



## IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE ÁREAS QUEMADAS EN PLANTACIONES FORESTALES POR MEDIO DE SENSORES REMOTOS EN LA ZONA NORTE DE MISIONES

Martin O. ORONA<sup>1</sup>, Gustavo A. MASLOWSKI<sup>1</sup>, Rubén C. CINAUSKI<sup>1</sup>, Andres. A. L. LINDAO<sup>1,2</sup>

### RESUMEN

El siguiente trabajo se llevó a cabo en la zona norte de la provincia de Misiones, en rodales de *Pinus spp.* que han sido afectados por incendios durante enero del año 2022. Dichos rodales son analizados a partir de imágenes satelitales Sentinel 2 (S2A) e imágenes de dron (DJI - *Phantom 3 pro*). Los objetivos de este trabajo fueron la identificación de áreas afectadas por incendios a partir del análisis visual de imágenes de alta resolución generada por dron complementadas con la realización de un índice de quema normalizada por medio de imágenes satelitales Sentinel 2 (S2A) y comparar sus resultados. Las metodologías de análisis utilizadas han demostrado ser efectivas al momento de la identificación de las áreas afectadas, pero en el caso de las imágenes obtenidas por medio del dron no es posible diferenciar el grado de afectación (severidad) del incendio en los lotes. Por otro lado, el cálculo del índice nos permite identificar y diferenciar de manera efectiva la severidad de los incendios, aunque no descartamos la necesidad de una visita y posterior constatación a campo para aportar mayor solidez a los resultados obtenidos.

**Palabras clave:** *drones, satélites, Pinus spp., índice de quema normalizada – NBR*

### 1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales se definen como fuegos, ya sean de origen natural o antrópico, que se producen en ecosistemas terrestres y se propagan a través de la vegetación, afectando tanto a bosques naturales como a plantaciones (Pausas, 2020). Estos incendios se clasifican principalmente en dos tipos: los incendios de superficie, que se desarrollan en el material combustible que se encuentra justo sobre el suelo y por debajo de las copas de los árboles, y los incendios de copas, que involucran la combustión de las copas arbóreas. Los primeros se propagan rápidamente al consumir hojarasca, ramas muertas y otros restos vegetales, mientras que los segundos, más destructivos, suelen ocurrir en forestaciones de coníferas y pueden resultar en pérdidas significativas de árboles (Pausas y Keeley, 2019).

Además de la destrucción inmediata que causan, los incendios forestales aumentan el riesgo de plagas y enfermedades en las plantaciones, ya que, las heridas provocadas por el fuego hacen que los árboles sean más vulnerables a ataques de insectos y a infecciones fúngicas. Esto puede llevar a una disminución en la calidad de la madera y, en muchos casos, a la muerte de los árboles afectados (Moretti et al., 2006).

Las estimaciones indican que anualmente se queman entre 200 y 500 millones de hectáreas de vegetación en todo el mundo, afectando a múltiples biomas y ecosistemas (Montealegre et al., 2014). Entre fines de 2021 y mediados de 2022, la provincia de Misiones, Argentina, sufrió una serie de incendios que devastaron grandes extensiones de la Selva Paranaense. Durante este período, las condiciones de sequía actuaron como catalizadores, permitiendo que los incendios se propaguen a grandes áreas de bosque nativo y forestaciones con especies implantadas (Leszczuk et al., 2022).

Considerando la importancia de identificar y cuantificar rápidamente el daño ocasionado por los incendios en una forestación, los sensores remotos se tornan herramientas valiosas. Las imágenes satelitales posibilitan una amplia cobertura espacial y temporal, así como también permiten percibir fragmentos del

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales – UNaM, Bertoni 124, Eldorado, Misiones, Argentina.

<sup>2</sup> Autor de correspondencia: 3751 – 525378; [andres.lindao@fcf.unam.edu.ar](mailto:andres.lindao@fcf.unam.edu.ar)



espectro electromagnético, lo que posibilita identificar cambios a nivel fisiológico en la vegetación afectada y la construcción de índices espectrales que resaltan estos cambios (NDVI, EVI, SAVI, NBR). Asimismo, las imágenes de alta resolución obtenidas mediante drones pueden facilitar el análisis y la toma de decisiones posteriores a la ocurrencia de estos sucesos.

