



Estudio de la severidad de incendios forestales y urbanos (2022 y 2023) en el municipio de Tuxtla Gutiérrez mediante Sistemas de Información Geográfica y Teledetección

JOSUÉ ALEXIS CLEMENTE QUEZADA

Maestro en Ciencias en Desarrollo Sostenible y Gestión de Riesgos josalx003@gmail.com

Resumen

Los incendios forestales son una amenaza ambiental importante, y su gestión requiere herramientas precisas. En este estudio, se emplearon Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis de imágenes satelitales SENTINEL 2 para obtener la cartografía de áreas quemadas en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México en los años 2022 y 2023. Los resultados obtenidos revelaron una estimación de 2358.43 hectáreas totales afectadas por incendios en el año 2022, mientras que para 2023 se registró un total de 2846.72 hectáreas. En ambos años, la cobertura de afectación predominante fueron los pastizales inducidos. Estos hallazgos resaltan la necesidad de estrategias efectivas de manejo del fuego y la importancia de los SIG y teledetección en la gestión ambiental.

Palabras clave: incendios forestales, área quemada, Sentinel, sistemas de información geográfica.

Introducción

Los incendios forestales representan una amenaza significativa para los recursos naturales, ocasionando tanto la degradación de ecosis-

temas como pérdidas económicas y humanas a nivel global. En México, esta problemática se manifiesta de manera similar y recurrente año tras año, con variaciones en su magnitud determinadas por condiciones climáticas y meteorológicas. Las principales causas de los incendios forestales en el país se atribuyen mayoritariamente a actividades humanas, mientras que los fenómenos naturales, como las erupciones volcánicas y las descargas eléctricas, juegan un papel menos predominante (López, 2020).

Este tipo de agente perturbador es considerado un factor crítico de alteración de los ecosistemas a nivel global. Los efectos negativos que estos provocan sobre la calidad del aire, el suelo, la disponibilidad de agua y la diversidad biológica dependen en gran medida de la frecuencia, intensidad y duración del fuego, así como de la capacidad de recuperación y resistencia de las especies vegetales presentes en el área afectada.

Estas variables determinan no sólo la magnitud del daño, sino también el tiempo y la manera en que un ecosistema puede recuperarse tras un evento de esta naturaleza (Cabal, 2023). Según datos satelitales, en la última década cerca de 350 millones de hectáreas

de la tierra se vieron afectadas por incendios de vegetación en todo el mundo (Ibnousaih, 2021), evidenciando la escala global de este fenómeno y la urgencia de abordarlo de manera efectiva.

El municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México no es una excepción, ya que la ausencia de un plan de manejo sustentable ha resultado en la sustitución de la cobertura vegetal por tierras destinadas a uso agropecuario y urbano. Esto se refleja en el crecimiento de más de cuatro mil hectáreas del área urbana de Tuxtla Gutiérrez (Zavaleta-Palacios *et al.*, 2020), El crecimiento urbano sin una adecuada planificación y la presión sobre los recursos naturales han aumentado el riesgo de incendios en esta área, lo que subraya la necesidad de comprender y gestionar adecuadamente este problema.

La severidad de un incendio está directamente relacionada con la intensidad y la duración del fuego, factores que determinan la capacidad de recuperación de los ecosistemas. Para cartografiar, analizar y monitorear estos impactos, la teledetección ha emergido como una herramienta indispensable, permitiendo una evaluación precisa de estos parámetros y facilitando la planificación de estrategias eficaces de restauración y mitigación en las zonas impactadas (Santis & Chuvieco, 2008; López, 2020) En este contexto, las imágenes satelitales son particularmente valiosas para estudiar el impacto del fuego sobre la vegetación, proporcionando información crítica sobre la severidad del incendio y la dinámica postincendio de los ecosistemas (Navarro *et al.*, 2008).

