

# Cambio de uso de suelo por los invernaderos en el municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco México: un análisis multitemporal

**RESUMEN:** El análisis multitemporal de imágenes satelitales permite detectar cambios entre diferentes fechas de referencia, evaluando la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el medio. El objetivo de este estudio es evaluar el cambio de uso del suelo provocado por los invernaderos en el periodo 2000-2015 en el municipio de Zapotlán el Grande Jalisco, México, a través de imágenes satelitales LANDSAT, a fin de determinar el estado de fragmentación del paisaje. El análisis del cambio de uso de suelo fue derivado de la clasificación supervisada de cuatro imágenes obtenidas por el Satélite Landsat TM con una resolución espacial de 30 metros tomadas en los años 2000, 2005, 2010 y 2015. Los resultados mostrados nos ayudan a evaluar la cantidad de hectáreas que se han convertido en invernaderos. Los invernaderos van ejerciendo presión sobre el suelo, transformando zonas de vocación agrícola de temporal a cultivos de precisión con rendimientos cada vez menores a medida que los suelos pierden su fertilidad original.

**Palabras claves:** Análisis multitemporal, Imágenes Landsat, Invernaderos, Uso de suelo, Zapotlán el Grande.



## Colaboración

Fátima Ezzahra Housni, Alejandro Macias Macias, Claudia Rocío Magaña González, Centro Universitario Del Sur; Humberto Bracamontes Del Toro, Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán; Abdessamad Najine, Facultad de ciencias y tecnologías de Beni Mellal. Marruecos

**ABSTRACT:** The multi-temporal analysis of satellite images allow to detect changes between different reporting dates, assess the evolution of the natural environment or the impact of human action on the environment. The aim of this study is to evaluate the land use change caused by greenhouse in the period 2000-2015 in the town of Zapotlán el Grande Jalisco, Mexico, through Landsat satellite images, to determine the state of fragmentation landscape. The analysis of change in land use was derived from the supervised classification of four images from the Landsat TM satellite with a spatial resolution of 30 meters taken in 2000, 2005, 2010 and 2015. The results shown help us to evaluate the number of hectares that have become greenhouses. The greenhouses are putting pressure on the ground, transforming agricultural potential areas of temporary precision crop yields shrinking as soils lose their original fertility.

**Keywords:** Multitemporal analysis, Landsat images, Greenhouses, Land use, Zapotlán el Grande.

## INTRODUCCIÓN

La producción agrícola en México ha evolucionado a lo largo de la historia, también lo han hecho las técnicas rudimentarias usadas desde la época prehispánica hasta el moderno tecnificando los sistemas de producción agrícola actuales. Esta evolución fue más notable con la llegada de la revolución verde, a mediados del siglo XX, quien trajo consigo un salto cualitativo en la tecnificación de la agricultura como base de la agricultura industrial o de mercado. Este tipo de agricultura presenta como único objetivo maximizar los rendimientos de los cultivos, sin prestar atención a la conservación de los recursos naturales (suelo, agua, atmósfera, biodiversidad) sobre los que se sustenta. Sin embargo, una agricultura tan intensa ha traído por consecuencia serios problemas medioambientales como la contaminación de suelos, de mantos freáticos, erosión y salinización de suelos; hasta una reducción de la biodiversidad [1].

Diferentes autores consideran que la población humana se apropia de entre el 20 y el 40% de la productividad primaria neta terrestre del planeta, asimismo que el tamaño de la población y sus patrones de consumo tie-

nen una influencia directa en la transformación de los ecosistemas lo que representa un gran desafío para la humanidad [2]. El uso de suelo es tan importante para alimentación y supervivencia y al mismo tiempo su deterioro representa un problema para la durabilidad de esta alimentación, por ello es de suma importancia desarrollar esquemas de manejo sustentable [3].

