

Análisis de las actividades y uso de la tierra mediante imágenes satelitales durante 2023 del municipio de Santo Domingo Zanatepec, Oaxaca

Gabriela Lizbeth Sanchez-Miguel, Hirvin Gorospe Zetina *, Francisco Javier Naranjo-Luna, Rodolfo Campos-Tenorio, Mario Adrian Lopez Ortiz, Maria Guadalupe de los Santos Zavala

Sistemas de Información Geográfica, Forestal, Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza, Veracruz, México.

* Autor de correspondencia: Gorospezh@itsjc.edu.mx; Tel.: 9241470999

Desarrollo Sustentable (Agricultura Sustentable)

Recibido: 19 de junio de 2025

Aceptado: 26 de julio de 2025

Publicado: 2 de marzo de 2026

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v5i1.553>

Resumen: El análisis de las actividades agrícolas, ganaderas, forestales, así como la distribución del uso de la tierra en el municipio de Santo Domingo Zanatepec, Oaxaca, durante el año 2023. Se realizó mediante el uso de imágenes satelitales. Se emplearon herramientas como ArcGIS 10.8 y LandViewer. Aplicando métodos de clasificación supervisada para identificar áreas específicas de cultivo, huertas de mango, ganadería, cuerpos de agua y zonas erosionadas. Los resultados reflejan una precisión del 88.11% en la clasificación de usos del suelo, destacando la importancia de estas herramientas en la toma de decisiones para el desarrollo sostenible del municipio. Se concluye que la integración de datos geospaciales y teledetección es crucial para mejorar la gestión de los recursos naturales y mitigar los impactos ambientales.

Palabras clave: agrícola, ganaderas, teledetección, imágenes, clasificación

Analysis of land activities and use using satellite images during 2023 in the municipality of Santo Domingo Zanatepec, Oaxaca

Abstract: The analysis of agricultural, livestock areas, and forestry activities, as well as land use distribution in the municipality of Santo Domingo Zanatepec, Oaxaca, during 2023, was carried out using satellite imagery. Tools such as ArcGIS and LandViewer were used, applying supervised classification methods to identify specific crop areas, mango orchards, livestock, water bodies, and eroded areas. The results reflect an accuracy of 88.11% in land use classification, highlighting the importance of these tools in decision-making for the sustainable development of the municipality. It is concluded that the integration of geospatial data and remote sensing is crucial to improve natural resource management and mitigate environmental impacts.

Keywords: agriculture, livestock, remote sensing, images, classification

Introducción

El uso de la tierra esta caracterizado por las funciones que se desarrollan sobre la cobertura del suelo, actividades realizadas por el hombre para producir, cambiarla o mantenerla (Gamarra, 2017). El análisis de las actividades agrícolas, ganaderas, forestales y usos del suelo a través de imágenes satelitales es fundamental para comprender la relación entre el ser humano y el medio ambiente.

El análisis visual de imágenes se realiza empleando tres bandas del sensor coincidiendo con la capacidad de los monitores, empleados en informática, monitores RGB (rojo, verde y azul) (Navarro, 2018). Una imagen satelital representa visualmente la información capturada por el sensor montado en un satélite artificial (Amézquita Becerra & Pérez Castillo, 2009).

Villatoro (2021) menciona que la misión completa de SENTINEL-2 comprende satélites gemelos de órbita polar en la misma órbita, en fase a 180° entre sí. La serie de satélites de observación de la tierra Sentinel-2 puede proporcionar imágenes de teledetección de alta resolución espacial, espectral y temporal gracias a sus sensores de instrumento multispectral. Las resoluciones espaciales de Band1, Band9 Band10 (60m) Band5, Band6, Band7, Band8A, Band12 (20m) y Band2, Band3, Band4, Band8 (10 m) (Zhang *et al.*, 2021).