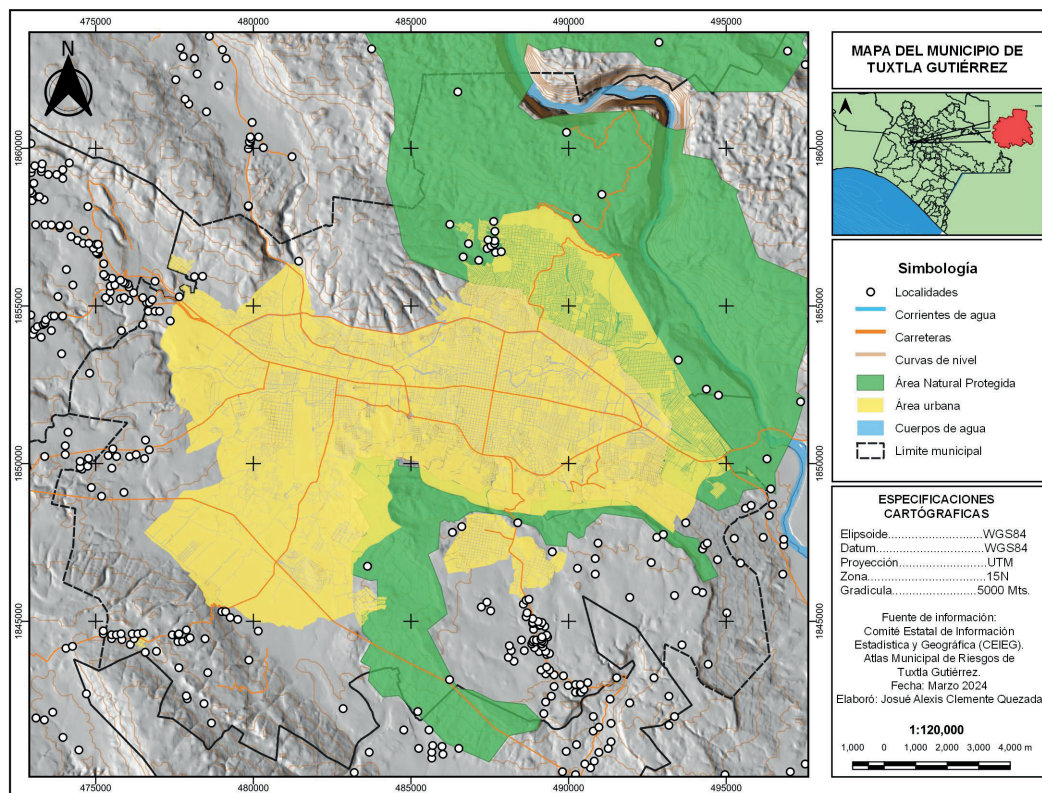


Figura 1. Mapa de ubicación del municipio de Tuxtla Gutiérrez.



Cartografía de áreas quemadas

Para evaluar la extensión y severidad de las áreas afectadas por el fuego en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, se aplicaron dos metodologías complementarias: la fotointerpretación multispectral y el cálculo del Índice Normalizado de Áreas Quemadas (Normalized Burn Ratio, NBR). Utilizando imágenes satelitales de alta resolución espacial, con valores de 10 y 20 metros, obtenidas del sensor SENTINEL 2 a través de la plataforma Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu>), la cual ofrece acceso gratuito a una amplia gama de imágenes satelitales. Se empleó la banda 12 (infrarrojo de onda corta, con 20 m de resolución espacial) y la banda 8 (infrarrojo cercano, con una resolución espacial de 10 m) utilizando dos escenas del mes de abril de cada año.

Para garantizar la precisión en el análisis de las imágenes satelitales, fue indispensable realizar una corrección radiométrica previa. Este proceso se llevó a cabo utilizando el complemento "Semi-Automatic Classification Plugin" de QGIS, el cual permite ajustar las imágenes a condiciones estándar. La corrección radiométrica, incluye la corrección atmosférica, es esencial para mitigar las variaciones en la reflectividad de los píxeles causadas por factores estacionales o la presencia de aerosoles en la atmósfera. Sin este ajuste, los valores de reflectividad podrían estar ligeramente alterados, comprometiendo la exactitud de los resultados obtenidos. Posteriormente se determinó el grado de calcinación de las áreas afectadas por el incendio, se utilizó el Índice Normalizado de Áreas Quemadas (NBR). El NBR, calculado a partir de las bandas de infrarrojo cercano (banda 8) e infrarrojo de onda corta (banda 12), proporcionó información crucial sobre la severidad del daño, permitiendo una evaluación precisa de las cicatrices dejadas por el incendio.

$$NBR = \frac{(NIR-SWIR)}{(NIR+SWIR)} \frac{(NIR-SWIR)}{(NIR+SWIR)} \frac{(NIR-SWIR)}{(NIR+SWIR)}$$

Donde:

NBR: Índice Normalizado de Áreas Quemadas.

