

Sistema difuso para evaluación de siniestros por inundación en cultivos

Fuzzy system for the evaluation of flood losses in crops

■■■■■
Claudia-Alejandra Gallegos-Sánchez¹, José-Antonio Vázquez-López¹, José -Alfredo Padilla-Medina¹, Alejandro-Israel Barranco-Gutiérrez¹ y Aideé Hernández-López²
¹ Tecnológico Nacional de México Campus Celaya (México)
² Sistema Avanzado de Bachillerato y Educación Superior en el Estado de Guanajuato (México)

DOI: <https://doi.org/10.52152/D11266>

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos naturales pueden volver vulnerables a la población, la infraestructura y actividades económicas de la industria agrícola. Esto obliga a tener un mecanismo de alerta temprana para la prevención, mitigación y cuantificación en áreas de peligro y vulnerabilidad [1]. La principal forma de trabajo para la asistencia al productor es detectando y dando seguimiento in situ con visitas al lugar para realizar la valoración del cultivo posterior al siniestro, así como realizar la estimación y aprobación de los efectos causados por la inundación. Estas visitas generan altos costos administrativos y largo tiempo de respuesta en la detección del área total siniestrada en los cultivos establecidos. Sin embargo, se han aplicado algunas tecnologías como la percepción remota, teledetección, Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), Sistemas de Información Geográficos (SIG), entre otros [2], en las cuales, el análisis de imágenes en diferentes longitudes de onda permite evaluar el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) y el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI),

los cuales son utilizados en el cálculo de biomasa vegetal. Además, el cálculo de la vegetación verde se realiza a partir de las diferencias entre los espectros que se relacionan con la abundancia relativa y actividad de vegetación verde [3].

G. Doxani, y S. Siachalou [4], proponen un Sistema de Soporte de Decisión (DSS) para el análisis de imágenes satelitales Copernicus mediante un sistema de inferencia para evaluar el índice de vegetación verde. Así mismo, basado en la aplicación de los SIG el autor Ali Levent Yagci [5] concluye sobre la influencia de los cambios relacionados con la cobertura del suelo en el índice NDVI; estos son a partir del cálculo de los índices mínimo y máximo del NDVI y el cálculo del índice VCI (Índice de Condición de la Vegetación) se realiza una clasificación de nivel de daño presente en cultivos siniestrados.

La presente propuesta se centra en el diseño de un sistema de inferencia difuso para el análisis de imágenes satelitales anteriores y posteriores a un evento hidrometeorológico para evaluar el daño por siniestro de inundación en áreas de cultivo. La evaluación se realiza calculando cinco índices: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Índice de Condición de Vegetación (VCI), Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI), Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI) y el Índice de Daño de Desastres a la Vegetación (DVDI). Esto permite reducir el tiempo de diagnóstico del suelo y reducir los costos administrativos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó el sistema propuesto con una problemática real; esto es, el sistema de inferencia difuso identifica y evalúa áreas afectadas por eventos hidrometeorológicos de inundación a causa de lluvias intensas o desbordamiento de agua; las variables de entrada al sistema difuso son los índices vegetativos obtenidos de las imágenes de satélite Sentinel 2B antes y después del evento meteorológico. En este estudio se ha considerado un área siniestrada por el desbordamiento de la presa Allende en el municipio de San Miguel de Allende, estado de Guanajuato; el siniestro se presentó en el año 2021.

2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES SATELITALES

La misión Sentinel-2 consiste en un par de satélites lanzados en 2015 y 2017, estos proveen cada 5 días imágenes multispectrales de alta resolución que se pueden obtener de forma gratuita con la plataforma Copernicus Open Access Hub [6]. Cada satélite trae consigo un generador de imágenes multispectrales o MSI (Multi Spectral Imager) con una resolución radiométrica de 12 bits. La cobertura de franja es de 290 Km [7] y suministra información en 13 bandas espectrales, incluidas cuatro bandas a 10 m, seis bandas a 20 m y tres bandas a 60 m de resolución espacial (Tabla 1).