En los últimos años, la problemática del cambio de uso del suelo en México y particularmente del municipio de Zapotlán el Grande está relacionada con el hecho de que una gran superficie de terrenos que se dedicaban a la agricultura temporal fue abierta y dedicada a la agricultura protegida, invernaderos u horticultura, casa sombra o acolchados plásticos con rendimientos cada vez menores a medida que los suelos pierden su fertilidad original [4].

Esta nueva tendencia que se ha dado al uso de suelo, es considerada como una alternativa para cubrir la demanda de alimentos para consumo nacional y para la exportación.

En este sentido, el avance tecnológico permite que la información satelital se convierta en una alternativa apropiada para atender las exigencias medioambientales, ya que, bajo ciertas restricciones, es posible adquirir información de la cobertura del suelo de años anteriores, lo que permitiría conocer los procesos que determinan la situación actual de uso de la tierra [5]. Este completo conocimiento del medio y el posterior diseño de técnicas agrícolas adecuadas es posible gracias al desarrollo de distintas técnicas geomáticas como los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la geoestadística, y, por supuesto, la percepción remota.

La percepción remota surge como un conjunto de técnicas que pueden, de forma eficiente, identificar y cartografiar cultivos y sistemas agrarios a lo largo de grandes superficies [6][7]. Estas técnicas pueden abaratar los costos y reducir el tiempo de trabajo obteniendo mejor precisión en el conocimiento del uso del suelo que las visitas a campo de un limitado número de parcelas. En este caso, la precisión del mapa temático obtenido es extremadamente importante porque este mapa puede ser usado como herramienta administrativa de control y seguimiento para tomar la decisión de Conceder /No Conceder la prestación del cultivo.

Las aplicaciones de la percepción remota en el ámbito agrario son inmensas y así se ha constatado en los numerosos trabajos e investigaciones que se han desarrollado desde su origen hasta la actualidad. La teledetección es una herramienta muy válida para la clasificación de usos de suelo y entre sus aplicaciones están la monitorización y el control de cultivos [8][9], la elaboración de mapas de las características del suelo [10][11], el estudio del estado fitosanitario de los cultivos

[12][13], el seguimiento y predicción de cosechas [14][15], y la evaluación de cambios en el paisaje agrario [16][17]. En nuestro caso, centraremos nuestro estudio en esta última aplicación.

El objetivo de este estudio es evaluar el cambio de uso del suelo provocado por la agricultura protegida (invernaderos) en el periodo 2000-2015 en el municipio de Zapotlán el Grande Jalisco, México, a través de imágenes satelitales LANDSAT, a fin de analizar el cambio en el paisaje agrícola y poder tener la posibilidad de evaluar las modificaciones en un ecosistema y sus efectos ambientales.

Los efectos ambientales por el cambio de un ecosistema, lleva a un cambio de modo de vida, movimientos demográficos, transformaciones de las condiciones sociales y económicas, innovaciones tecnológicas de muy variado signo y alcance. Todo contribuye, con el transcurrir del tiempo, y sigue contribuyendo todavía, a modificar la gama de los alimentos, los modos de prepararlos y las maneras de consumirlos, así como las razones por lo que se hace lo uno o lo otro, pero sobre todo puede llevar a afectar la seguridad alimentaria de una población [18].

## MATERIAL Y MÉTODOS

El enfoque metodológico aplicado aquí se basa en técnicas de análisis espacial para determinar los cambios de cobertura y uso de suelo. El análisis del cambio de uso de suelo es a nivel general de la extensión de los invernaderos así como los cambios que se han dado entre los años 2000 y 2015. La metodología utilizada es similar a la aplicada por Oliva et al. (2009) [3].

El área de estudio es el municipio de Zapotlán el Grande, uno de los municipios más importantes en la producción de horticultura, un municipio pequeño, con poco más de quinientos kilómetros cuadrados de superficie, situado al sur de Jalisco, en la región occidente de México y según el censo de población y vivienda de 2010, el municipio tiene 100,534 habitantes de los cuales 97,750 habitantes se localizan en la cabecera municipal Ciudad Guzmán, convirtiéndose en el más importante centro urbano de la región [19].