NIR: Banda infrarrojo cercano.

SWIR: Banda infrarrojo de onda corta

$$NBR = \frac{(banda\ 8 - banda\ 12)}{(banda\ + - banda\ 12)} \frac{(banda\ 8 - banda\ 12)}{(banda\ + - banda\ 12)} \frac{(banda\ 8 - banda\ 12)}{(banda\ 8 + banda\ 12)}$$

El cálculo para Sentinel-2 se obtiene de la siguiente manera:

El índice NBR mostrará una relación de valores comprendidos entre -1 y 1, el valor alto de NBR indica vegetación saludable, mientras que el valor bajo indica suelo sin vegetación y áreas recientemente quemadas. Para el proceso de delimitación entre áreas quemadas y no quemadas se fundamentó en la correlación entre las cicatrices de incendio y los valores bajos de los índices espectrales calculados para los dos años analizados. Para detectar las áreas afectadas después del incendio, se aplicó un código de colores en rojo y magenta sobre el compuesto de falso color para SENTINEL 2. Este compuesto se realizó utilizando las bandas 8-4-3, en donde el rojo (r) se ha aplicado a la banda 8; infrarrojo medio, el verde (g) a la banda 4; infrarrojo cercano y azul (b) a la banda 3.

Para analizar la severidad del incendio es necesario estimar la diferencia de los píxeles entre la imagen previa y posterior al incendio. La fórmula utilizada para calcular dNBR se ilustra a continuación:

$$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post}$$

Donde NBR pre corresponde a la imagen previa del área incendiada y NBR post representa la situación posterior al incendio.

Los valores de dNBR de cada tipo de vegetación se etiquetaron según los umbrales propuestos por el United States Geological Survey (USGS) (España-Boquera *et al.*, 2024), para crear un mapa de severidad a partir de los niveles de afectación (Tabla 1).

Tabla 1: Relación entre el índice DNBR y las categorías de severidad del incendio forestal. United States Geological Survey (USGS).

DNBR	Gravedad de quemadura
<0.1	Sin afectación
0.01 a 0.27	Quemadura de baja severidad
0.27 a 0.44	Gravedad moderada baja
0.44 a 0.66	Gravedad moderada alta
>0.66	Quemadura de alta severidad

Resultados

La cartografía detallada de áreas quemadas obtenida a través de un riguroso análisis permitió una identificación precisa de las zonas afectadas por incendios durante los años 2022

y 2023 en el área de estudio. Durante el año 2022, se estimó que un total de 2358.43 hectáreas fueron afectadas por incendios forestales y urbanos en el municipio, principalmente durante el periodo comprendido entre enero y abril, que corresponde a los meses de la temporada de estiaje (Secretaría de Protección Civil, 2023). De este total, se observó que la cobertura de afectación predominante fueron los pastizales, con una extensión total de 2108.68 hectáreas. Este dato resalta la vulnerabilidad de los pastizales a los incendios y su importancia como hábitat y recurso natural en la región. Las zonas más afectadas por los incendios se localizaron principalmente en las colonias situadas en el lado sur poniente del municipio, pertenecientes a los ejidos de San José Terán y Copoya. Asimismo, se observaron áreas afectadas en el lado norte del municipio, colindando con el Parque Nacional Cañón del Sumidero.