2.2. CÁLCULO Y CORRECCIÓN DE ÍNDICES DE EVALUACIÓN

Los índices vegetativos se evalúan usando los canales espectrales provenientes de las bandas de las imágenes Sentinel 2B. A continuación se describen las expresiones que relacionan los canales espectrales para evaluar dichos índices.

Banda	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8a	B9	B10	B11	B12
Resolución Espacial (m/px)	60	10	10	10	20	20	20	10	20	60	60	20	20
Longitud de onda central (nm)	443	490	560	665	705	740	783	842	865	940	1375	1610	2190
Descripción	Ultra azul (Costa y Aerosol)	Azul	Verde	Rojo	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR), rojo	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR), ultrarrojo	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR), rojo lejano	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR), infrarrojo cercano	Rojo de borde (RedEdge), infrarrojo cercano	Vapor de Agua	Cirrus (onda corta infrarroja)	onda corta infrarrojo (SWIR)	onda corta infrarrojo 2 (SWIR)

Tabla 1. Bandas SENTINEL 2

NDVI

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI, dada su facilidad de cálculo y su rango de variación fijo (-1 a 1) es de los más utilizados y conocidos en la literatura científica [8,9]. El cálculo del NDVI se realizó con la Ecuación 2.1.

$$NDVI = \frac{\rho B8 - \rho B4}{\rho B8 + \rho B4} \tag{2.1}$$

Donde p4 (B4) es la imagen que corresponde a la longitud de onda del infrarrojo cercano y p8 (B8) la imagen que corresponde a la longitud de onda del rojo.

VCI

El VCI (Índice de Condición de Vegetación) compara el valor del NDVI actual con el rango de valores del NDVI anteriores de la misma ubicación para evaluar la diferencia entre el valor actual del NDVI y el valor mínimo histórico de NDVI. Kogan [10], propuso el VCI para estimar el deterioro de crecimiento en los niveles de biomasa, dicho índice se evalúa en el rango de 0% a 100% (Ecuación 2.2); valores menores al 40% se relacionan a condiciones desfavorables de la vegetación, mientras que valores de 0% son las peores condiciones históricas y 100% la mejor condición.

$$VCI = \left(\frac{NDVI(x,y) - NDVI_{min}(x,y)}{NDVI_{max}(x,y) - NDVI_{min}(x,y)} \right) * 100 \tag{2.2}$$

Donde NDVI para un pixel en específico en un mes es NDVI_{max}(x,y) y NDVI_{min}(x,y) con los valores de NDVI más altos y más bajos del mismo pixel para el periodo de estudio del siniestro.

El mVCI es el Índice Medio de Condición de Vegetación y evalúa la desviación del valor NDVI del periodo actual al valor medio y mediano del NDVI histórico (Ecuación 2.3) [12]. En el estudio [11] se propone el uso del mVCI por determinar la presencia de nubosidad.

$$mVCI = \left(\frac{NDVI(x,y) - NDVI_{med}(x,y)}{NDVI_{max}(x,y) - NDVI_{min}(x,y)} \right) * 100 \tag{2.3}$$

DVDI

El Índice de Daño de Desastres a la vegetación (DVDI) se presenta en la literatura científica [13] donde se habla de estudios propuestos para su uso, se evalúa en función del índice de mVCI anterior y posterior a la ocurrencia del evento hidrometeorológico de inundación y así evaluar el daño en los cultivos siniestrados. La Ecuación 2.4 es utilizada para evaluar el índice DVDI.

Donde mVCIa y mVCIb son los valores de mVCI posterior y previo a un desastre, respectivamente. El mVCI es un índice modificado de la condición de la vegetación [14], utiliza el NDVI medio para calcular el índice de condición de la vegetación. Es utilizado para minimizar los efectos de la contaminación por nubosidad en los valores de los píxeles de la imagen; además, refleja la condición relativa de la vegetación/cultivo en comparación con los registros históricos.