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el territorio que comprende el municipio de Santo Domingo Zanatepec, se localiza en la parte sureste en el estado de Oaxaca, forma parte de la región Istmo que integra al distrito de Juchitán, las coordenadas geográficas entre las que se encuentra ubicado son los paralelos 16° 28' latitud norte del trópico de cáncer y los meridianos 94°28' longitud oeste del meridiano de Greenwich, a 60 metros sobre el nivel del mar, El municipio cuenta con una superficie territorial de 1,024.49 kilómetros cuadrados (Figura 1).

Los datos espacio-temporales referentes al cambio de uso de suelo provienen de una fuente variada como son las fotografías aéreas, imágenes satelitales, cartas topográficas digitalizadas y mapas digitales. La característica principal de estos datos es que presentan una ubicación geográfica (coordenadas planas), facilitando la localización de un evento en un territorio dado.

Se utilizaron imágenes satelitales ya que actualmente son de fácil acceso lo que da paso al estudio de diferentes aspectos de la tierra; Para el preprocesamiento de las imágenes satelitales se siguió la metodología adoptada de la propuesta realizada por (Pastrana,2011) (Figura 2).

El material base utilizado fueron imágenes del satélite, Sentinel-2B de las bandas 2, 8ª y 11 (son representaciones gráficas del espectro electromagnético) obtenidas de LandViewer, necesarias para su incorporación en ArcGIS 10.8 (Paucar,2024), también se utilizó la cartografía de la división política municipal de México, a una escala de 1:250000.

La clasificación supervisada es la técnica de clasificación de imágenes se basa en agrupar píxeles que poseen regiones del espectro similares y que pueden asociarse con diferentes clases de coberturas del suelo. Este conocimiento se puede obtener mediante mediciones de campo, imágenes aéreas, cartografías del área de estudio o expertos en el dominio de las regiones u objetos de clasificar (Robles,2007). Para el análisis en Sentinel 2, se utilizó la clasificación supervisada de máxima verosimilitud (MLC), clasificador que se basa en el un píxel pertenezca a una clase particular:

$$D = \ln(ac) - [0.5 \ln(|Covc|)] - [0.5(X - Mc)^T (Covc - 1)(X - Mc)] \quad (1)$$

Donde D es la distancia ponderada (probabilidad) c es una clase particular ; X es el vector de medición del píxel candidato; Mc es el vector medio de la muestra de clase c; ac es el porcentaje de probabilidad de que cualquier píxel candidato sea miembro de la clase c(el valor predeterminado es 1.0 o se integren a partir del conocimiento a priori); Covc es la matriz de covarianza de los píxeles en la muestra de la clase c; |Covc| es el determinante de Covc (álgebra matricial); Covc – 1 es el intervalo de Covc, ln es la función logaritmo natural; y T es la función de transposición (Iema, 2021).