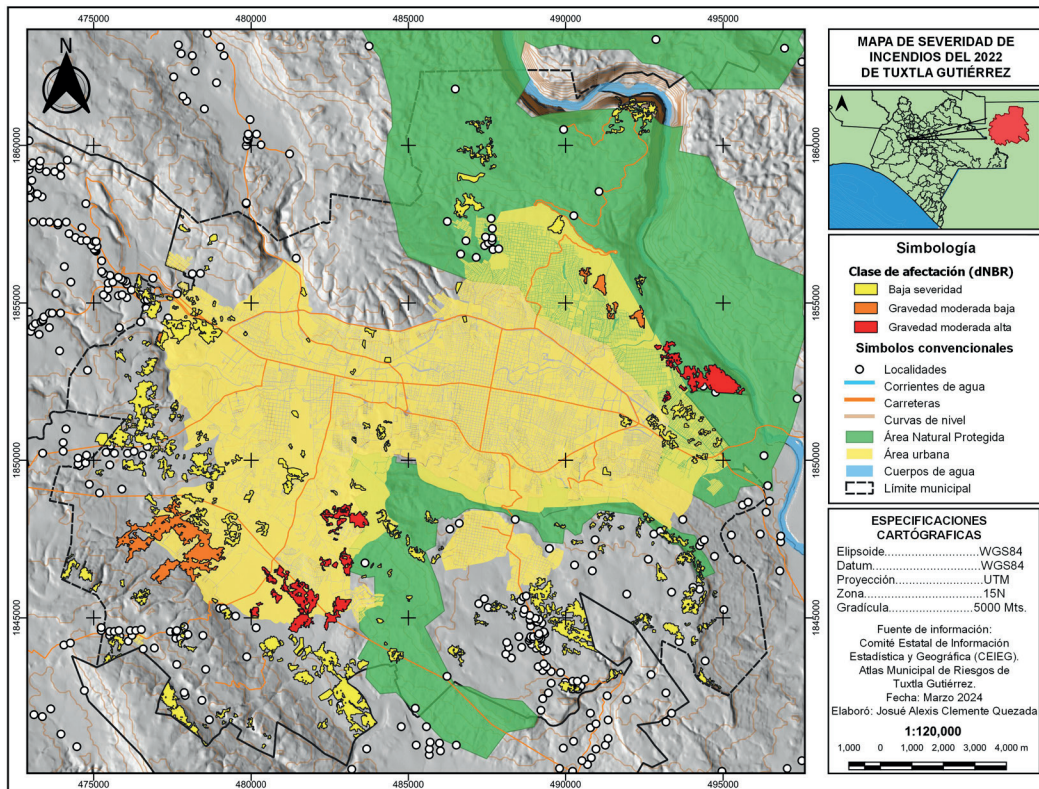


Figura 2. Cartografía de áreas quemadas por clase de afectación del año 2022.

Durante el año 2023, se estimó que un total de 2846.72 hectáreas fueron afectadas por incendios forestales y urbanos en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, principalmente durante el periodo de enero a abril. La cobertura de afectación predominante correspondió a los

pastizales, con un total de 1797.72 hectáreas afectadas. Las zonas más afectadas por estos incendios se localizaron principalmente en las colonias situadas en el lado sur poniente del municipio, específicamente pertenecientes a los ejidos de San José Terán y Copoya.