El índice DVDI presenta variaciones cercanas a cero durante intervalos de tiempo pequeños (pocos días). Valores negativos del índice DVDI negativo indican un nivel de daño vegetativo. Valores positivos en DVDI indican que no hay daño en la vegetación durante el intervalo de tiempo y por ende no hay desastre vegetal. Los valores del índice DVDI se clasifican en seis categorías [20]:

DVDI	≥ 0 sin daño
DVDI	(0, -0.1] daño muy ligero
DVDI	(-0.1, -0.2] daño ligero
DVDI	(-0.2, -0.3] daño moderado
DVDI	(-0.3, -0.4] daño severo
DVDI	≤ -0.4 daño muy severo

NDMI

El Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI) se evalúa utilizando las bandas de infrarrojo cercano (B8) y de infrarrojo de onda corta (B11) (Ecuación 2.5) [15], éste índice es sensible a alteraciones de la vegetación y es útil para determinar áreas con estrés hídrico dada su alta correlación con el contenido de agua presente en la vegetación, permitiendo detectar con mayor precisión cambios en la biomasa [16].

$$NDMI = \frac{\rho B8 - \rho B11}{\rho B8 + \rho B11} \tag{2.5}$$

Donde p4 (B8) corresponde a la longitud de onda del rojo y p11 (B11) corresponde a la onda corta infrarroja. Valores mayores a 0.8 de NDMI representan áreas de humedad alta, a diferencia de valores menores a cero evidencian menor cantidad de humedad.

NDWI

El Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) [17] es utilizado para evaluar cuerpos de agua en el rango [-1 y 1]. Valores menores a cero indican superficies brillantes sin presencia de vegetación o agua y cuando los valores son mayores a cero se asocian al contenido de agua. Es posible calcular este índice utilizando la Ecuación 2.6 [15].

$$NDWI = \frac{\rho B3 - \rho B8}{\rho B3 + \rho B8} \tag{2.6}$$

Donde p3 (B3) corresponde a la longitud de onda del verde y p8 (B8) corresponde a la onda corta infrarrojo cercano. Este índice es sensible a los cambios en el contenido de agua en la cubierta de la vegetación debido a la reflectancia a 857nm y 1241nm.

2.3. DESARROLLO DEL SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSO

El sistema de inferencia difuso se diseñó utilizando software Matlab R2020b, el cual relaciona las variables de entrada con las de salida por medio del conjunto de reglas difusas, los índices de entrada al sistema son el DVDI y el NDMI (Figura 1). El DVDI en su rango de valores negativos define niveles de daño en base al tiempo anterior y posterior al evento, con ello se identifican las áreas cultivadas que hayan sufrido daños. Se utilizó el método del centroide como técnica de desfusificación para convertir la solución difusa en una solución que pueda interpretar el usuario.

Las funciones de membresía para DVDI y NDMI se consideraron trapezoidal positiva (trapezpos) y negativa (trapezneg) y triangular (trian) representando el grado de pertenencia.

El índice DVDI se representa con seis niveles de daño:

Pérdida Severa de Biomasa (S),
μ S (DVDI) = trapezneg (-1, -0.4, -0.3)

Pérdida Moderada de Biomasa (M),
μ M (DVDI) = trapezneg (-0.4, -0.3, -0.2, -0.1)

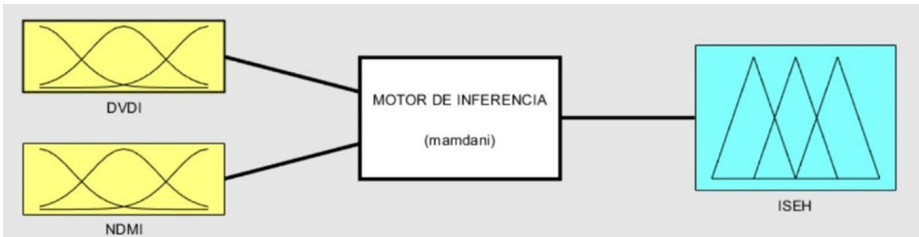


Fig. 1. Estructura del sistema difuso.

