

# EVALUACIÓN DE LA DETECCIÓN DE TRAZAS DE TORNADOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN ÓPTICA

Facundo Gorr<sup>1</sup>, Juan Pablo Zbrun Luoni<sup>1</sup> y Facundo Martins Meira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de los Comechingones, Merlo (San Luis)

fgorr@alumnos.unlc.edu.ar

**Palabras Claves:** Teledetección óptica, Tornados, Sentinel-2

## Resumen

Este estudio analiza el potencial de la teledetección óptica para la identificación y caracterización de las cicatrices dejadas en la superficie por eventos tornádicos, mediante el procesamiento de imágenes multiespectrales del satélite Sentinel-2. Se aplicaron diversos índices espectrales (NDVI, NDBI, MSAVI, EVI y TrueColor) sobre los casos analizados, utilizando pares temporales previos y posteriores al evento. Las diferencias espectrales generadas fueron comparadas con las trazas oficiales provistas por la NOAA, a fin de evaluar la correspondencia espacial entre los daños detectados in situ y los identificables por medios remotos. Se encontró una correlación entre los índices analizados y la traza dejada por tornados estudiados, aunque serán necesarios más análisis de estas características para poder verificar la eficacia del método propuesto.

## 1 Introducción

Tradicionalmente, la evaluación de áreas afectadas se ha basado en relevamientos terrestres, los cuales, si bien permiten una inspección detallada, presentan limitaciones logísticas vinculadas al tiempo, la disponibilidad de recursos humanos y la accesibilidad al terreno. En este marco, la teledetección óptica —mediante imágenes satelitales de alta resolución espacial y temporal— surge como una herramienta complementaria de alto valor, al posibilitar el análisis multitemporal de grandes superficies afectadas por tornados (Jedlovec et al. [2006]; Molthan et al. [2020]).

Diversos estudios han demostrado la utilidad de índices espectrales como NDVI y composiciones RGB para detectar alteraciones abruptas en la vegetación y el entorno construido, asociadas al paso de un tornado (Myint et al. [2008]; Burow et al. [2020]; Kingfield and de Beurs [2017]). Particularmente, el satélite Sentinel-2 ha probado ser efectivo para este tipo de análisis gracias a la resolución del sensor a bordo multiespectral - MSI con cuatro bandas de 10 metros y su frecuencia de revisita, permitiendo evaluar tanto la magnitud del daño como su distribución espacial (Molthan et al. [2014]; Womble et al. [2018]). El presente trabajo constituye una aproximación al estudio de la detección de trazas tornádicas mediante teledetección óptica, con énfasis en la identificación de los índices más adecuados para cada situación y en la evaluación de los factores que condicionan su precisión.

## 2 Datos y Metodología

Para este análisis se escogió un evento tornádico ocurrido el día 21 de Mayo de 2024 en el Suroeste del Estado de Iowa, Estados Unidos (ver Figura 1). El mismo produjo en total 8 tornados de diferentes categorías (2 EF0, 3 EF1, 1 EF2, 1 EF3

y 1 EF4). La selección de este caso en particular se centró en la amplia gama de intensidad de los tornados generados y lo acotado del área afectada por los mismos. Las trayectorias, intensidades y características de los eventos fueron obtenidas a partir del relevamiento oficial del *Storm Prediction Center* (SPC) del *Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos* (NOAA), el cual proporciona información detallada sobre la localización geográfica, la categoría EF (Enhanced Fujita) y la extensión de los daños observados en campo. Las imágenes satelitales empleadas fueron adquiridas por el sensor óptico MSI (Multispectral Instrument) a bordo del satélite Sentinel-2, con resoluciones espaciales de 10, 20 y 60 metros, según la banda espectral utilizada. A partir de estas imágenes se generaron seis productos distintos, correspondientes a los siguientes índices espectrales:

**NDVI (Normalized Difference Vegetation Index):** indicador del vigor y cobertura de la vegetación.

**NDBI (Normalized Difference Built-up Index):** útil para identificar áreas construidas y disturbios en zonas urbanizadas.

**MSAVI (Modified Soil-Adjusted Vegetation Index):** optimizado para reducir la influencia del suelo en áreas con vegetación dispersa.