Los objetivos de este trabajo se basaron en la identificación del área afectada por incendios en 2 lotes de *Pinus* spp. mediante imágenes aéreas de alta resolución generadas por drones, complementándolas con imágenes obtenidas por satélites, a través del análisis del índice de quema normalizada (NBR), para finalmente realizar una comparación entre ambas metodologías.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Este trabajo se lleva a cabo en rodales de *Pinus* spp, situados en la zona Norte de la provincia de Misiones con una superficie aproximada de 56 hectáreas. Dichos rodales fueron afectados por un incendio ocurrido en el mes de enero del año 2022, los mismos fueron analizados y evaluados a través de imágenes satelitales (S2-L-2A) y vuelos de dron (*Phantom 3 pro*).

### Obtención de imágenes satelitales y cálculo del NBR

Las imágenes utilizadas para llevar a cabo esta parte del trabajo son del Servicio Marino Copernicus de la UE, pertenecientes al satélite Sentinel 2-L-2A. Este cuenta con una resolución espacial que varía en 10, 20 y 60 metros y un tiempo de revisita de 5 días (si fuéramos a utilizar ambos satélites). Las imágenes pertenecen al día 9 de febrero del año 2022. Esta plataforma nos permite el cálculo “on line” de diferentes índices (en este caso NBR), donde nosotros mismos a partir de un usuario previamente creado (de manera gratuita) podemos operar con las diferentes bandas/información que posee el servicio y descargar los productos preelaborados. Una vez calculado el índice es llevado al *software QGIS* (versión utilizada 3.28.4) para la poligonización y delimitación de áreas, cálculos de superficies afectadas y severidad del incendio. Finalmente se efectúan las cartografías/productos finales a través del compositor de impresiones.

El Índice de Quema Normalizado - NBR es una herramienta utilizada para evaluar el área quemada y la severidad de los incendios forestales, siendo su cálculo a partir de la normalización de las reflectancias de las bandas del infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo medio (SWIR) (Miller y Yool, 2002; Patterson y Yool, 1998). La siguiente expresión es la fórmula utilizada para el cálculo del NBR con el satélite *Sentinel*;

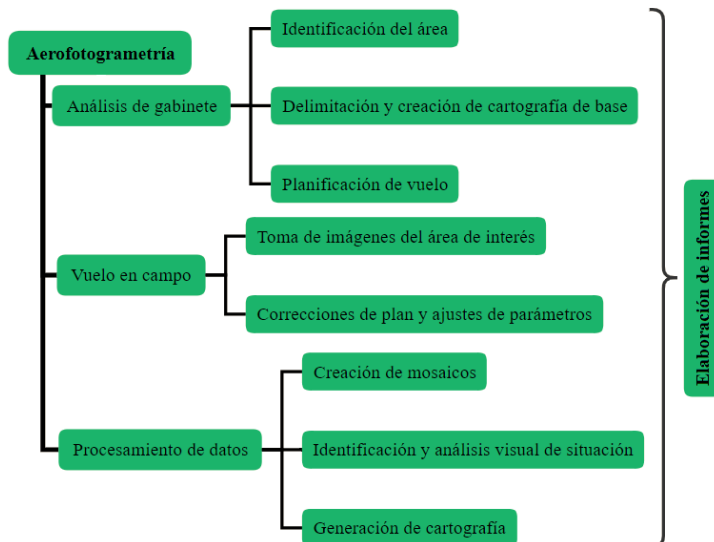
$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} = \text{Sentinel 2} = \frac{(B08 - B12)}{(B08 + B12)}$$

Donde B08 y B12 indica a las bandas utilizadas.

Este índice permite establecer diferencias en el comportamiento espectral de la vegetación sana y quemada (vegetación sana y vigorosa = alta reflectividad en la banda del NIR, disminuyendo a medida que esta sufre algún daño, mientras que, aumenta en la banda del SWIR), indicando que valores bajos de NBR se corresponden a una mayor severidad de incendios (mayor diferencia entre la reflectancia de ambas bandas), lo que se asocia a una mayor afectación de la vegetación, mientras que, valores altos de NBR se relacionan con áreas poco o nada afectadas por el fuego (De Santis y Vaughan, 2009).