Pérdida Ligera de Biomasa (L)
 μL (DVDI) = trian (-0.2, -0.1, 0)

Sin Daño Presente (SD)
 μSD (DVDI) = trapezpos (-0.1, 0, 1)

En el caso del NDMI, el segundo índice como variable de entrada del conjunto difuso, fue definido por tres funciones de membresía, siendo:

Bajo Nivel de Humedad (B)
 μB (NDMI) = trapezneg (-1, -0.2, 0)

Valor aceptable o normal de humedad (N)
 μN (NDMI) = trapez (-0.2, 0, 0.4, 0.6)

Alto nivel de humedad (A)
 μA (NDMI) = trapezpos (0.4, 0.6, 1)

La variable de salida se define en cinco categorías, las cuales establecen daños severos o moderados en los cultivos a causa del estrés hídrico o las inundaciones, o en otros casos representa daños que no están asociados a eventos hidrometereológicos. Así se puede discriminar siniestros asociados a inundación o sequía. Las cinco funciones de salida del sistema son:

Daño severo por estrés hídrico (DSEH)
 μ (DSEH) = trapezpos (0, 0.2, 0.3)

Daño moderado por estrés hídrico (DMEH)
 μ (DMEH) = trian (0.2, 0.3, 0.4)

Sin daño por evento hidrometereológico (SDEH)
 μ (SDEH) = trapezpos (0.3, 0.4, 0.6, 0.7)

Daño moderado por inundación (DMI)
 μ (DMI) = trian (0.6, 0.7, 0.8)

Daño severo por inundación (DSI)
 μ (DSI) = trapezpos (0.7, 0.8, 1)

El conjunto de reglas difusas consiste en doce reglas FuzzyAnd de las cuales solo cinco reglas son evaluadas (Tabla 2), esto debido a que varias reglas convergen en un mismo resultado. Las primeras cuatro reglas de salida definen el nivel de severidad y el tipo de daño. La última regla define tres casos que discriminan cualquier otro tipo de daño o bien áreas sin daño alguno. Si hay algún nivel de humedad detectado como normal, se expresa para cualquier tipo de daño representado por el DVDI y se define como un daño ajeno a las causas consideradas en el presente

1.- Si DVDI es SEVERO y NDMI es ALTO entonces ISEH es DSI
2.- Si DVDI es MODERADO y NDMI es ALTO entonces ISEH es DMI
3.- Si DVDI es MODERADO y NDMI es BAJO entonces ISEH es DMEH
4.- Si DVDI es SEVERO y NDMI es BAJO entonces ISEH es DSEH
5.- Si DVDI es LIGERO o DVDI es SIN DAÑO o NDMI es NORMAL entonces ISEH es SDEH

Tabla 2. Reglas del sistema difuso.

estudio; es decir, no es un daño causado por eventos hidrometereológicos. Por otra parte, el DVDI definido como sin daño corresponde a daño por cualquier otro evento hidrometereológico (ISEH).

El sistema difuso arroja resultados en el rango dinámico [0,1]. Dada esta nueva métrica aunada a la resolución espacial de la imagen satelital con un tamaño de píxel de 10 metros cuadrados se puede calcular la extensión de área dañada. Así mismo, considerando el rango dinámico del índice resultante, es posible ubicar valores puntuales para aseverar siniestro, los cuales son:

Siniestro

$$\begin{cases} x \leq 0,2 \\ x \geq 0,7 \end{cases}$$

De manera general se consideran las siguientes acciones que definen la implementación general del sistema evaluativo (Figura2).

