VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Detección del Impacto de la Sequía en Tierra Blanca mediante Series Temporales Landsat 8

Assessment of Drought Impacts in Tierra Blanca Using Landsat 8 Time-Series Data

Michel García Ramírez [1], Fredy Morales García [1]
[1]1Departamento de Agronomía, Centro Interdisciplinario del Noreste (CINUG), Universidad de Guanajuato, Tierra Blanca, Guanajuato, México: garcia.michel@ugto.mx, f.moralesgarcia@ugto.mx

Resumen

El presente estudio analizó el impacto de la sequía en los bosques durante los últimos 10 años, desde 2016 a 2025 para el municipio de Tierra Blanca Guanajuato. Se realizó el análisis de la precipitación mediante el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) para dos estaciones climatológicas cercanas a la zona de estudio. Se utilizaron 10 imágenes del satélite Landsat 8, una para cada año de estudio, La clasificación supervisada de las coberturas de bosque se llevó a cabo en el software eCognition Developer siguiendo un enfoque orientado a objetos. Se generó una composición de bandas (5-4-3-2, correspondiente a infrarrojo cercano, rojo, verde y azul) para resaltar la vegetación, y se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) a partir de las bandas 4 (infrarrojo cercano) y 3 (rojo), incorporándose como capa adicional al conjunto de datos de entrada. Sobre este conjunto se aplicó una segmentación multirresolución, Se seleccionaron muestras de entrenamiento, tomando como referencia los valores espectrales y el NDVI. Con base en estas muestras, se aplicó el algoritmo de clasificación por vecino más cercano. Se obtuvo el mapa temático clasificado para cada uno de los años, diferenciando la clase bosque del resto de las coberturas presentes en el municipio de Tierra Blanca. Se identifico a partir de los datos climáticos que en el año 2022 se presentó un evento de sequía extrema, lo que se detectó a través de los índices espectrales derivados de Landsat 8, donde se cuantifico una reducción del área boscosa de 16% derivado de este evento meteorológico. El análisis de series temporales Landsat 8 permitió detectar y analizar el impacto espacio-temporal de la sequía

Palabras clave: Landsat; sequia; Índice de Precipitación Estandarizado.

Introducción

La sequía constituye una amenaza compleja para la sostenibilidad ambiental, la productividad agropecuaria y la gestión del agua, especialmente en territorios áridos y semiáridos donde los déficits prolongados de precipitación se traducen en pérdida de humedad del suelo, deterioro de la vegetación y mayor vulnerabilidad a procesos de degradación del suelo, Ghobadi & Badehian (2025), Kundu et al. (2024), Avetisyan et al. (2021). Su creciente frecuencia e intensidad bajo condiciones de cambio climático ha hecho prioritaria la generación de métodos robustos para caracterizar su evolución y sus impactos sobre agroecosistemas y paisajes Ghobadi & Badehian (2025), Kundu et al. (2024).

Los métodos convencionales basados en estaciones meteorológicas e índices climáticos como SPI, PDSI o SPEI siguen siendo valiosos para describir la sequía, pero su cobertura espacial y resolución temporal suelen ser insuficientes para análisis locales detallados, sobre todo en áreas extensas o con observaciones de campo escasas según mencionan Alazba et al. (2025) y Vicente-Serrano et al. (2015). Por ello, la teledetección satelital se ha consolidado como una herramienta central para monitorear la evolución espaciotemporal de la sequía, al ofrecer series continuas, repetitivas y comparables para evaluar respuestas de la vegetación (Jiao et al. 2021, Ghobadi & Badehian 2025).

Dentro de este marco, Landsat 8 es especialmente pertinente para estudios territoriales locales porque combina resolución espacial de 30 m con recurrencia temporal de 16 días, suficiente para detectar cambios relativamente finos en cobertura vegetal y estrés hídrico (Mirzaee & Mirzakhani Nafchi, 2023). Trabajos recientes muestran que las series temporales Landsat permiten generar índices espectrales de vegetación,

humedad y sequía como NDVI, NDWI, SAVI, NMDI, VCI, TCI y VHI, útiles para representar distintas dimensiones del impacto de la sequía (Kreri et al., 2026).

Alazba et al. (2025), menciona que el NDVI sigue siendo uno de los indicadores más usados porque responde al verdor y vigor de la vegetación y ha mostrado sensibilidad a condiciones de estrés hídrico. Sin embargo, la evidencia también indica que el NDVI por sí solo tiene limitaciones, entre ellas saturación en coberturas densas y sensibilidad al fondo de suelo, por lo que varios estudios recomiendan combinarlo con índices de humedad o temperatura para mejorar la interpretación en ambientes semiáridos (Kreri et al., 2026).

