrato arbustivo mostró mayor resiliencia ecológica, el cual registró altos niveles de supervivencia y regeneración por rebrote, incluso en sectores con daño medio y alto. El estrato herbáceo también evidenció capacidad de recuperación temprana, especialmente en áreas de severidad baja y media, donde cumplió un rol clave en la protección del suelo y en la estabilización posfuego.

Uno de los efectos más significativos fue el incremento del suelo desnudo en los sectores más afectados. Este fenómeno representa un riesgo importante para la integridad del ecosistema, ya que favorece

procesos de erosión eólica e hídrica y pérdida de nutrientes, comprometiendo la recuperación natural a mediano plazo.

Las metodologías aplicadas resultaron complementarias y efectivas para estimar el daño ecológico y su variabilidad espacial. Estas herramientas permitieron cuantificar los cambios en la vegetación y aportar resultados para planificar acciones de restauración, evaluar riesgos posteriores al incendio y orientar estrategias de manejo adaptativo en áreas afectadas.

Finalmente, en conjunto, el análisis espacial confirma que la dinámica del incendio estuvo fuertemente condicionada por la disponibilidad y continuidad del combustible, así como por factores meteorológicos. Esta información resulta esencial para planificar estrategias de rehabilitación del área afectada y mejorar las acciones de prevención y respuesta ante futuros eventos.

BIBLIOGRAFÍA

Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Tercera edición revisada. Editora Ediciones Rialp S.A. 27 pp.

Chuvieco, E. (2003). *Wildland fire danger estimation and mapping: The role of remote sensing data*. Springer.

European Forest Institute. (2024). *PPRIF: Prevención y preparación frente al riesgo de incendios forestales*. https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2024/PPRIF_2024_ES.pdf

Hayhoe, K. (2012) Climate change and disruption to global fire activity. *Ecosphere* , 3, 1–22.

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.

Moritz, M.A.; Parisien, M.A.; Batllori, E.; Krawchuk, M.A.; Van Dorn, J.; Ganz, D.J.; 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. doi: 10.25260/EA.18.28.1.0.399.

Pyne, S. J. (1997). *Fire in America: A cultural history of wildland and rural fire*. University of Washington Press.

Stocks, B.J., Alexander, M.E., Van Wagner, C.E. et al. (1989). *The Canadian Forest Fire Danger Rating System: An overview*. *Forestry Chronicle*, 65(6): 450–457.

Taylor, S.W., & Alexander, M.E. (2006). *Science, technology, and human factors in fire danger rating: the Canadian experience*. *International Journal of Wildland Fire*, 15(1): 121–135.

Universidad Nacional de Los Comechingones. (s.f.). *Metodología 2: Método de línea de intercepción — Vegetación viva. Cátedra Práctica III y Análisis y Restauración de Impactos de la Tecnicatura en Gestión Integral de Incendios Forestales*.

Van Wagner, C.E. (1987). *Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report 35, Ottawa, Ontario.

Wotton, B.M. (2009). *Interpreting and using outputs from the Canadian Forest Fire Danger Rating System in research applications*. *Environmental and Ecological Statistics*, 16(2): 107–131.

ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS TOMADAS DE LAS UNIDADES DE MUESTREO SEGÚN SEVERIDAD DEL INCENDIO

No quemado



Unidad de muestreo N° 1

Rumbo Este

Coordenadas: -32.559399, -64.996352



Unidad de muestreo N° 2

Rumbo Norte

Coordenadas: -32.568088, -65.000222



Unidad de muestreo N° 3

Rumbo Sur

Coordenadas: -32.567621, -65.006743

Ilustración A.1.1: Unidades de muestreo clasificados como no quemados. Se observa una vegetación de tipo arbustiva y herbácea, con varios arbustos dispersos y algunos árboles pequeños. Las especies observadas corresponden a Molle pisco, Tala, Espinillo y gramíneas (predominando los géneros Jarava, Nasselia, Setarea, etc). Fotografías: Macarena Litwak y Valentina Palermo.

Severidad baja



Unidad de muestreo N° 1
Rumbo Sur
Coordenadas: -32.549258,-64.993470



Unidad de muestreo N° 2
Rumbo Oeste
Coordenadas: -32.567847,-64.997728



Unidad de muestreo N° 3
Rumbo Sur
Coordenadas: -32567937,-65.009394

Ilustración A.1.2: Unidades de muestreo clasificadas como severidad baja. Las imágenes ilustran áreas en proceso de recuperación tras un impacto de severidad baja, donde la vegetación muestra signos de regeneración y estabilidad, con poca exposición del suelo y una estructura vegetal en progreso de recuperación. Fotografías: Macarena Litwak y Valentina Palermo.