3. RESULTADOS

Con el sistema propuesto es posible obtener información cualitativa y cuantitativa de los efectos generados en zonas de cultivo por eventos hidrometereológicos. Los cultivos evaluados son cultivos regados por humedad, la cual es favorecida por el agua de la presa Allende en el municipio de San Miguel de Allende, estado de Guanajuato. El evento que generó el daño ocurrió entre el 12/08/2021 y el 21/09/2021 y las imágenes presentaron cerca del 20% de nubosidad lo cual favoreció un mejor análisis de las imágenes.

El sistema difuso diseñado tiene como entradas las imágenes de entrada anterior y posterior al evento (Figuras 3a y 3b). Al evaluar la vigorosidad de la biomasa vegetal en el área de cultivo colindante con la presa, se observa en la imagen previa al evento (Figura 3c) una alta intensidad del índice de vegetación y los efectos del evento (Figura 3d). Posteriormente, se determinan los valores de la condición de la vegetación, donde una vez pasado el desbordamiento de la presa hay pérdida de área vegetal (Figuras 3e y 3f). Con la comparativa entre las condiciones de la vegetación para cada imagen se observa el aumento del área de inundación en la zona. En la imagen (Figura 3g) se muestra la matriz de valores DVDI junto con los valores de la humedad presente (NDMI) corregido con valores máximos de humedad del área siniestrada por inundación (Figura 3h).

Con el índice obtenido se genera una imagen en pseudocolor (Figura 4a) la cual es binarizada (Figura 4b) para evaluar el área siniestrada mediante el conteo de los píxeles en color blanco, considerando la relación píxel / área, se obtuvo un área aproximada de 172.3 hectáreas (Figura 4) la cual representa el área afectada por el evento hidrometereológico.

4. DISCUSIÓN

El análisis realizado combinando sistemas de percepción remota y lógica difusa para aplicación en monitoreo ambiental, muestran la rentabilidad y capacidad para superar limitaciones de los métodos con-

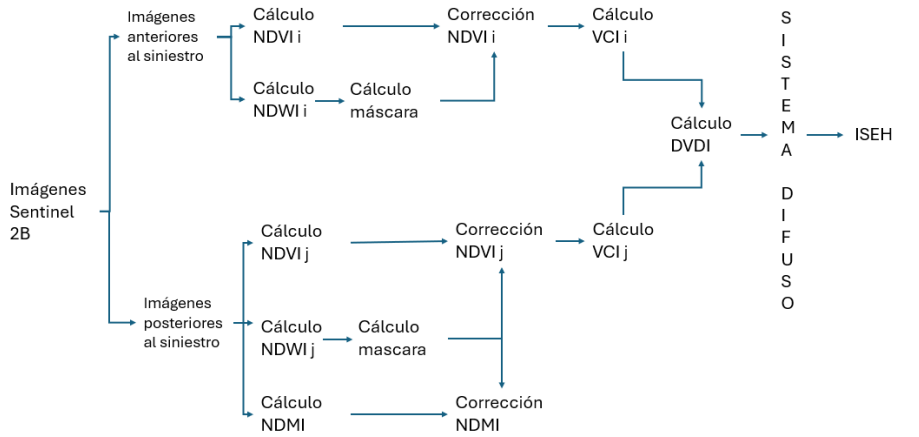


Fig. 2. Diagrama general metodológico del sistema.