Para delimitación de la zona de estudio se utilizó un polígono con datos vectoriales de INEGI considerando los límites municipales [20].

El mapeo de cobertura y uso de suelo se realizó mediante el algoritmo de agrupamiento estadístico de clasificación supervisada, un procedimiento digital aplicado a las imágenes de satélite recomendado para el análisis espacial cuando hay un conocimiento previo del área de estudio y también porque permite la selección de las clases y subclases acorde a la necesidad del tipo de análisis y el objetivo. La clasificación supervisada es uno de los tipos de clasificación más

utilizada en campo de percepción remota e implica la selección de unas zonas de entrenamiento por parte del usuario que posteriormente son utilizadas para clasificar toda la escena [21].

Para elaborar los mapas de cobertura y uso de suelo se obtuvieron cuatro imágenes de satélites *Landsat TM* y *ETM* (2000, 2005, 2010 y 2015) del sitio web <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Se verificó que las imágenes de satélite estuvieran adecuadamente georeferenciadas. Después se usó el *plugin de semi-automatic classification* desarrollado por el italiano Congedo para el programa Quantum GIS (Qgis) un Sistema de Información Geográfico libre para la calibración de las imágenes de cada año, es decir convertir los niveles digitales de la imagen a unidades de reflectividad, cuanto mayor sea el valor de porcentaje de radiación ésta está siendo reflejada por la cubierta. Después pasamos a definir las longitudes de onda de cada banda de entrada del satélite *Landsat 8* correspondiente al 2015 y *Landsat 7* a las imágenes de 2000, 2005 y 2010.

El área de estudio corresponde al polígono de Zapotlán el Grande, se sobrepuso sobre cada una de las imágenes y se realizó un recorte del área en cada una de las bandas de las imágenes 2000, 2005, 2010 y 2015, usando el sistema de coordenadas UTM, zona 13, con *Datum WGS84* y una resolución de 30 m por pixel. El recorte de las bandas con el polígono nos generó un área específica de estudio transformada en formato raster.

Utilizando el *SCP: ROI creation*, creamos un shapefile que nos sirvió como almacenamiento de las áreas de entrenamiento. Para nuestra clasificación se utilizaron 6 clases: vegetación arbórea, bosque ripario, cultivos temporales, suelo, cuerpos de agua e invernaderos (tabla1).

Tabla1. Tipos de cobertura del suelo y su descripción empleadas en la clasificación supervisada de las imágenes de satélite.

Identificador (MC ID)	Cobertura	Descripción
1	Vegetación arbórea	Se refiere al bosque y la vegetación secundaria arbórea con diferentes alturas
2	Bosque ripario	Incluye los tipos de vegetación asociado a cuerpos de agua.
3	Cultivos temporales	Áreas de pastura del ganado bovino. Esta cobertura se refiere a las zonas de agricultura de temporal
4	Suelo	Se refiere a suelo desnudo, rocoso y sin vegetación
5	Invernaderos	Los cultivos agrícolas de riego que representan una cubierta de plástico o vidrio
6	Agua	Cuerpos de agua permanentes

La clase de asentamiento humano que se refiere a zonas habitacionales no se ha tomado en cuenta en el análisis de cambios, dado que la firma espectral de las casas habitacionales y su material de construcción son similares a la de los invernaderos, por lo tanto se ha realizado un recorte de la zona urbana para evitar una confusión a la hora de la clasificación.

Después de crear todas las clases y verificar la separabilidad entre las clases, con el algoritmo de *Spectrun Angle Mapping en la classification algorithm* podemos clasificar todas la imágenes de manera supervisada y con *Accuray* podemos calcular la matriz de confusión de la clasificación. Una vez terminada la clasificación, tomando en cuenta la frecuencia y la distribución espacial de los tipos de cambio de suelo entre los años 2000 y 2015, se realizaron salidas de campo al municipio de Zapotlán el Grande para validar los distribución espacial actual de los invernaderos.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El mapa de distribución de los diferentes tipos de vegetación en el municipio de Zapotlán el Grande del año 2000, demuestra que la clase de vegetación arbórea, bosque ripario, cultivos temporales y suelo ocupan toda la superficie de la área de estudio. A pesar que en la figura 1 no se alcanza a ver la superficie de los invernaderos, se ha encontrado varios fragmentos de 5 hectáreas que representan el 5% del total de 9979 hectáreas dedicadas a la agrícola en la zona.