### Obtención de imágenes con dron y procesamiento de las mismas

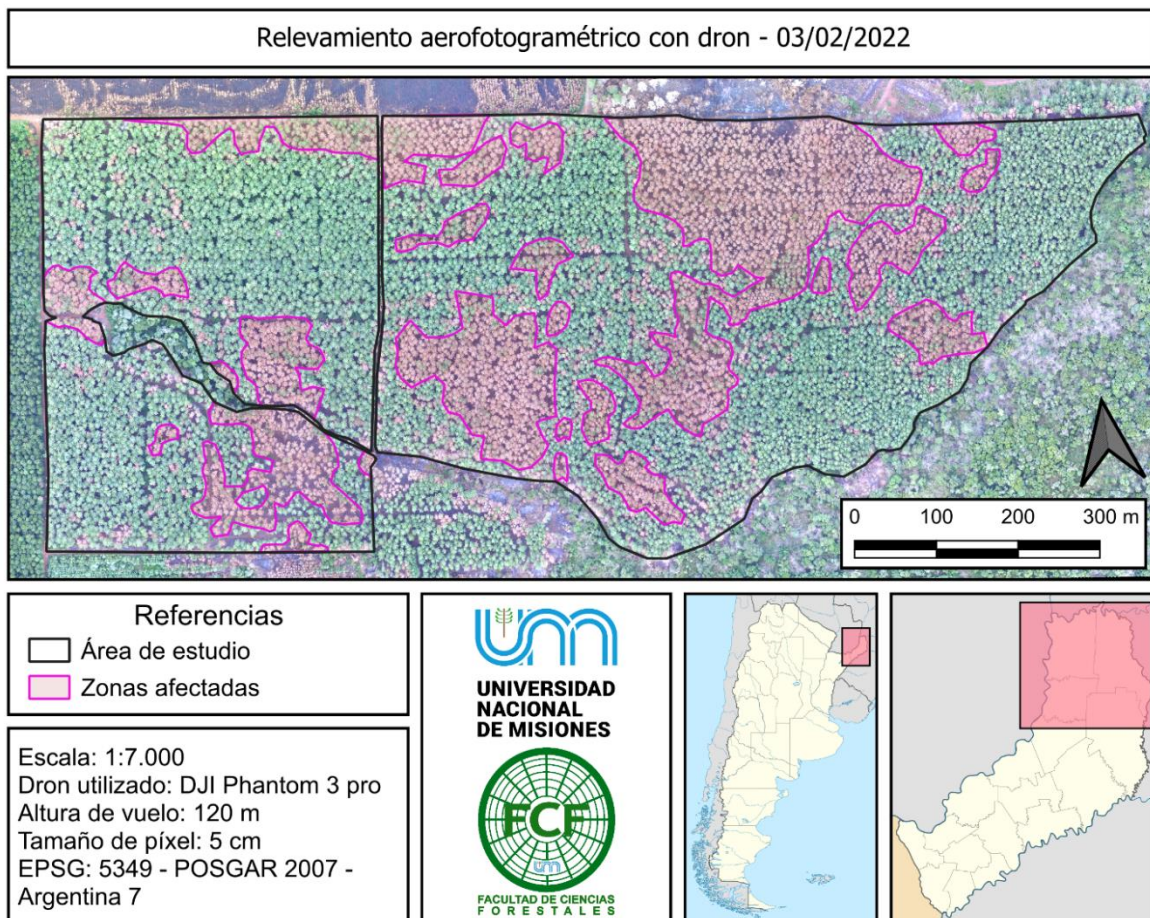
Para la parte del relevamiento aerofotogramétrico se utilizó un dron *Phantom 3 pro* de la marca DJI seteado a una altura de vuelo de 120 metros y un solapamiento lateral y frontal de las imágenes en 75 % para ambos casos, el ángulo de la cámara se correspondió a 90° con una resolución espacial postproceso de 5 centímetros por píxel. Estas imágenes fueron tomadas el día 3 de febrero del año 2022 con las condiciones climáticas apropiadas para el vuelo. La metodología de trabajo utilizada para el relevamiento pre/posproceso se refleja en la Figura 1. Todo el proceso de creación de mosaicos y planes de vuelo es llevado a cabo con *software* propio del dron y el trabajo posterior se realiza en el *software QGIS* (versión utilizada 3.28.4).