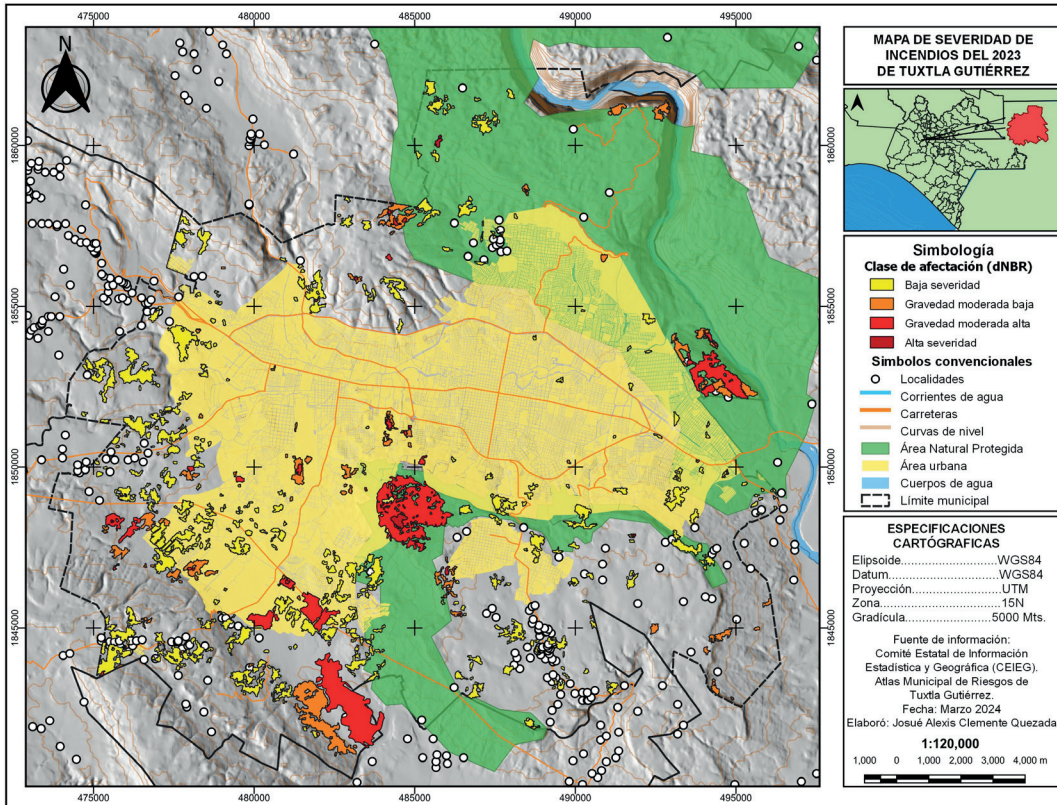
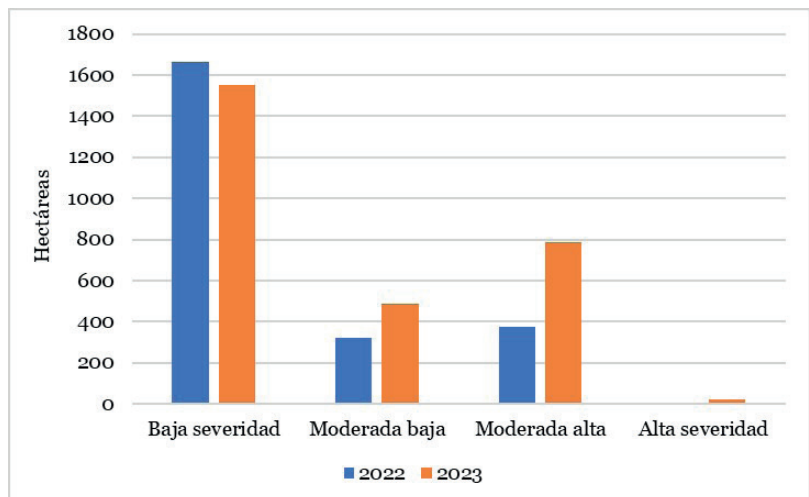


Figura 3. Cartografía de áreas quemadas del año 2023 en el municipio de Tuxtla Gutiérrez.

En la Figura 4 se presenta de manera gráfica la cantidad de hectáreas afectadas por incendios, clasificadas según el grado de severidad para cada año. Se observa que en 2023 se produjo un incremento significativo en la superficie quemada, particularmente en las categorías de severidad moderada-alta y alta.

Figura 4: Hectáreas quemadas según clase de afectación para cada año.



Conclusiones

El presente estudio ofrece una visión detallada y actualizada de la severidad de los incendios forestales y urbanos en el municipio de Tuxtla Gutiérrez durante los años 2022 y 2023, utilizando tecnologías de SIG. El análisis de la severidad, mediante fotointerpretación multiespectral y el cálculo del NBR, han permitido identificar las zonas más afectadas y evaluar el grado de daño en la cobertura vegetal y uso del suelo del área de estudio

El uso de imágenes satelitales SENTINEL 2 ha marcado un avance significativo en el estudio y monitoreo de incendios forestales, especialmente en áreas donde previamente no se contaba con mediciones detalladas de su extensión o severidad. Este sensor permite obtener superficies quemadas con un nivel de detalle superior, lo que facilita una delimitación cartográfica más precisa en comparación con otros sensores, como MODIS. En México, aunque los estudios utilizando imágenes del sensor SENTINEL 2 son aún limitados, se han obtenido resultados valiosos. Por ejemplo, en Guanajuato, se observó que el año 2019 registró un mayor grado de severidad en los incendios, influenciado por las condiciones climáticas provocadas por "El Niño" (Salazar *et al.*, 2019; asimismo, en el bosque La Primavera, se constató que las áreas de baja y media severidad fueron predominantes (López, 2020).

El año 2023 registró una importante superficie afectada por incendios en comparación con 2022, posiblemente debido a factores antrópicos como la negligencia en la gestión de residuos y quemas agropecuarias, junto con una falta de actividades preventivas. Estos hallazgos subrayan la importancia de la gestión del uso del suelo y el desarrollo de estrategias de prevención y mitigación de incendios en la región. La integración de tecnologías SIG y teledetección proporciona herramientas esenciales para la toma de decisiones informadas y la implementación efectiva de medidas de manejo del fuego.