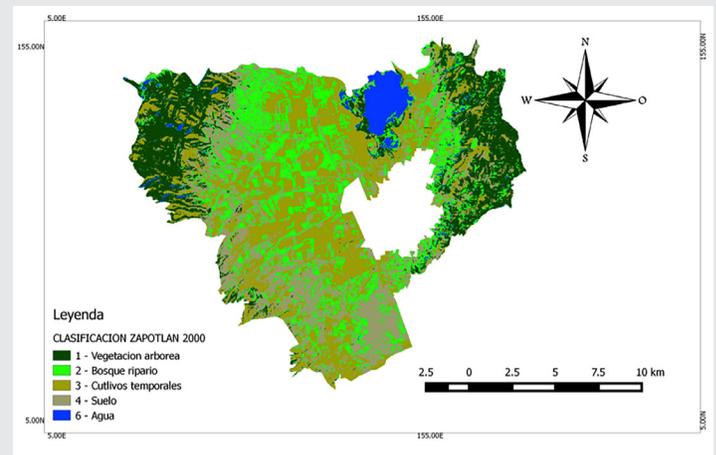


Figura 1. Mapa de cobertura y uso de suelo del municipio de Zapotlán el Grande año 2000.

En el mapa de distribución espacial del año 2005 (figura 2), encontramos que la superficie de los invernaderos ha ocupado algunos de los cultivos temporales con un aumento de 1.9% en comparación con el año 2000.

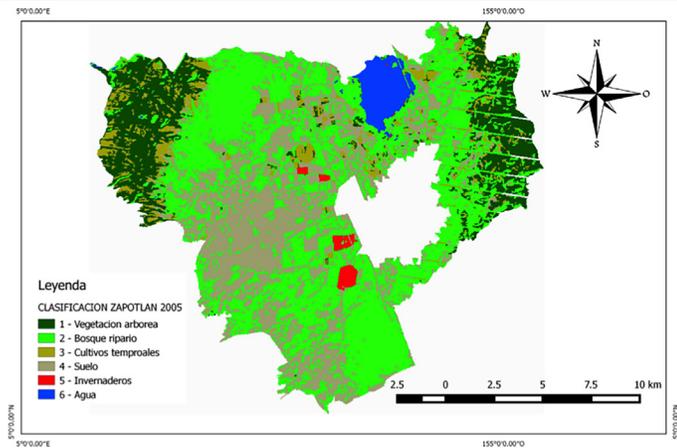


Figura 2. Mapa de cobertura y uso de suelo del municipio de Zapotlán el Grande año 2005.

2010 por su parte demuestra que los invernaderos ocupan una superficie de 350 hectáreas de los 9979 hectáreas, es decir el 3,5% del total (figura 3).

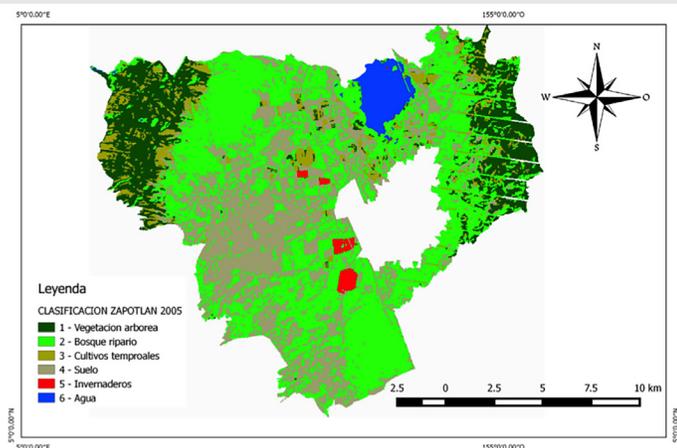


Figura 3. Mapa de cobertura y uso de suelo del municipio de Zapotlán el Grande año 2010.