La evidencia empírica también respalda el uso de series Landsat para detectar respuesta vegetal a sequía en escala local. En Dakota del Sur, la relación entre NDVI y NMDI explicó entre 88.4 % y 96.7 % de la variación de la vegetación en varios años, y cerca de 69.4 % del área mostró correlación negativa entre cobertura vegetal y sequía (Mirzaee & Mirzakhani Nafchi, 2023). En Iraq, el análisis de tendencia de NDVI con Landsat 8 detectó una disminución marcada de la vegetación, con una pérdida estimada de 47 % en 2022 respecto de 2014, asociada a alteraciones en la lluvia y a degradación de tierras (Azeez et al., 2025).

La necesidad de estudiar el impacto de la sequía en el Municipio de Tierra Blanca, Guanajuato radica en que los territorios semiáridos requieren monitoreo continuo para identificar zonas donde la sequía compromete la vegetación, la humedad superficial y la estabilidad del paisaje, información clave para la gestión del agua y el uso del suelo según mencionan Kundu et al. (2024) y Agarwal et al. (2025).

En el municipio no se dispone de una caracterización espacio-temporal suficientemente precisa del impacto de la sequía sobre la cobertura vegetal y la condición hídrica superficial mediante series Landsat 8, lo que limita la identificación de áreas críticas y la comprensión de los patrones de deterioro ambiental. Esta necesidad está alineada con la evidencia de que la teledetección permite detectar tendencias, anomalías y cambios abruptos en la vegetación asociados a eventos secos y procesos de degradación. Es por ello que el presente trabajo pretende detectar y analizar el impacto de la sequía en Tierra Blanca, Guanajuato, mediante series temporales Landsat 8, a partir de la variación espacial y temporal de índices espectrales asociados al vigor vegetal y la condición hídrica.

Metodología

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Tierra Blanca, localizado en la región noreste del estado de Guanajuato, México (Figura 1). El municipio se sitúa aproximadamente entre las coordenadas 21°06′ de latitud norte y 100°10′ de longitud oeste, con una altitud media cercana a 1,750 m s. n. m. Limita al norte con el municipio de Victoria, al sur con Santa Catarina, al este con Xichú y al oeste con San Luis de la Paz. La región se caracteriza por un relieve predominantemente montañoso, clima semiárido y una marcada variabilidad en la disponibilidad hídrica, condiciones que la hacen particularmente vulnerable a procesos de sequía y degradación de la cobertura vegetal.

VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx



Figura 1. Localización del municipio de Tierra Blanca

Datos climáticos

A partir de la información geoespacial disponible en el Servicio Meteorológico Nacional, se localizaron las estaciones climatológicas cercanas a la zona de estudio, una vez identificadas, se realizó la descarga de la información diaria para verificar que contaran con información de series completas.

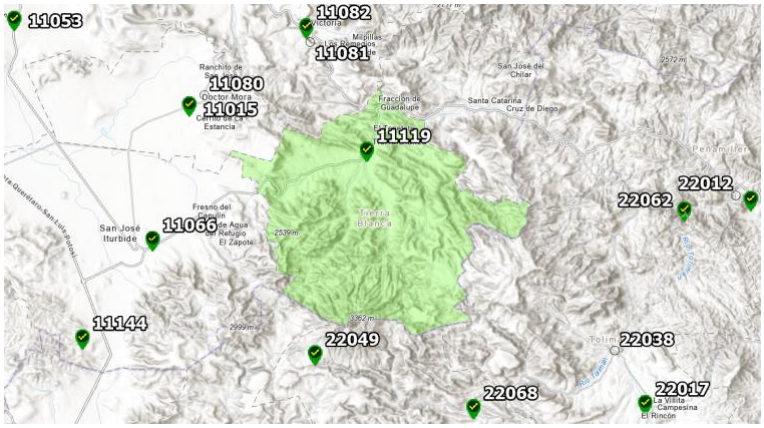

Figura 2. Estaciones climatológicas en la zona de estudio

Se recopiló información de precipitación diaria correspondiente a un periodo de 10 años, proveniente de las estaciones meteorológicas y/o productos climáticos de cobertura espacial continua. Los datos fueron depurados y agregados a escalas mensual y anual. A partir de estas series se calcularán anomalías de precipitación e indicadores de sequía, los cuales se integrarán espacialmente al área de estudio para su análisis conjunto con la información satelital.

Índice de sequía SPI

Para calcular el impacto de la sequía en la zona de estudio se utilizó el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) el cual es un indicador probabilístico de sequía meteorológica que cuantifica el déficit o superávit de precipitación respecto de las condiciones históricas de una región, con la ventaja de permitir comparaciones espaciales y temporales mediante una serie normal estandarizada (Guttman, 1999). Su cálculo se realiza a partir de la precipitación acumulada en distintas escalas temporales, comúnmente de 1, 3, 6, 12 y 24 meses, ajustando los datos a una función de distribución de probabilidad, tradicionalmente gamma, e incorporando

la probabilidad de valores de precipitación iguales a cero; posteriormente, la probabilidad acumulada se transforma a una distribución normal estándar con media cero y desviación estándar uno, de modo que valores negativos indican condiciones secas y valores positivos condiciones húmedas (Pieper et al., 2020).