**EVI (Enhanced Vegetation Index):** diseñado para mejorar la sensibilidad en áreas de alta biomasa.

**TrueColor:** composición RGB (Bandas 4, 3, 2) para análisis visual cualitativo.

Para cada evento, se procesaron imágenes correspondientes a fechas previas (18 de Mayo) y posteriores al tornado (23 de Mayo), generando para cada índice dos capas espectrales (pre-evento y post-evento). Posteriormente, se aplicó una operación de diferencia (post – pre) por píxel, con el fin de generar imágenes diferenciales que resaltarán los cambios abruptos en la cobertura superficial.

Complementariamente, se realizó un análisis cualitativo visual de las composiciones TrueColor, a fin de identificar patrones de daño no capturados por los índices espectrales y validar visualmente los cambios abruptos en la vegetación, infraestructura y uso del suelo.

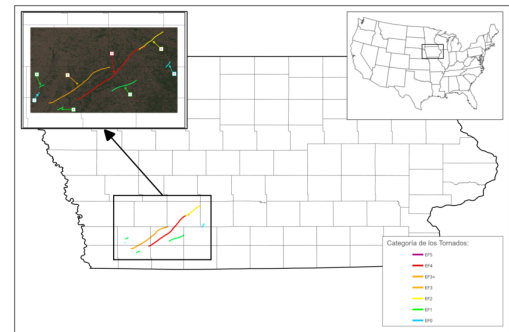


Figura 1: Localización de la zona estudiada e identificación de las diferentes trazas de tornado. Fuente: elaboración propia.

### 3 Resultados y Discusión

A partir de los resultados se puede inferir que los tornados de categoría EF-1 o superior fueron identificados por al menos un índice en algún tramo de su trayectoria (véase 2). Se destaca como excepción el tornado EF-1 con identificador “4”, cuya traza no fue detectada, probablemente debido a su corta longitud y la falta de afectación a áreas detectables por satélite.

En la 3 se presentan los distintos índices y la combinación de bandas "TrueColor", superpuestos con las trazas oficiales del evento analizado. Los mapas muestran la resta pixel a pixel de cada índice, destacando en rojo intenso las áreas donde ocurrieron cambios significativos en el terreno (ya sea vegetación, suelo desnudo o zonas urbanizadas). De manera ilustrativa, se han superpuesto las trazas de los tornados sobre estas áreas. Para el análisis, cada mapa fue revisado detalladamente en QGIS, con el objetivo de evaluar la efectividad de cada índice.

Tornado_ID	Categoría	Distancia Recorrida (Kilómetros)				
		Oficial	NDVI	NDBI	MSAVI	EVI
1	EF-0	1,11	N/D	N/D	N/D	N/D
2	EF-1	4,74	N/D	3,94	3,91	2,6
3	EF-3	55,74	50,91	15,4	51,01	N/D
4	EF-1	5,26	N/D	N/D	N/D	N/D
5	EF-4	69,32	53,22	59,8	51,36	41,09
6	EF-2	23,92	3,51	3,21	2,75	12,43
7	EF-1	20,64	N/D	10,41	N/D	4,76
8	EF-0	6,38	N/D	N/D	N/D	N/D