Figura 1. Macrolocalización del municipio de Santo Domingo Zanatepec

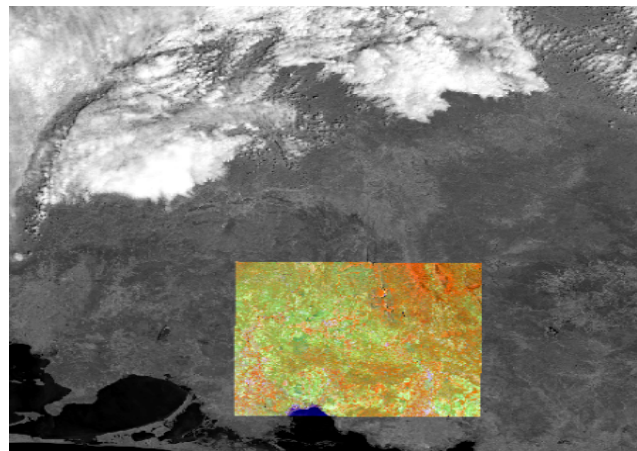


Figura 2. Macrolocalización del municipio de Santo Domingo Zanatepec

Matriz de Confusión. La matriz de confusión se constituye a partir de una imagen de satélite con N celdillas clasificando en M clases. Sobre las columnas se ordenan las clases reales y sobre las filas las unidades cartográficas. Los elementos que aparecen en la diagonal nos indican el número de clasificación realizadas correctamente y aquellos que aparecen fuera suponen migraciones o fugas. (Muñoz, 2016). Se obtuvo a partir de muestras que confirman las coordenadas del municipio con 90 puntos por categoría. El muestreo es crucial porque una representación precisa y detallada del área de estudio, con ellos garantizar que los datos recopilados sean representativos del área total, lo que permite el análisis preciso y fiables. Con la herramienta de post-clasificación esencial para validar los resultados obtenidos de una clasificación previa. Esta matriz permitió comparar los datos de la clasificación realizada con valores observados o de referencia, facilitando la evaluación de la precisión y fiabilidad de los resultados.

A través de esta comparación, es posible identificar aciertos y errores en las categorías clasificadas, proporcionando una medida cuantitativa de la exactitud del modelo de clasificación (Tabla 1).

Tabla 1. Matriz de porcentaje obtenida de la matriz de confusión

RASTER_ VALU	Z.E	C.A	Z.A	C.M	Z.G	TOTAL	EXACTITUD DE USUARIO	ERROR DE COMISIÓN
Z.E	25	0	6	0	3	34	73.53	26.47
C.A	0	50	0	0	0	50	100	0
Z.A	5	0	42	0	0	47	89.39	10.64
C.M	11	0	3	51	1	66	77.27	22.73
Z.G	0	0	0	0	47	47	100	0
TOTAL	41	50	51	51	51	244	88.11	
EXACTITUD DEL PRODUCTO	61	100	82	100	92	435		
ERROR DE OMISIÓN	39	0	18	0	8			

Z.E=Zonas erosionadas; C.A=Cuerpo de agua; Z.A=Zonas agrícolas; C.M=Cultivo de mango; Z.G.=Zona ganadera.

Resultados y Discusión

Análisis de la clasificación supervisada a partir del análisis de la matriz de confusión. Teniendo los valores por la clasificación en cuenta a la matriz de confusión (Tabla 2), se determinó la confiabilidad de la clasificación en la Tabla 2 se evidencia los verdaderos positivos (TP), verdadero negativo (TN), falsos positivos (FP) y los falsos negativos (FN) mostradas con sus siglas en inglés (Tabla 3).

Tabla 2. Matriz de porcentaje obtenida de la matriz de confusión

RASTER_ VALU	ZONAS EROSIONADAS	CUERPOS DE AGUA	ZONAS AGRÍCOLAS	CULTIVO DE MANGO	ZONAS GANADERAS
ZONAS EROSIONADAS	10.25%	0%	2.46%	0%	1.23%
CUERPOS DE AGUA	0%	20.49%	0%	0%	0%
ZONAS AGRÍCOLAS	2.05%	0%	17.21%	0%	0%
CULTIVO DE MANGO	4.51%	0%	1.23%	20.90%	0.41%
ZONAS GANADERAS	0%	0%	0%	0%	219.26%

Tabla 3. Variable que determinan la confiabilidad de la clasificación supervisada

CLASES	TP	TN	FP	FN
ZONAS EROSIONADAS	10.25%	79.5%	7.01%	3.69%
CUERPOS DE AGUA	20.49%	79.51%	0%	0%
ZONAS AGRICOLAS	17.21%	77.05%	3.69%	2.05%
CULTIVO DE MANGO	20.9%	72.95%	0%	6.15%
ZONAS GANADERAS	19.26%	79.1%	1.64%	0%

TP=Verdaderos positivos; TN=Verdaderos negativos; FP=Falsos positivos; FN=Falsos negativos

El Tabla 3 de la clasificación muestra el desempeño del modelo en la identificación de diferentes tipos de terreno. Para las Zonas Erosionadas, el modelo acertó en muchos casos, identificando correctamente varias las áreas erosionadas y no erosionadas, aunque hubo errores al clasificar incorrectamente algunas áreas como erosionadas cuando no lo eran y al no reconocer otras el modelo se desempeña de forma sobresaliente.