Descarga de imágenes Landsat

Se construyó una serie temporal de 10 años a partir de imágenes Landsat 8 (OLI/TIRS) en formato de reflectancia superficial nivel 2 (Tabla 1). Las escenas se seleccionarán con base en un bajo porcentaje de nubosidad para mejorar la clasificación. El identificador de las imágenes Landsat correspondió a la columna 027 y fila 045, la cual abarca el municipio de Tierra Blanca.

Tabla 1. *Imágenes descargadas*

Nombre	Fecha	Año
1	01/abril	2016
2	20/abril	2017
3	07/abril	2018
4	10/abril	2019
5	27/marzo	2020
6	15/abril	2021
7	02/abril	2022
8	12/marzo	2023
9	07/abril	2024
10	10/abril	2025

Procesamiento de imágenes

Para la extracción de las bandas espectrales correspondientes al área de estudio, se utilizó la herramienta Extract by Mask del módulo Spatial Analyst en ArcGIS Pro. Previamente, se generó una capa vectorial (shapefile) con el límite administrativo del municipio de Tierra Blanca, la cual se empleó como máscara de recorte. Las bandas 2 (azul), 3 (verde), 4 (rojo) y 5 (infrarrojo cercano) de cada imagen Landsat, previamente proyectadas al mismo sistema de coordenadas que la máscara (UTM correspondiente a la zona de estudio), fueron procesadas individualmente mediante Extract by Mask, seleccionando cada banda como ráster de entrada y el polígono municipal como entidad de recorte (input mask data). Como resultado, se obtuvieron rásters recortados exclusivamente al área del municipio, conservando la resolución espacial original (30 m) y los valores de reflectancia de cada píxel, lo que permitió reducir el volumen de datos y enfocar los análisis posteriores (composición de bandas, segmentación y cálculo de NDVI) únicamente en la zona de interés. (Figura 3 y Figura 4).

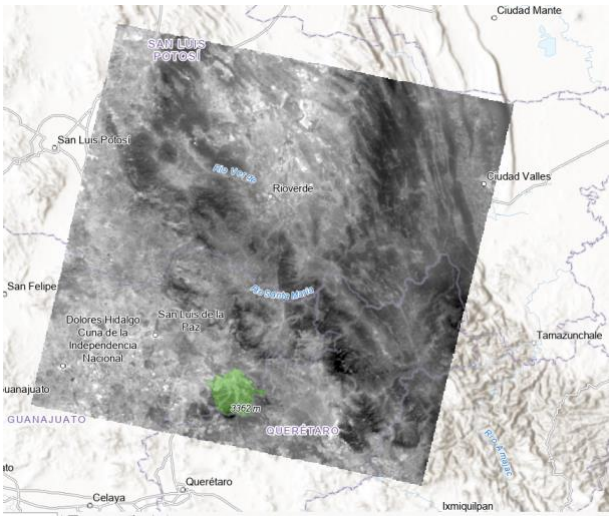

Figura 3. Imagen Landsat correspondiente a la columna 027 y fila 045

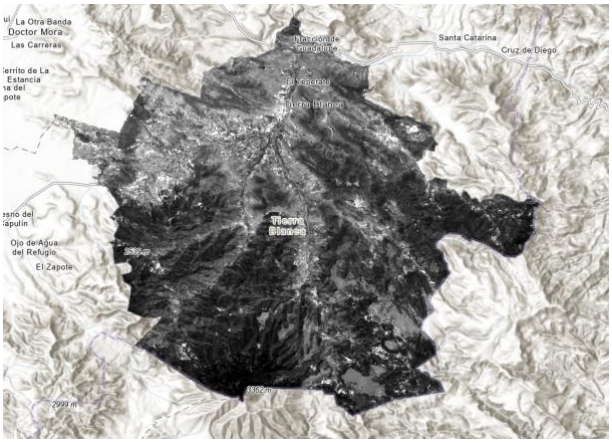

Figura 4. Imagen Landsat recortada al municipio de Tierra Blanca

Clasificación supervisada

La clasificación supervisada de las coberturas de bosque se llevó a cabo en el software eCognition Developer siguiendo un enfoque orientado a objetos. En primer lugar, se generó una composición de bandas (5-4-3-2, correspondiente a infrarrojo cercano, rojo, verde y azul) para resaltar la vegetación, y se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) a partir de las bandas 4 (infrarrojo cercano) y 3 (rojo), incorporándose como capa adicional al conjunto de datos de entrada. Sobre este conjunto (bandas originales + NDVI) se aplicó una segmentación multirresolución, definiendo los parámetros de escala, forma y compacidad de manera que los segmentos generados representaran unidades espaciales homogéneas y coherentes con los límites reales de la cobertura vegetal, evitando la sobre-segmentación o fusión de clases distintas. Posteriormente, se seleccionaron muestras de entrenamiento representativas de cada clase de interés (bosque, y las demás coberturas del área de estudio), tomando como referencia los valores espectrales, el NDVI y la interpretación visual de la composición de bandas. Con base en estas muestras, se aplicó el algoritmo de clasificación por vecino más cercano (Nearest Neighbor), el cual asigna cada segmento a la clase cuyo vector de características (valores de banda, NDVI y atributos de forma/textura) presenta la menor distancia en el espacio de características respecto a las muestras de entrenamiento. Finalmente, se

obtuvo el mapa temático clasificado, diferenciando la clase bosque del resto de las coberturas presentes en el municipio de Tierra Blanca (Figura 5.