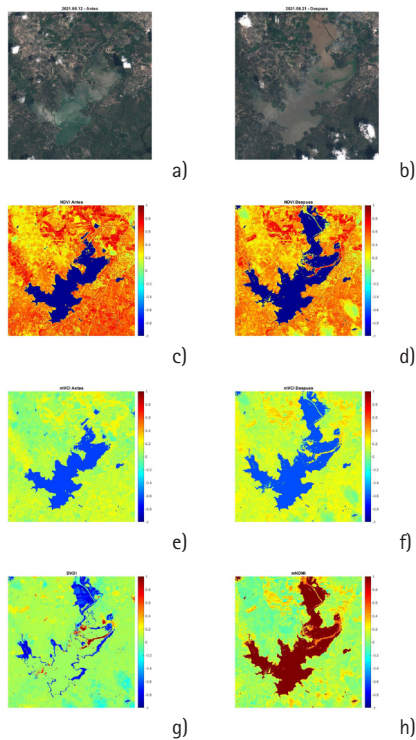


Fig. 3. a, b) Imagen anterior y posterior del evento de desbordamiento de la presa, c, d) Resultado de la matriz de NDVI anterior y posterior del área siniestrada, e, f) Resultado de la matriz de mVCL anterior y después del área siniestrada, g, h) Resultado de la matriz de DVI y NDMI respectivamente del área siniestrada por el desbordamiento de la presa Ignacio Allende.

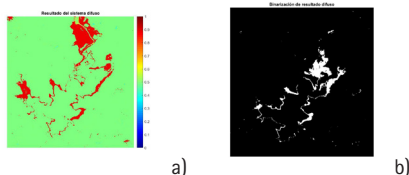


Fig. 4. a) Matriz de resultados finales obtenida como resultado del sistema difuso implementado, b) Binarización del resultado del sistema difuso en el área de estudio de la presa Ignacio Allende en San Miguel de Allende, Guanajuato.

vencionales. Teniendo algunas ventajas como: el tiempo en la obtención de resultados, la cuantificación del área dañada, los recursos de análisis gratuitos, entre otros

La percepción remota permite al usuario observar rápidamente las zonas de estudio e identificar las áreas a analizar sin necesidad de realizar un recorrido *In situ*. Por su parte las herramientas inteligentes como el uso de lógica difusa permite tratar información imprecisa, como lo es en el caso del daño causado por inundación. Realizando un análisis con menor tiempo de obtención de resultados a diferencia del método tradicional se tienen de 30 a 45 días hábiles para la entrega de resultados del área cultivada siniestrada por inundación [19]; mientras que con el sistema difuso se puede reducir hasta la mitad del

tiempo en la obtención de resultados, así como la ventaja de una cuantificación del área más exacta dada cuantificación de píxeles de la imagen.

5. CONCLUSIONES

La incorporación de herramientas de inteligencia artificial, como la lógica difusa, en el procesamiento digital de imágenes, impacta en gran medida en la forma de analizar la información y en la toma de decisiones ante casos de estudio prácticos. Como se muestra en este trabajo de investigación, que, a través del uso del algoritmo inteligente diseñado para procesamiento de imágenes satelitales, se obtuvo la manera de establecer indicadores de diagnóstico necesarios para la toma de decisiones en un caso real estableciendo diagnósticos operativos y con ello mostrar la posibilidad de generalizar esta metodología a casos de aplicación en distintas disciplinas. La metodología que se propone está orientada al monitoreo, al reconocimiento y a la identificación de características de interés a partir de las imágenes digitales y permite resolver problemas complejos de cuantificación de información digital en comparación con las técnicas tradicionales de procesamiento digital de imágenes. Por otra parte, en los procesos industriales la automatización y la colecta de información mediante imágenes para la caracterización o estimación de datos y la generación de diagnósticos resulta cada vez más observable en la práctica. Abre la necesidad de aplicar métodos inteligentes de análisis de una manera rápida y eficiente para obtener resultados semejantes a los del ser humano.