En los cuerpos de agua, modelo demostró una precisión perfecta, identificando todos los casos sin errores; Las zonas agrícolas mostraron un buen rendimiento, con la mayoría de los casos correctamente identificados, aunque también con algunos errores en la clasificación similares al caso de las zonas erosionadas. Para los cultivos de mango se identificado correctamente la mayoría de los casos, pero hubo algunos cultivos que no fueron detectados. Finalmente, en las zonas ganaderas, el modelo mostro alta precisión, con una gran mayoría de los casos correctamente identificados y muy pocos errores.

El modelo de clasificación permite identificar correctamente diferentes tipos de terrenos usando cuatro métricas, sensibilidad, especificidad, exactitud y precisión (Tabla 4). La sensibilidad mide la capacidad del modelo para detectar correctamente casos positivos en cada categoría; los valores más altos en esta métrica, como el 100 % para los cuerpos de agua y zonas ganaderas, indican una detección perfecta. La especificidad refleja la precisión al identificar correctamente los casos negativos, siendo también del 100 % para cuerpos de agua y cultivos de mango, lo que significó que no hubo falsos positivos. La exactitud indico la proporción total de predicciones correctas con el 100% para cuerpos de agua y altos valores en otras categorías, lo que sugiere una alta fiabilidad del modelo. Finalmente, la precisión muestra cuantos de los cosos predichos como positivos realmente lo son destacándose el 100% para cuerpos de agua y cultivo de mango, lo que indico una clasificación sin errores en esta área.

Tabla 4. Indicadores de rendimiento de la clasificación en diferentes zonas

Descripción	Zonas erosionadas	Cuerpos De Agua	Zonas agrícolas	Cultivo De Mango	Zonas ganaderas
Sensibilidad	73.53%	100%	89.36%	77.26%	100%
Especificidad	91.90%	100%	95.43%	100%	97.97%
Exactitud	89.35%	100%	94.26%	93.85%	98.36%
Precisión	59.39%	100%	82.34%	100%	92.15%

Análisis cartográfico

Durante el análisis se realizó un mapa del municipio de santo domingo Zanatepec, el mapa representa una clasificación supervisada de las actividades y uso del suelo utilizando imágenes satelitales del año 2023. La proyección es UTM con Datum Horizontal WGS-1987, ubicada en la Zona 16 Norte y con una escala de 1:380,000. La clasificación tiene una precisión total del 88.11% basada en una matriz de confusión, lo que indica un alto grado de fiabilidad en los datos presentados. También se realizó una clasificación exhaustiva de los divertidos tipos de usos del suelo, y se detalló la superficie en hectáreas(ha) (Figura 3).