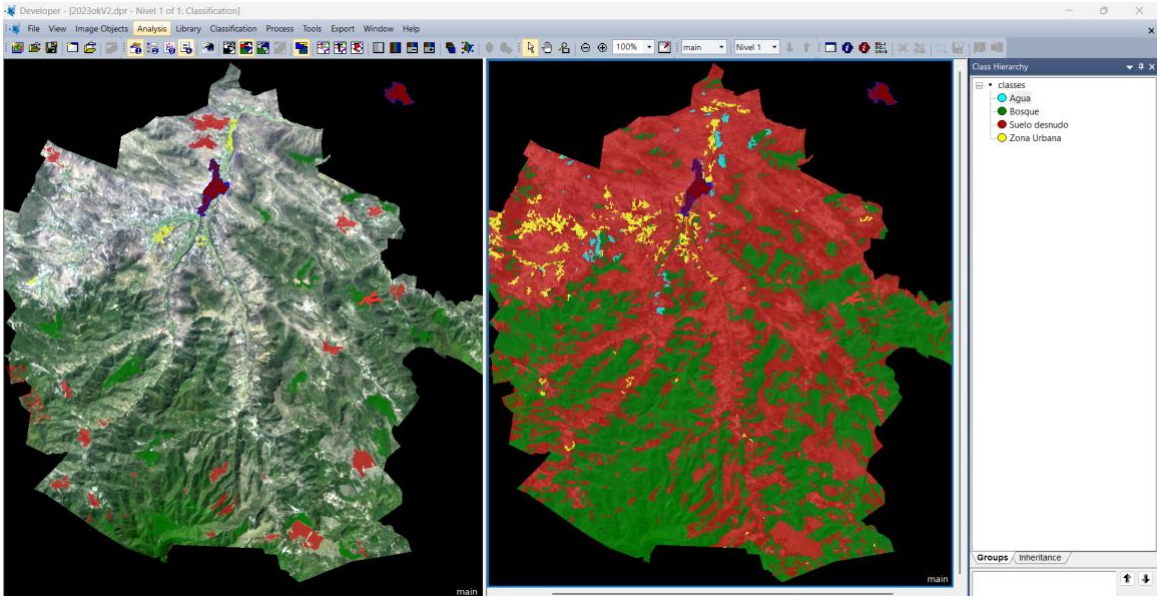

Figura 5. Clasificación supervisada en Ecognition

Cuantificacion de areas

Para exportar los resultados de la clasificación, en eCognition se utilizó la función Export Results (a nivel de imagen clasificada u objetos de imagen), generando un archivo vectorial en formato shapefile a partir de los segmentos clasificados, de manera que cada polígono conservara el atributo de clase asignado durante el proceso de clasificación por vecino más cercano (bosque y demás coberturas). Este shapefile se exportó manteniendo el sistema de referencia de coordenadas de las imágenes originales, para garantizar su compatibilidad con el resto de las capas del proyecto. Posteriormente, el shapefile se importó a ArcGIS Pro, donde se realizó una revisión topológica y, de ser necesario, una disolución de polígonos (herramienta Dissolve) según el campo de clase, con el fin de unificar los segmentos pertenecientes a una misma categoría. Para la cuantificación de áreas, se empleó la calculadora de campos (Calculate Geometry o Add Geometry Attributes), calculando la superficie de cada polígono en hectáreas; posteriormente, mediante una tabla dinámica o la herramienta Summary Statistics, se agruparon y sumaron las áreas por clase, obteniendo así la extensión total de bosque y de las demás coberturas clasificadas para cada año analizado. Este procedimiento se repitió de forma sistemática para cada imagen Landsat de la serie anual, lo que permitió comparar la evolución de la superficie boscosa a lo largo del periodo de estudio.

ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

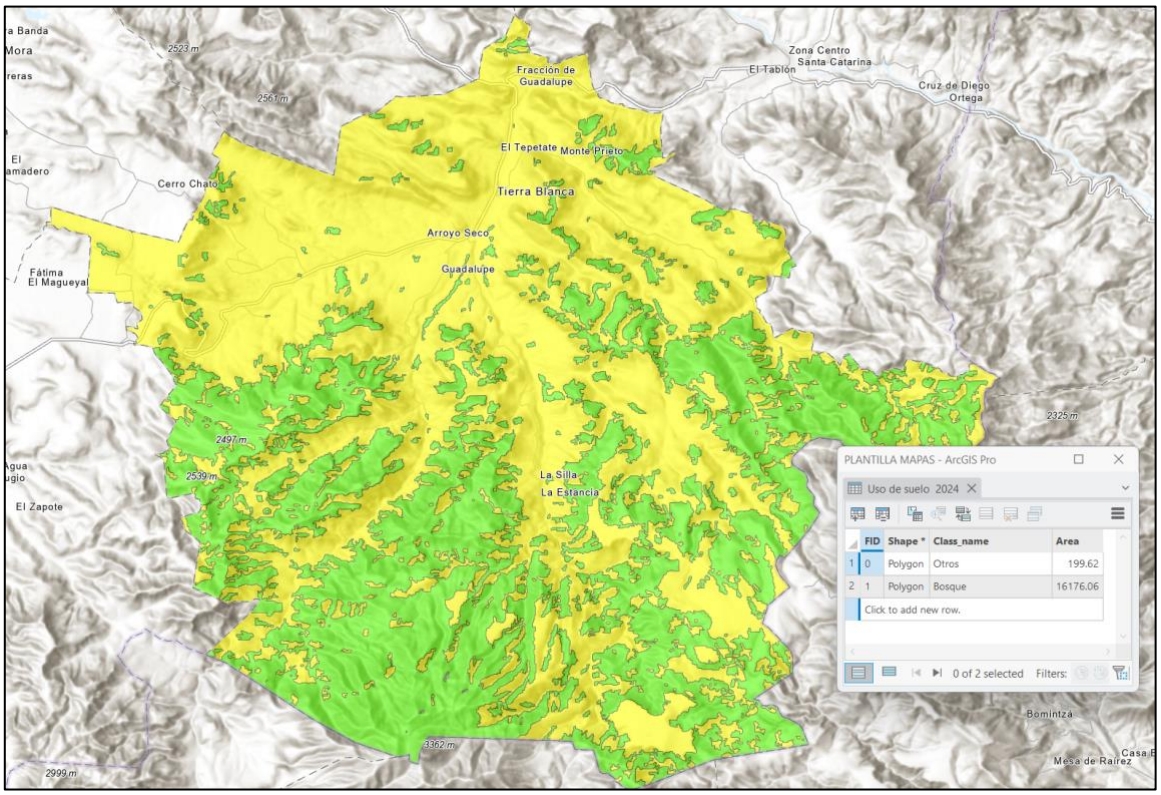

Figura 6. Cuantificación de áreas en Argis Pro

Resultados

Información climatológica

Una vez analizadas las estaciones climatológicas se localizaron aquellas que contaban con datos completos hasta el año 2025, estas fueron la estación 22062 Guillen, Peñamiller (Figura 7) y la estación 11083 Villa Victoria, Victoria (Figura 8). El comportamiento de la precipitación anual en la estaciones muestra una variabilidad alta a lo largo del periodo 2015-2025, con un promedio de 415 mm para la estación 22062 y 550mm para la 11083. Se identifica un año con déficit hídrico pronunciado en 2022, 193 mm, 43% por debajo de la media para la estación 22062 y 219mm, 40% por debajo de la media para la estación 11083.

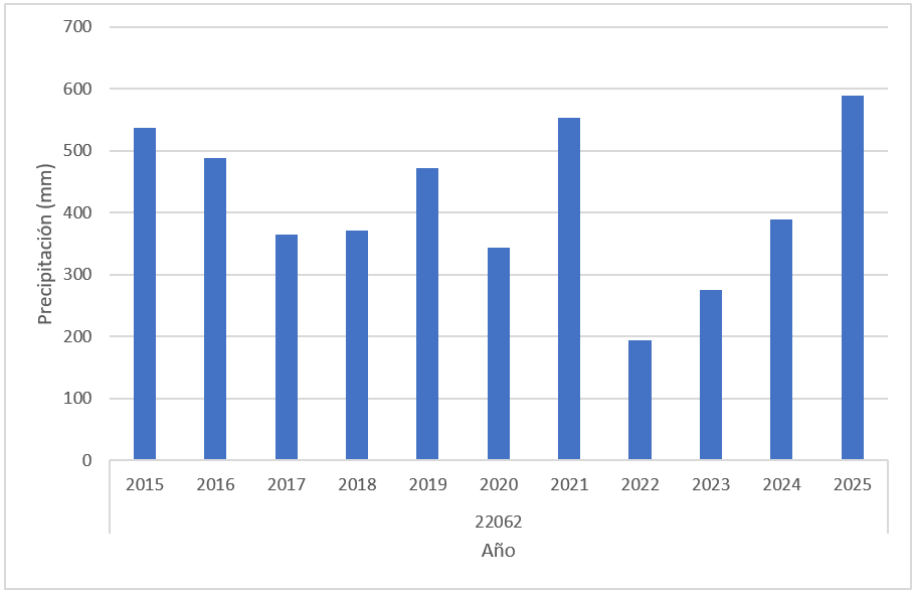

Figura 7. *Comportamiento de la precipitación de la estación 22062 Guillen, Peñamiller*