Referencias bibliográficas

1. Cabal Villanueva, E. (2023). *Aplicación de técnica de teledetección al análisis de severidad y regeneración de un incendio forestal* [Master thesis]. <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/69303>
2. 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., & Giglio, L. (2019). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 225, 45–64. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013>
3. Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas. (2019). *Mapas temáticos. Perfiles municipales*. <https://www.ceieg.chiapas.gob.mx/perfiles/Inicio>
4. España-Boquera, M. L., Champo-Jiménez, O., Uribe-Salas, M. D., España-Boquera, M. L., Champo-Jiménez, O., & Uribe-Salas, M. D. (2024). Extensión y severidad de incendios forestales en Michoacán en 2021 a partir de imágenes Sentinel-2. *Polibotánica*, 57, 125–144. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.57.7>
5. Farfán Gutiérrez, M., Flamenco Sandoval, A., Rodríguez Padilla, C. R., Rodríguez de Sousa Santos, L., González Gutiérrez, I., Gao, Y., Farfán Gutiérrez, M., Flamenco Sandoval, A., Rodríguez Padilla, C. R., Rodríguez de Sousa Santos, L., González Gutiérrez, I., & Gao, Y. (2020). Cartografía de la probabilidad de ocurrencia a incendios forestales para el estado de Guanajuato: Una aproximación antrópica de sus fuentes de ignición. *Acta universita-*

- ria, 30. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2953>
6. Ibnousaih, S. (2021). Análisis de incendios forestales a partir de imágenes Sentinel en Las Palmas de Gran Canaria en agosto de 2019. <http://crea.ujaen.es/jspui/handle/10953.1/15192>
 7. López García, A. R. (2020). Estudio de la severidad del incendio de 2012 y regeneración de la vegetación del Bosque La Primavera, México, mediante imágenes LANDSAT 7. *Revista cartográfica*, 101, 35–50. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i101.420>
 8. Navarro Cerrillo, R. M., Hayas, A., García-Ferrer, A., Hernández Clemente, R., Duhalde, P., & González, L. (2008). Caracterización de la situación posincendio en el área afectada por el incendio de 2005 en el Parque Nacional de Torres del Paine (Chile) a partir de imágenes multiespectrales. *Revista chilena de historia natural*, 81(1), 95–110. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2008000100008>
 9. Nieto Masot, A., Navazo Arenas, G., & Moreno Marcos, G. (2016). Análisis de incendios forestales mediante sistemas de información geográfica y Teledetección. Estudio de caso en sierra de Gata (2015). *Tecnologías de la Información Geográfica en el Análisis Espacial. Aplicaciones en los Sectores Público, Empresarial y Universitario, 2016*, ISBN 978-84-617-6760-1, págs. 247-268, 247–268. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5776243>
 10. Parks, S. A., Dillon, G. K., & Miller, C. (2014). A New Metric for Quantifying Burn Severity: The Relativized Burn Ratio. *Remote Sensing*, 6(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/rs6031827>
 11. Salazar, D. N. S., Gutiérrez, M. F., & Reyes, M. A. A. (2019). Cartografía de la severidad de los incendios forestales (2017, 2018, 2019) en el estado de Guanajuato empleando imágenes Sentinel-2. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 5(1), Article 1. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3069>
 12. Santis, Á., & Chuvieco, E. (2008). Análisis Comparativo de Sensores Espaciales para la Cartografía de la Severidad en el Incendio de Riba de Saelices (Guadalajara). *Revista de teledetección: Revista de la Asociación Española de Teledetección*, 29, 25–37.
 13. Secretaría de Protección Civil. (2023). *Programa estatal de Protección Civil para la temporada de estiaje 2023*. https://proteccioncivil.chiapas.gob.mx/programas-especiales/Temporada_Estiaje/2023
 14. White, J., Ryan, K., Key, C., & Running, S. (1996). Remote Sensing of Forest Fire Severity and Vegetation Recovery. *International Journal of Wildland Fire*, 6, 125–136. <https://doi.org/10.1071/WF9960125>
 15. Zavaleta-Palacios, M., Díaz-Nigenda, E., Vázquez-Morales, W., Morales-Iglesias, H., & Lima, G. N. de. (2020). Urbanización y su relación con la isla de calor en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 7(2). <https://www.redalyc.org/journal/3586/358664458013/html/>