REFERENCIAS

- [1] Agricultura. "Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural respalda al campo mexicano ante desastres naturales". Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural 30-10-2019. DOI: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/agricultura-respalda-al-campo-mexicano-ante-desastres-naturales#:~:text=Est%C3%A1n%20destinados%20a%20productores%20afectados,maremoto%20y%20movimiento%20de%20ladera>.
- [2] SADER and SIAP. "Anexo Técnico Metodológico". Seguimiento a fenómenos que afectan al sector agroalimentario, México. pp. 1-60. 2019.
- [3] J. Xue and B. Su. "Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications". Journal of Sensors. vol. 2017. issue 1. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>.
- [4] S. G. Daxani, S. Siachalou, Z. Mitra et al. "Decision making on disaster management in agriculture with sentinel applications". The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Volume XLII-3/W8. 2019.
- [5] A. L. Yagci, L. Di, and M. Deng. "The influence of land cover-related changes on the NDVI-based satellite agricultural drought indices". IEE Geoscience and Remote Sensing Symposium. pp. 2054 - 2057. 2014.

- DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2014.6946868>.
- [6] A. E. ESA. "Copernicus Open Access Hop". Agencia Espacial Europea ESA. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. [Accessed 2021].
 - [7] E. S. Agency. SENTINEL-2 User Handbook. European Space Agency. 2015. <https://dataspace.copernicus.eu/>. [Accessed February 2022].
 - [8] V. K. A. Somayajula, D. Ghai, and S. Kumar. "A review on classification of land use / land cover change assessment based on normalized difference vegetation index". Journal of critical Reviews vol. 17. pp. 1 - 6. 2021.
 - [9] S. Huang, L. Tang, J. P. Hupy, et al. "A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (ndvi) in the era of popular remote sensing". Journal of Forestry Research. vol.33, pp. 1 - 6. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>.
 - [10] F. Kogan. "Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection". vol. 15. no. 11. 1995.
 - [11] Q. Xie. "Retrieval of crop biophysical parameters from sentinel-2 remote sensing imagery". International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation vol. 80 pp. 187 - 195. 2019. DOI: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243419301199>
 - [12] Mst Ilme Faridatul and Bayes Ahmed. "Assessing Agricultural Vulnerability to Drought in a Heterogeneous Environment: A Remote Sensing-Based Approach". MDPI. 2020. 12(20). DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12203363>
 - [13] L. Di, E. Yu, R. Shrestha y L. Lin, et al. "DVDI: a new remotely sensed index for measuring vegetation damage caused by natural disasters". IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Valencia, España. 2018. pp. 9067-9069. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8518022>
 - [14] Liping Di; Eugenio Yu; Ranjay Shrestha, et al. "A New Remotely Sensed Index for Measuring Vegetation Damage Caused by Natural Disasters". In proceedings of the 38th IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 2018.
 - [15] N. Y. T. Dmitry and V. Malakhov. "Calculation of the biophysical parameters of vegetation in an arid area of south-eastern Kazakhstan using the normalized difference moisture index (NDMI)". Central Asian Journal of Environmental Science and Technology Innovation. pp. 189-198. 2020.
 - [16] E. Wilson; S. Sader. "Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat tm imagery". Vols. 80 pp. 385 - 396. no. 06. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00318-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00318-2)
 - [17] S. K. McFeeters, "The use of the normalized difference water index (ndwi) in the delineation of open water features", Vols. 17 pp. 1425 - 1432, no. 7, 1996.
 - [18] L. A. Zadeh. "Fuzzy Sets". Information and Control B. vol. 8. no. 3. pp. 338 - 353. 1965. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).
 - [19] S. SIAP. "Manual para atención a eventos hidrometeorológicos de CADENA". México, pp. 1-123. 2013.
 - [20] S. Di, L. Guo, and L. Lin. "Rapid estimation of flood crop loss by using DVDI". 2018 7th International Conference on Agro-geoinformatics (Agro-geoinformatics). China. 2018. pp. 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1109/Agro-GeoInformatics.2018.8476083>.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Tecnológico de México en Celaya y a la Comisión Nacional del Agua Delegación Guanajuato por su apoyo y colaboración para la realización de este proyecto.