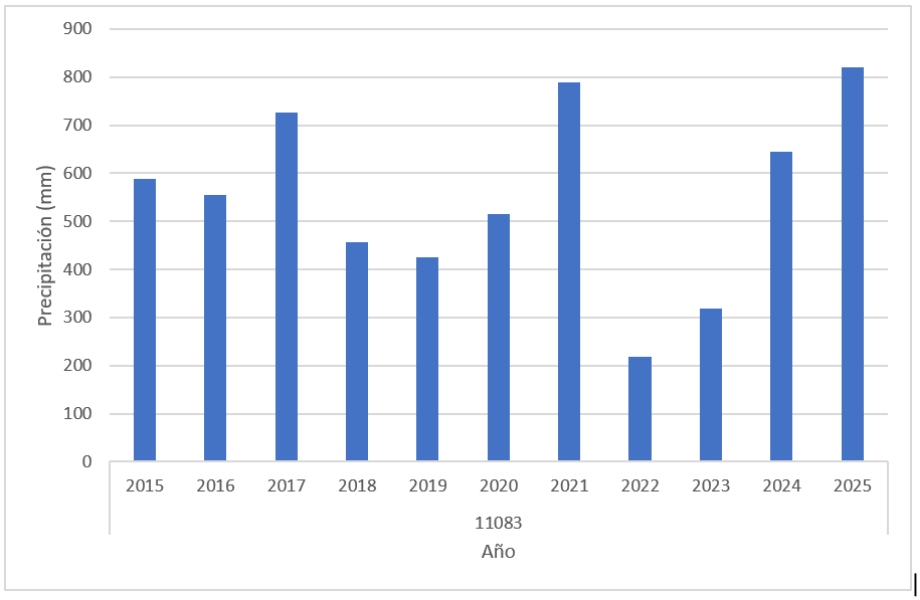

Figura 8. *Comportamiento de la precipitación de la estación 11083 Villa Victoria, Victoria*

Índice de sequía

La clasificación anual del SPI para el periodo 2015-2025 de la estación 22062 muestra una alternancia de fases húmedas y secas, con datos completos (12 meses) en todos los años (Tabla 2). Los años 2015, 2017, 2021 y 2024 se clasificaron como normales, mientras que 2016 registró sequía moderada. A partir de 2018 se observa un episodio de intensificación progresiva: sequía severa en 2018 y 2019, que escaló a sequía extrema en 2020, seguida de una recuperación transitoria a condiciones normales en 2021. Un segundo episodio, de mayor severidad relativa, se presentó en 2022 (sequía extrema) y se prolongó como sequía

severa en 2023, antes de retornar a condiciones normales en 2024 y 2025. Esta secuencia es consistente con los totales de precipitación anual registrados en la misma estación, donde los años clasificados como severos o extremos (2018-2020 y 2022-2023) corresponden precisamente a los de menor volumen de lluvia (455, 425, 515, 215 y 320 mm, respectivamente), lo que confirma la coherencia interna entre el índice estandarizado y los datos crudos de precipitación como indicadores complementarios de la sequía meteorológica en la zona de estudio.

Tabla 2. Índice de sequía SPI para la estación 22062

Año	Meses con dato	SPI
2015	12	normal
2016	12	sequia moderada
2017	12	normal
2018	12	sequia severa
2019	12	sequia severa
2020	12	sequia extrema
2021	12	normal
2022	12	sequia extrema
2023	12	sequia severa
2024	12	normal
2025	12	normal

Para la estación 11082, el Índice Estandarizado de Precipitación durante el periodo 2015-2025 muestra una fase prolongada de condiciones normales entre 2015 y 2020, sin desviaciones significativas respecto a la mediana histórica de precipitación. A partir de 2021 se registra una transición hacia condiciones moderadamente húmedas, seguida por el evento más severo de toda la serie: en 2022 el SPI anual alcanzó la categoría de sequía extrema, coincidiendo con el mínimo de precipitación del periodo (219 mm, frente a un promedio superior a 550 mm en los años normales). Este episodio de déficit hídrico se prolongó, con menor intensidad, hasta 2023, año clasificado como sequía moderada, antes de que las condiciones se revirtieran hacia un régimen más húmedo en 2024 y 2025. Este comportamiento es consistente con la reducción abrupta de precipitación observada entre 2021 (788 mm) y 2022 (219 mm), y confirma que el SPI, pese a basarse en una serie relativamente corta (11 años), logra identificar con claridad el evento de sequía más severo del registro disponible para esta estación.