**Figura 1.** Metodología utilizada para el relevamiento aerofotogramétrico – Incluye el pre y posproceso de las imágenes obtenidas del área de estudio.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

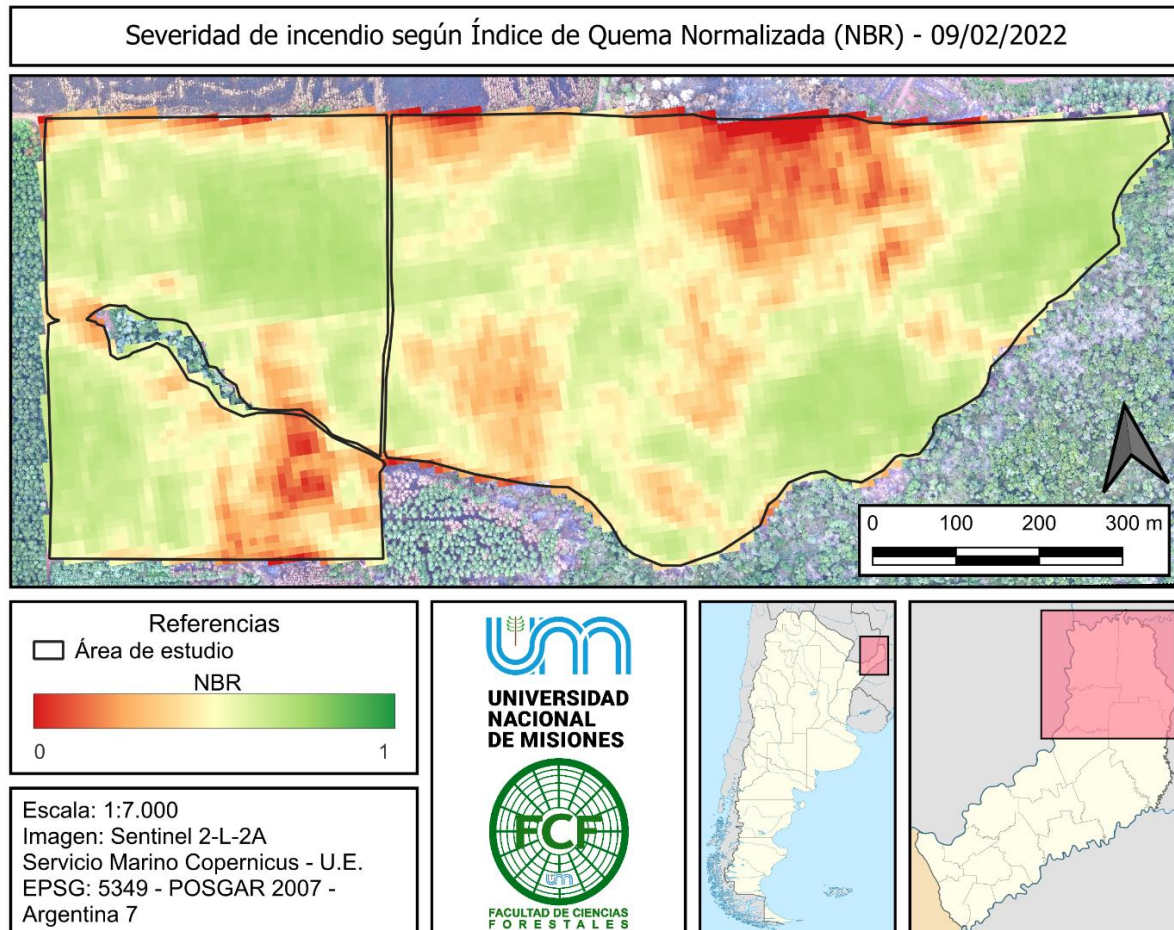
Las forestaciones evaluadas son del género *Pinus* spp., las mismas se encuentran divididas en dos rodales (Figura 2). El rodal que se encuentra al **Oeste** (izquierda) pertenece al año 2004 con una superficie de 20,7 hectáreas y el rodal que se encuentra al **Este** (derecha) se corresponde al año 2005 con una superficie de 35,9 hectáreas. Ambos rodales suman una superficie de 56,9 hectáreas lo cual representa el área real de ocupación establecida a partir del procesamiento de las imágenes obtenidas por el dron.