Severidad media



Unidad de muestreo N° 1

Rumbo Este Sur Este

Coordenadas: -32.575147, -64.988263



Unidad de muestreo N° 2

Rumbo Sur

Coordenadas: -32.550453, -64.996942



Unidad de muestreo N° 3

Rumbo Sur

Coordenadas: -32.551583, -65.005970

Ilustración A.1.3: Unidades de muestreo clasificadas como severidad media. Las imágenes muestran un área en proceso de recuperación tras un incendio de severidad media, con signos de regeneración en la vegetación arbustiva y arbórea, aunque aún persisten daños en la estructura vegetal y en la cobertura del suelo. Se observan especies como Palmera Caranday (altamente inflamable), Quiebrarao y Tala. Fotografías: Macarena Litwak y Valentina Palermo.

Severidad alta



Unidad de muestreo N° 1
Rumbo Sur
Coordenadas: -32.557953, -64.986297



Unidad de muestreo N° 2
Rumbo Norte
Coordenadas: -32.558513, -64.983578



Unidad de muestreo N° 3
Rumbo Norte
Coordenadas: -32.577112, -64.998900

Ilustración A.1.4: Unidades de muestreo clasificadas como severidad alta. Las imágenes muestran un área gravemente afectada por un incendio, con una significativa pérdida de vegetación y gran cantidad de suelo desnudo. La recuperación vegetal es limitada, con pocos arbustos y árboles en fase inicial de regeneración, evidenciando un impacto profundo en la estructura del ecosistema. Fotografías: Macarena Litwak y Valentina Palermo.

ANEXO 2: REGENERACIÓN VEGETAL

La regeneración vegetal tras un incendio forestal está estrechamente vinculada al nivel de severidad del evento, entendida esta última como el grado de alteración ecológica provocado por el paso del fuego. A diferencia de la intensidad, que se refiere a la energía liberada durante la combustión, la severidad condiciona fuertemente tanto la estructura como la composición de la vegetación remanente y regenerada (Viana-Soto, Aguado & Martínez, 2017).

En el incendio analizado se observa que la regeneración presenta características variables según el nivel de severidad de cada sector y la regeneración a corto plazo fue más lenta cuando el nivel de severidad del fuego era más alto. En general, se destaca una importante recuperación de la cobertura vegetal en áreas donde la severidad fue baja o media lo que señala un ecosistema que, si bien fue afectado, conserva una estructura vegetal capaz de iniciar procesos de regeneración desde estructuras sobrevivientes. Estas observaciones reflejan que la severidad post-fuego condiciona fuertemente tanto la estructura como la composición de la vegetación remanente y regenerada. En el caso de áreas con severidad moderada, la regeneración detectada en el terreno, especialmente en los estratos herbáceos y arbustivos, se debe en gran medida a mecanismos de rebrote desde estructuras subterráneas protegidas y a la capacidad de recuperación de especies adaptadas al fuego (Blanco-Rodríguez et al., 2023).

Las imágenes muestran de forma clara la evolución del sitio afectado por el incendio. En la primera fotografía, tomada inmediatamente después del evento, se observa una pérdida casi total de la cobertura vegetal, con suelos expuestos y restos carbonizados que evidencian una severidad de fuego media a alta en sectores puntuales. La vegetación arbustiva y herbácea aparece consumida casi por completo, quedando solo algunos individuos aislados con capacidad de rebrote.

En la segunda imagen, registrada ocho meses más tarde, se aprecia una notable recuperación de la cobertura vegetal, dominada por rebrotes de especies herbáceas y arbustivas provenientes de estructuras subterráneas protegidas del calor. Este proceso de regeneración refleja la resiliencia del ecosistema y confirma que, en áreas donde la severidad fue baja o moderada, la vegetación nativa conserva su capacidad de recuperación natural a través de mecanismos de rebrote y recolonización temprana.



Ilustración A.2.1: Izquierda: fotografía capturada el 30/08/2024. Derecha: fotografía capturada el 30/04/2025. Gentileza de: Alexis Lezcano.