Tabla 3. Índice de sequía SPI para la estación 11083

Año	Meses con dato	SPI
2015	12	normal
2016	12	normal
2017	12	normal
2018	12	normal
2019	12	normal
2020	12	normal
2021	12	moderadamente húmedo
2022	12	sequia extrema
2023	12	sequia moderada
2024	12	normal
2025	12	moderadamente húmedo

Superficies

La clasificación supervisada de imágenes Landsat para el periodo 2016-2025 generó las superficies de uso de suelo (Tabla 4) referente a bosques y otros (suelo desnudo, zona urbana, agua, etc). El Municipio de Tierra Blanca cuenta con una superficie de 40,918 ha. Considerando el promedio de los años previos a la sequía extrema presentada en 2022, la cobertura de bosque presento una pérdida de 16% y en los años posteriores se muestra una tendencia de recuperación. Esta fase de pérdida coincide temporalmente con el episodio de sequía extrema identificado mediante el SPI anual en 2022 y su continuación como sequía moderada en 2023, lo que sugiere una posible asociación entre el déficit hídrico registrado en la estación climatológica y la reducción de cobertura forestal detectada por teledetección en el municipio de Tierra Blanca.

Tabla 4. *Superficies clasificadas*

Uso de suelo	Superficie en hectáreas									
	2016	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**
Bosque	18,459.90	17,253.90	16,733.34	19,953.54	19,129.50	19,104.35	19,079.19	15,635.00	16,176.10	16,717.20
Otros	22,458.78	23,664.24	24,184.17	20,964.69	21,788.28	21,813.44	21,838.32	25,283.68	24,742.04	24,200.94

Planos de uso de suelo

A partir de la clasificación supervisada de las imágenes Landsat 8 correspondientes al periodo 2016-2025, se generó un mapa de uso de suelo para cada uno de los diez años analizados, delimitado a los límites municipales de Tierra Blanca. En cada mapa se representaron dos clases de cobertura: Bosque (vegetación forestal) y Otros (suelo desnudo y demás usos de suelo),. La Figura 9 muestra, a manera de ejemplo, el mapa correspondiente a 2024, en el que se aprecia una distribución espacial diferenciada de la cobertura forestal, concentrada principalmente en la porción centro-sur del municipio, de mayor relieve montañoso, mientras que la clase Otros predomina en el sector norte, de topografía más plana; para ese año la clasificación cuantificó 16,176.10 ha de bosque y 24,742.04 ha de suelo desnudo y otros usos. La serie completa de mapas anuales permite además visualizar espacialmente los periodos de mayor contracción de la cobertura forestal identificados en el análisis cuantitativo, en particular la pérdida registrada entre 2022 y 2023, coincidente con el episodio de sequía extrema detectado mediante el SPI anual para la estación climatológica de referencia.