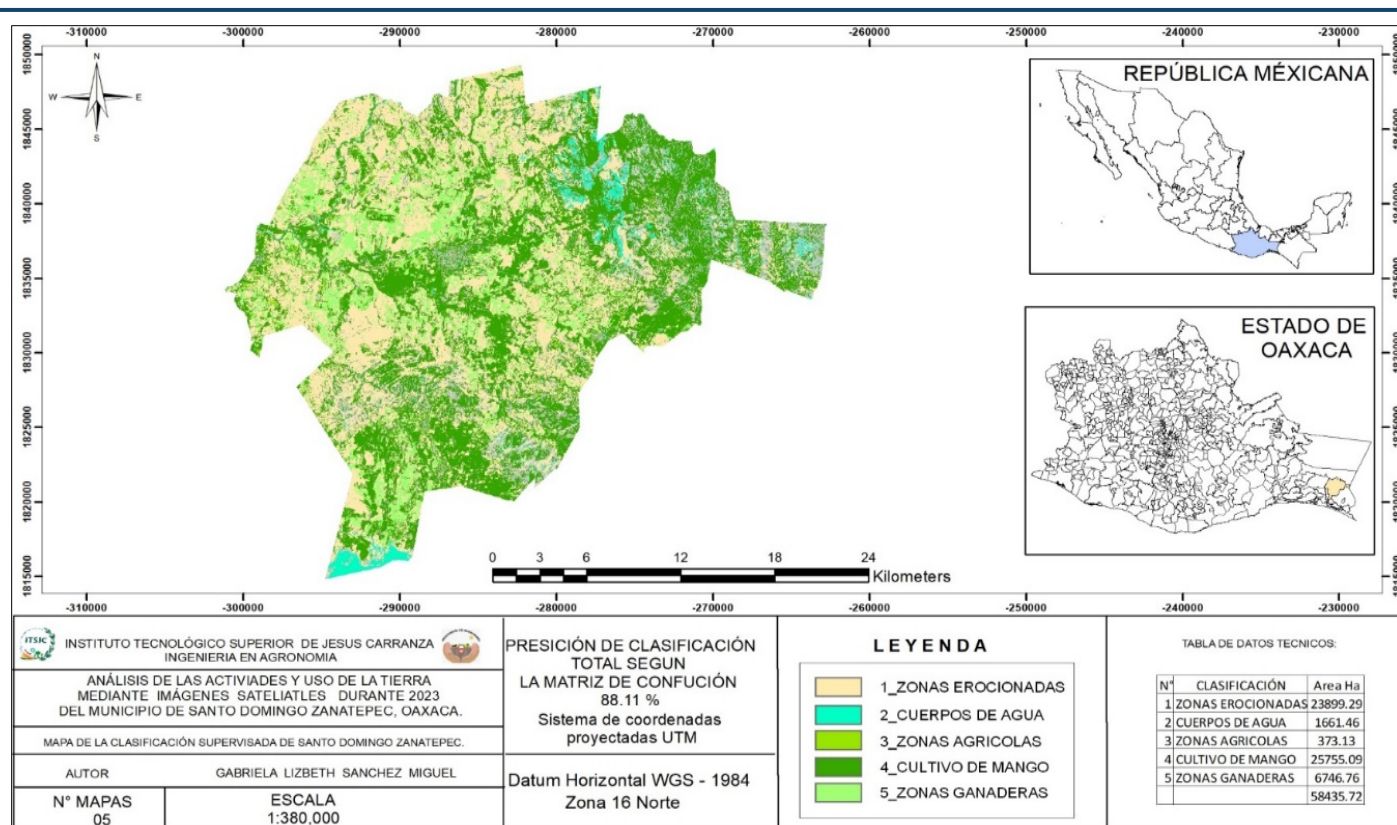


Figura 3. Mapa del cambio del uso del suelo en el municipio de Santos Domingo Zanatepec, Oaxaca

En las zonas erosionadas representan una gran parte del terreno con 23,899.29 hectáreas; La erosión del suelo es un problema significativo, ya que afecta la fertilidad y la estructura del suelo, lo que a su vez impacta la agricultura y el medio ambiente; Al identificar estas áreas permite a las autoridades y a los agricultores implementar prácticas de conservación de suelo, como la reforestación, el uso de cobertura vegetal y la construcción de terrazas para reducir la velocidad del agua de escorrentía.

Los cuerpos de agua abarcan 1,661.46 hectáreas del terreno. Estos incluyen ríos, lagos, estanques y otras fuentes de agua superficiales que son vitales para el ecosistema local, la agricultura y el suministro del agua para las comunidades; Las zonas agrícolas se comprenden 373,13 hectáreas, son áreas dedicadas a la producción de maíz, sandía, calabaza, melón, pepino y el sorgo la agricultura es un pilar de la economía local y proporciona alimentos tanto para el consumo interno como para la comercialización. La identificación precisa de estas reas permite planificar y gestionar de manera eficiente las prácticas agrícolas, promoviendo la rotación de cultivos, el uso de fertilizantes orgánicos y la adaptación de técnicas agrícolas sostenibles.