Figura 2: Resultados del Análisis Realizado

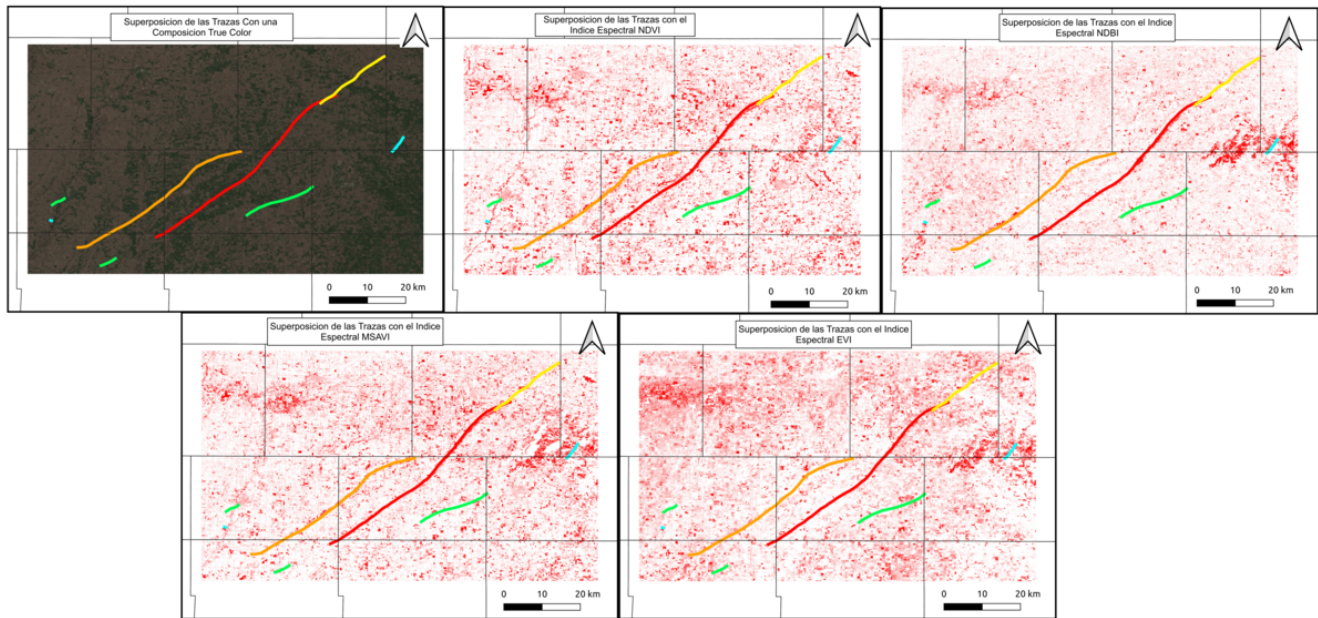


Figura 3: Resultado del análisis de las trazas aplicando los índices NDSVI, NDBI, MSAVI y EVI. Elaboracion propia

## 4 Conclusión

Dado que el objetivo principal de este trabajo es identificar el paso de tornados mediante distintos índices derivados de imágenes satelitales multiespectrales, se observó que todos los índices analizados mostraron indicios de la ocurrencia de tornados en diversas secciones de las trazas estudiadas. Esto permitió estimar con mayor precisión la extensión real de la traza dejada por el fenómeno, ya que cada índice está diseñado para responder de manera óptima a las distintas coberturas del terreno afectadas por un tornado.

No obstante, se reconoce que este análisis es preliminar y limitado en cuanto al número de eventos. Para fortalecer la validez de esta metodología, será necesario ampliar la base de casos evaluados y explorar sus limitaciones, pensando en implementar esta técnica en regiones donde los métodos tradicionales de detección in situ son difíciles de aplicar.

## Bibliografía

- C. Burow, D. M. Schultz, and M. A. Magsig. Using sentinel-2 to detect tornado tracks in vegetated terrain. *Remote Sensing*, 12(8):1287, 2020. doi: 10.3390/rs12081287.
- G. J. Jedlovec, A. L. Molthan, and G. T. Stano. Satellite detection of tornado tracks using modis data. *Weather and Forecasting*, 21(6): 890–904, 2006. doi: 10.1175/WAF998.1.
- D. M. Kingfield and K. M. de Beurs. Assessing damage tracks of 2013 moore and el reno, oklahoma tornadoes using landsat imagery. *Remote Sensing*, 9(5):433, 2017. doi: 10.3390/rs9050433.
- A. L. Molthan, G. J. Jedlovec, and W. M. Lapenta. Modis data for damage assessment of severe storms and tornadoes. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1):084699, 2014.
- A. L. Molthan, J. E. Burks, J. L. Case, et al. Evaluation of satellite-based tornado damage detection with high-resolution commercial imagery. *Journal of Operational Meteorology*, 8(3):43–62, 2020.
- S. W. Myint, C. P. Giri, and M. C. Wimberly. Detection of tornado damage tracks using remote sensing and gis. *Geocarto International*, 23 (1):3–18, 2008.
- A. J. Womble, A. L. Molthan, et al. Application of sentinel-2 satellite data for tornado damage assessment. *Remote Sensing Letters*, 9(2): 113–122, 2018.