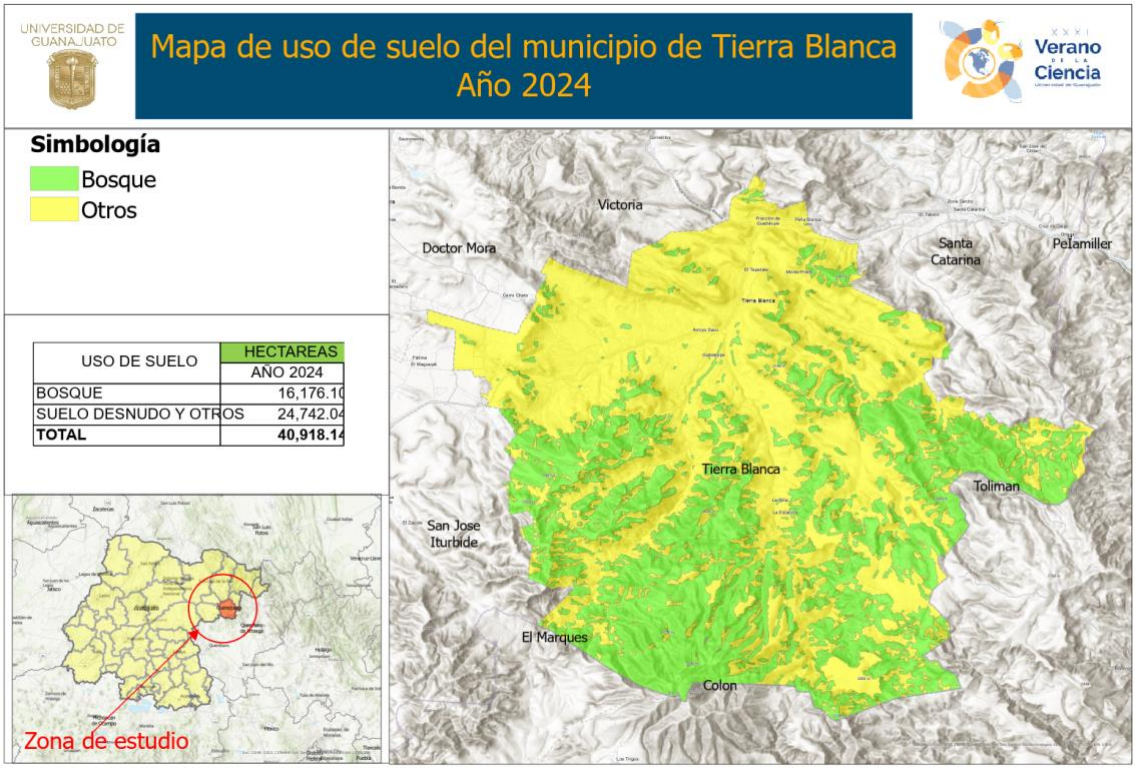

Figura 9. Mapa de uso de suelo para el año 2024

Conclusiones

El análisis de series temporales Landsat 8 permitió detectar y analizar el impacto espacio-temporal de la sequía sobre la cobertura vegetal del municipio de Tierra Blanca, Guanajuato.

A partir de los datos climatológicos, se identificó una sequia extrema en el año 2022 para las 2 estaciones analizadas. mediante el Índice Estandarizado de Precipitación

La variación de la cobertura forestal obtenida de la clasificación supervisada coincide con el evento de sequía extrema registrado en 2022, y con la pérdida interanual de bosque más pronunciada de todo el periodo analizado. Esta correspondencia confirma que el déficit hídrico tuvo una expresión biofísica detectable a través de los índices espectrales derivados de Landsat 8, validando el uso de series temporales satelitales como herramienta para el monitoreo de sequía a escala municipal.

Bibliografía/Referencias

Agarwal, V., Vishvendra Raj Singh, B., Marsh, S., Qin, Z., Sen, A., & Kulhari, K. (2025). Integrated Remote Sensing for Enhanced Drought Assessment: A Multi-Index Approach in Rajasthan, India. *Earth and Space Science*, *12*(2). https://doi.org/10.1029/2024EA003639

Alazba, A. A., Mossad, A., Geli, H. M. E., El-Shafei, A., Elkatoury, A., Ezzeldin, M., Alrdyan, N., & Radwan, F. (2025). Mapping Land Surface Drought in Water-Scarce Arid Environments Using Satellite-Based TVDI Analysis. *Land*, *14*(6), 1302. https://doi.org/10.3390/land14061302

Avetisyan, D., Borisova, D., & Velizarova, E. (2021). Integrated Evaluation of Vegetation Drought Stress through Satellite Remote Sensing. *Forests*, *12*(8), 974. https://doi.org/10.3390/f12080974

Azeez, M. H., Jawad Al Sharaa, H. M., & T. Ziboon, A. R. (2025). Time series analysis of vegetation index and land degradation assessment in Dhi Qar governorate (Iraq). *Journal of Engineering and Sustainable Development*, *29*(5), 634–642. https://doi.org/10.31272/jeasd.2864

Ghobadi, M., & Badehian, Z. (2025). Assessment of agricultural drought severity using multi-temporal remote sensing data in Lorestan region. *Scientific Reports*, *15*(1), 18528. https://doi.org/10.1038/s41598-025-03087-4

Guttman, N. B. (1999). ACCEPTING THE STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX: A CALCULATION ALGORITHM [1]. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, *35*(2), 311–322. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x

Jiao, W., Wang, L., & McCabe, M. F. (2021). Multi-sensor remote sensing for drought characterization: current status, opportunities and a roadmap for the future. *Remote Sensing of Environment*, *256*, 112313. https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112313

Kreri, S., Farhi, N., Bennia, A., Derdour, A., Kébir, L. W., Alharbi, K. M., Bojer, A. K., & Arafat, A. A. (2026). Remote sensing assessment of vegetation and moisture dynamics in semi-arid regions. *Scientific Reports*, *16*(1), 6549. https://doi.org/10.1038/s41598-026-37781-8

Kundu, A., Dutta, D., Patel, N. R., & Denis, D. M. (2024). Drought Dynamics: Enhanced Characterization Through Hyper-Temporal Satellite Observations. *Hydrological Processes*, *38*(12). https://doi.org/10.1002/hyp.70015

Mirzaee, S., & Mirzakhani Nafchi, A. (2023). Monitoring Spatiotemporal Vegetation Response to Drought Using Remote Sensing Data. *Sensors*, *23*(4), 2134. https://doi.org/10.3390/s23042134

Pieper, P., Düsterhus, A., & Baehr, J. (2020). A universal Standardized Precipitation Index candidate distribution function for observations and simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*, *24*(9), 4541–4565. https://doi.org/10.5194/hess-24-4541-2020

Vicente-Serrano, S., Cabello, D., Tomás-Burguera, M., Martín-Hernández, N., Beguería, S., Azorin-Molina, C., & Kenawy, A. (2015). Drought Variability and Land Degradation in Semiarid Regions: Assessment Using Remote Sensing Data and Drought Indices (1982–2011). *Remote Sensing*, *7*(4), 4391–4423. https://doi.org/10.3390/rs70404391