El cultivo de mango es prominente en la región, con 25,755.09 hectáreas dedicadas a estas actividades. El mango es un cultivo de alto valor que no solo es importante para la economía local, sino que también tiene un mercado de exportación significativo. Con la identificación de estas áreas de cultivo, pueden implementar estrategias de manejo integrado de plagas y mejorar las técnicas de riego para aumentar la eficiencia y la calidad de la producción; Cuanta también con zonas ganaderas que abarcan 6,746.76 hectáreas y son áreas destinadas a la cría de ganado, la ganadería es una actividad económica clave que proporciona productos como carne, leche, y cuero.

Conclusiones

El uso de imágenes satelitales para representar la distribución de las áreas forestales, agrícolas, ganaderas, cuerpos de agua y las huertas de mango en el municipio de Santo Domingo Zanatepec, Oaxaca, ofrece una herramienta poderosa para la planificación y gestión ambiental. Este análisis destacó la importancia de la teledetección como herramientas clave para una gestión eficiente del territorio.

La integración de datos geoespaciales y el análisis remoto resulta esencial para la planificación sostenible, ya que permite mitigar impactos ambientales, conservar recursos naturales y mejorar prácticas agrícolas y ganaderas.

Agradecimientos y financiamiento: Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto, así como por el acompañamiento y asesoría recibida durante todo el proceso académico. Asimismo, extiendo un profundo reconocimiento a Geo-Soluciones por su valioso apoyo, recursos y orientación técnica, que fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo.

Bibliografía

- Amézquita Becerra, G., & Pérez Castillo, J. N. (2009). Servicio grid para la clasificación no supervisada de imágenes satelitales utilizando autómatas celulares. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 19(2), 59–76. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-81702009000200005&script=sci_arttext
- Gamarra Agama, S. E. (2017). *Análisis de la cobertura y uso de la tierra utilizando imágenes de resolución espacial media para el distrito de San Ramón–Chanchamayo–Junín–Perú* [Tesis de licenciatura]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3292>
- Muñoz, J. M. S. (2016). Análisis de calidad cartográfica mediante el estudio de la matriz de confusión. *Pensamiento Matemático*, 6(2), 9–26. https://revista.giepm.com/wp-content/uploads/revista_impresa/vol_VI_num_2/inv_calidad_carto.pdf
- Navarro Córdova, E. J. (2018). *Análisis de cambios de cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales del distrito de Eduardo Villanueva, periodos 1992–2003–2016* [Tesis de licenciatura]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2600>
- Paucar Pongo, J. C. (2024). *Aplicación del software ArcGIS para la ubicación y elaboración de mapas para un relleno sanitario en el distrito de Ilave–Puno, 2023* [Tesis de licenciatura]. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/790>
- Robles, J. F. C. (2007). *Extracción de mapas temáticos a partir de la clasificación en imágenes satelitales* [Tesis doctoral, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica]. <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1009/2243>
- Villatoro, B. (2021). Uso de índices de vegetación NDWI y MSI obtenidos de imágenes satelitales Sentinel-2 y Landsat 8 para monitoreo de humedad, como indicador de momento óptimo de cosecha en caña de azúcar. En *CENGICAÑA*. <http://es.scribd.com/document/921422647/Indices-de-Vegetacion-Ndwi-y-Msi>
- Zhang, T., Su, J., Xu, Z., Luo, Y., & Li, J. (2021). Sentinel-2 satellite imagery for urban land cover classification by optimized random forest classifier. *Applied Sciences*, 11(2), 543. <https://doi.org/10.3390/app11020543>