Sin embargo, el cambio más importante se puede apreciar muy bien en el mapa de distribución del año 2015, es cuando los invernaderos ocupan una superficie significativa de 1250 hectáreas a costa de los cultivos temporales. Esta superficie representa el 12.5 % de la superficie total agrícola del municipio (figura 4).

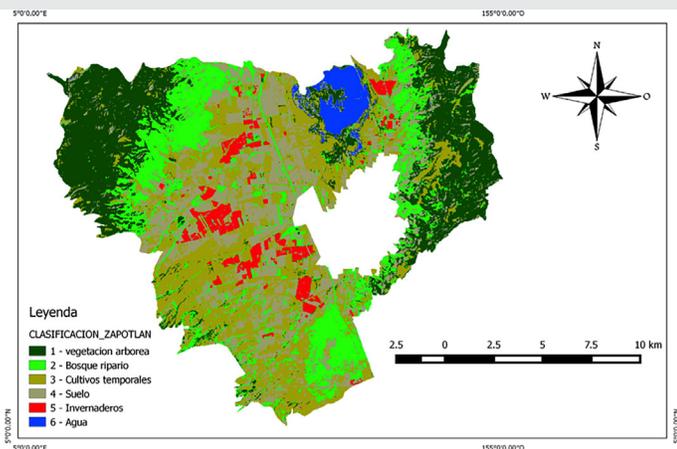


Figura 4. Mapa de cobertura y uso de suelo del municipio de Zapotlán el Grande año 2015.

En la figura 5 se representa de manera gráfica la tendencia en el aumento de la superficie de los invernaderos en hectáreas entre los años 2000 y 2015. Se puede apreciar muy bien que este tipo de cultivo ha manifiesta un gran ascenso a partir del año 2010.



Figura 5: Superficie ocupada por invernaderos por año (2000-2015)

Cabe señalar que en este trabajo, nos interesa solamente analizar el cambio en el paisaje agrícola y poder tener la posibilidad de evaluar las modificaciones en un ecosistema. Para la interpretación de las imágenes, la delimitación de ciertos tipos de cobertura puede ser difícil y subjetiva.

De la misma manera, los errores temáticos pueden resultar de una clasificación errónea de las imágenes. Sin embargo, estos errores no cobrarían importancia en el presente estudio dado que la evolución de cambio de las hectáreas con invernaderos se puede observar de manera muy significativa independiente de los errores de la distribución en los mapas.

A partir de los resultados obtenidos, el cambio de cobertura y uso del suelo entre los años 2000 y 2015 representa un aumento en la extensión de la agricultura protegida o invernaderos. Estos cambios tienen una mayor extensión en la áreas que eran para agricultura temporal aún cuando, en términos absolutos, las cifras pueden estar subvaluadas o sobrevaloradas. La extensión de dichos cambios puede conllevar a problemas ambientales severos que a su vez podrán afectar la alimentación y por supuesto la seguridad alimentaria de la población del Municipio de Zapotlán el Grande.