**Figura 2.** Mapa del área de estudio con sus respectivas superficies afectadas por los incendios.

El análisis de las imágenes efectuadas con el dron, en su pos-procesamiento nos permite identificar visualmente un área de 17,8 hectáreas afectadas por los incendios de algún tipo (sean estos de copa o superficie) pero no es posible indicar la severidad de este para cada situación.

Por otro lado, a partir del análisis del índice NBR, realizado por medio de las imágenes satelitales podemos ver la severidad de los incendios (Figura 3) en la paleta de colores, variando esta de rojo-amarillo-verde e indicando el grado de esta, de mayor a menor severidad respectivamente.



**Figura 3.** Mapa de severidad de incendio calculado por medio la plataforma Copernicus – S2A.

La imagen nos permite ver coincidencia entre ambas “metodologías” de identificación de áreas afectadas por los incendios, pero a diferencia del relevamiento con dron, es posible identificar áreas más o menos afectadas. Esto no quita la necesidad de un relevamiento y constatación a campo, pero sí nos permite puntualizar sectores para llevar a cabo visitas y poder obtener conclusiones más sólidas de los daños ocasionados a la forestación.

#### 4. CONCLUSIONES

El análisis por medio de drones y satélites permite identificar de manera eficaz y objetiva el área afectada. No obstante, la imagen del dron no permite diferenciar con claridad la severidad del incendio, pero permite tener una mejor “visual” del área, como por ejemplo la identificación de las copas individuales de los árboles (debido a su resolución espacial).

El cálculo del índice permite focalizar esfuerzos para futuros trabajos de campo, ya que, puntualizando las áreas más afectadas es posible realizar un análisis de campo dirigido, optimizando de esta manera los esfuerzos (físico, económicos, etc.) de los equipos de trabajo.

Este tipo de análisis permite accionar rápidos mecanismos de intervención en cuanto a las áreas afectadas por incendios en la región. Estos pueden ayudar a la toma de decisiones, tales como el aprovechamiento



temprano de las forestaciones o el apeo para evitar contaminación por algún tipo de plaga, debiéndose ésta a la mortalidad de los individuos afectados.

## 5. LITERATURA CITADA

- DE SANTIS, A. & VAUGHAN, P. 2009. Revisión de las técnicas de identificación cartográfica de áreas quemadas. Recursos Rurales 5: 93-100 pp. IBADER: Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural. ISSN 1885-5547. [https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/3819/RR\\_5\\_7.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/3819/RR_5_7.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- LESZCZUK, A. A., LORÁN, D., MARTINEZ, M. E., LEIZICA, J. E., & SEPPI, S. 2022. ESTUDIO DE LOS INCENDIOS OCURRIDOS EN LA PROVINCIA DE MISIONES, ARGENTINA ENTRE DICIEMBRE DEL AÑO 2021 A MARZO DEL AÑO 2022. XXXVI Jornadas Forestales de Entre Ríos. 212-216 pp.
- MILLER, H.J. & YOOL, S.R. 2002. Mapping forest post-fire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal Landsat TM and ETM data. Remote Sensing of Environment. 82: 481-496 pp. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425702000718>
- MONTEALEGRE, A. L.; LAMELAS, M. T.; TANASE, M. A.; DE LA RIVA, J. 2014. Forest fire severity assessment using ALS Data in Mediterranean Environment. Remote Sensing 6: 4240-4265 pp. DOI: 10.3390/rs6054240.
- MORETTI, M., CONEDERA, M., DUELLI, P., & EDWARDS, P. J. 2006. The effects of wildfire on ground-active spiders in deciduous forests on the Swiss southern slope of the Alps. Journal of Applied Ecology, 43(6): 1097-1106 pp.
- PAUSAS, J. G. 2020. Incendios forestales: Una visión desde la ecología. Los libros de la Catarata. ISBN (CSIC): 978-84-00-09492-8.
- PAUSAS, J. G., & KEELEY, J. E. 2019. Wildfires as an ecosystem service. Frontiers in Ecology and the Environment, 17(5): 289-295 pp.
- PATTERSON, M.W. & YOOL, S.R. 1998. Mapping Fire-Induced Vegetation Mortality Using Landsat Thematic Mapper Data: A Comparison of Linear Transformation Techniques. Remote Sensing of Environment. 65: 132-142 pp. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425798000182?via%3Dihub>