REFERENCIAS

- [1] García-Olmedo, F. (1998). *La tercera revolución verde*. Temas de debate, Editorial Debate: Madrid.
- [2] Vitousek, P., Mooney, M., Lubchenco, J. & Melillo J. (1997). Human Domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277, 494-499.
- [3] Oliva, V. E., López, B. L. Caballero, N. J. y Martínez, A. M. A. (2010). Patrones espaciales de cambio de cobertura y uso del suelo en el área cafetalera de la sierra norte de Puebla. *Investigaciones Geográficas*, 72, 23-38.
- [4] Serrano, E. (2002). Contribución al conocimiento del México forestal. *Revista de información y análisis*, 22, 9-14.
- [5] García-Torres, L., López Granados, F., Peña Barragán, J. M., Jurado Expósito, M., García-Ferrer, A. & Sánchez-de la Orden, M. (2004). Seguimiento administrativo de medidas agroambientales por teledetección. *Agricultura*, 866, 706-711.
- [6] Peña-Barragán, J.M., López-Granados, F., Jurado-Expósito, M. & García-Torres, L. (2010). Sunflower yield related to multi-temporal aerial photography, land elevation and weed infestation. *Precision Agriculture*, 11, 568-585.
- [7] South, S., Qi, J. & Lusch, D.P. (2004). Optimal classification methods for mapping agricultural tillage practices. *Remote Sensing of Environment*, 91, 90-97.
- [8] Li, S., Li, M., Ding, Y. & Zhao, R. (2010). Variable rate fertilization based on spectral index and remote sensing. En A. M. Larar, H. Chung, y M. Suzuki, (Eds.) *Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Remote Sensing Technology, Techniques, and Applications III: Vol. 7857, The International Society for Optical Engineering* (pp. 785719-785719), Incheon, Republic of Korea: Proceedings of SPIE.
- [9] López Granados, F., Gómez Casero, M.T., Peña Barragán, J.M., Jurado Expósito, M. & García Torres, L. (2010). Classifying irrigated crops as affected by phenological stage using discriminant analysis and neural networks. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 135, 465,473.
- [10] Leon, C.T., Shaw, D.R., Cox, M.S., Abshire, M.J., Ward, B. & Wardlaw III, M.C. (2003). Utility of remote sensing in predicting crop and soil characteristics. *Precision Agriculture*, 4,359-384.
- [11] López-Granados, F., Jurado-Expósito, M., Peña-Barragán, J. M. & García-Torres, L. (2005). Using geostatistical and remote sensing approaches for mapping soil properties. *European Journal of Agronomy*, 23, 279-289.
- [12] Feng, L., Wu, W., Chen, X., Tian, L., Cai, X. & Su, G. (2010). Diseases and insect pests area monitoring for winter wheat based on HJCCD imagery. *Nongye Gongcheng Xuebao. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26, 213-219.
- [13] Jing, X., Huang, W., Ju, C. & Xu, X. (2010). Remote sensing monitoring severity level of cotton verticillium wilt based on partial least squares regressive analysis. *Nongye Gongcheng Xuebao. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26, 229-235.
- [14] Chaudhari, K.N., Tripathy, R. & Patel, N. K. (2010). Spatial wheat yield prediction using crop simulation model GIS remote sensing and ground observed data. *Journal of agrometeorology*, 12(2),174-180.
- [15] Huang, Y., Zhu, Y., Wang, H., Yao, X., Cao, W., Hannaway, D. B. & Tian, Y. (2014). Predicting winter wheat growth based on integrating remote sensing and crop growth modeling techniques. *Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*, 31(4), 1073-1084.
- [16] Ducrot, D., Masse, A., Ceschia, L. E., Marais-Sicre, C. & Krystof, D. (2010). A methodology for the detection of land covers changes: Application to the Toulouse southwestern region. En L. Bruzzone (Ed.). *Image and Signal Processing for Remote Sensing XVI: Vol. 7830*. (pp 7830), Toulouse: France.
- [17] Pôças, I., Cunha, M. & Pereira, L.S. (2011). Remote sensing based indicators of changes in a mountain rural landscape of Northeast Portugal. *Applied Geography*, 31, 871-880.
- [18] Contreras, J. & García, M. (2005) *Alimentación y Cultura, perspectivas antropológicas*. Ediciones Ariel: España.
- [19] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). Censo de población y vivienda. Versión en línea <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/>
- [20] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015). *Capas vectoriales de infraestructura de conjunto vectorial. Carta Topográfica 1:50 000* (ed. 2015). México.
- [21] Chuvieco, E. & Huete, A.(2010). *Fundamentals of Satellite Remote Sensing*. CRC Press. Taylor and Francis Group: EE.UU.