

EN

Determination of land use classification using geographic information systems in the Metztitlan river sub-basin in Hidalgo, Mexico

ES

Determinación de la clasificación de los usos del suelo mediante sistemas de información geográfica en la subcuenca del río Metztitlán en Hidalgo, México

María Josefa Jiménez-Moreno^{1*}; Rodrigo Rodríguez-Laguna²; Miguel J. Escalona-Maurice³

¹Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías, carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, C.P. 42184.

²Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias, avenida Universidad km 1 s/n, ExHacienda Aquetzalpa, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, C.P. 43600.

³Colegio de Postgraduados, Desarrollo Rural, Campus Montecillo, Carretera. México-Texcoco km 36.5, Texcoco, Estado de México, C.P. 56230.

*Corresponding author:
jimory6@gmail.com (ORCID
0000-0003-4410-4699)

Received: February 16, 2022 /
Accepted: September 21, 2022

DOI:
10.5154/r.rchsat.2022.02.02

Abstract

Soil is a natural resource of utmost importance for human beings, so defining its use is essential in an environmental study. The objective of this study was to determine the different classes of land use in the Metztitlán river sub-basin and to provide reliable information. The methodology employed was a quantitative approach and was carried out in four stages: field walks, preprocessing of the 2019 Landsat 8 satellite image, and classification and validation of land uses. The process was based on a hierarchical structure of the categories of such land uses. Subsequently, with the TerrSet software and field tours, these characteristics were described. A supervised maximum likelihood classification was performed, and six main classes were obtained: xerophytic scrubland (26 %), forests (including coniferous, oak, and cloud forests) (38 %), irrigated (12 %) and rainfed (8 %) agriculture, as well as water bodies (1 %) and urban areas (15 %). The classification validation showed more than 50 % agreement between the classes generated with the image and those obtained in the field.

Key words: satellite image, remote sensing, natural resources.

Resumen

El suelo es un recurso natural de suma importancia para el ser humano por lo que definir su uso es esencial en un estudio ambiental. El objetivo de este estudio fue determinar las diferentes clases de usos del suelo en la subcuenca del río Metztitlán y proporcionar información confiable. La metodología empleada fue un enfoque cuantitativo y se realizó en cuatro etapas: recorridos de campo, preprocesamiento de la imagen de satélite Landsat 8 del año 2019, clasificación y validación de los usos del suelo. El proceso se basó en una estructura jerárquica de las categorías de dichos usos. Posteriormente, con el software TerrSet y recorridos de campo se describieron las características de estos. Se realizó una

clasificación supervisada de máxima verosimilitud y se obtuvieron seis clases principales: matorral xerófilo (26 %), bosques (incluye coníferas, encinos y de niebla) (38 %), agricultura de riego (12 %) y de temporal (8 %), así como los cuerpos de agua (1 %) y zonas urbanas (15 %). La validación de la clasificación presentó más del 50 % de concordancia entre las clases generadas con la imagen y las obtenidas en campo.

Palabras clave: Imagen de satélite, teledetección, recursos naturales.

Introduction

Soil is an essential natural resource for human life; it is a fundamental component of natural resources, which is why it is taken as a reference in the generation of statistics for planning, evaluation of climate change, and desertification processes, among others (INEGI, 2015).

The different ways land is used, i.e., vegetation cover, are known as land use (Alphan, 2017; SEMARNAT, 2002). Land use is dynamic, so it is related to the interaction between human activities and the biophysical conditions of the area (Rai, 2017; Zeshan, 2021); such components are fundamental in global environmental change because of the direct implications on natural resources (Rai, 2017). Meanwhile, land use maps represent the source of information that supports temporal studies of plant communities, the generation of statistical information on the environment, and the monitoring of Mexico's vegetation cover. Different studies (Galicia et al., 2007; Pineda et al., 2009; Mas et al., 2014; López et al., 2015; Reynoso et al., 2015; Borrás et al., 2017) show land use information, which has been used by different sectors, including federal, state and municipal governments (INEGI, 2015).

On the other hand, geographic information systems (GIS) and remote sensing are fundamental tools used to monitor and predict land use (Zeshan et al., 2021). These allow the identification and spatial representation of natural resource studies and the understanding of dynamic processes. Different studies (Pineda et al., 2009; Mas et al., 2014; Camacho-Sanabrá et al., 2015; López et al., 2015) show the use of cartographic materials related to land uses to schematically represent the land surface and classify it: crops, urban areas, and water bodies, among others. Within this framework, the literature (Ramos-Reyes et al., 2021) states that land use can support the management and planning of urban processes.

The Metztitlán river sub-basin belongs to the Amajac river basin and includes the Natural Protected Area, Barranca de Metztitlán Biosphere Reserve (BMBR), and

Introducción

El suelo es un recurso natural imprescindible para la vida del ser humano, es un componente básico de los recursos naturales, razón por la cual se toma como referencia en la generación de estadísticas para la planeación, evaluación del cambio climático y los procesos de desertificación, entre otros (INEGI, 2015).

Las diferentes formas en que se emplea un terreno, es decir la cubierta vegetal, se conoce como uso del suelo (Alphan, 2017; SEMARNAT, 2002). El uso del suelo es dinámico, por lo que está relacionado con la interacción entre las actividades humanas y las condiciones biofísicas del área (Rai, 2017; Zeshan, 2021), dichos componentes son fundamentales en el cambio ambiental global por las implicaciones directas en los recursos naturales (Rai, 2017). En tanto que, los mapas de uso del suelo representan la fuente de información que apoya los estudios temporales de las comunidades vegetales y la generación de información estadística del ambiente, así como el monitoreo de la cubierta vegetal de México. Diferentes estudios (Galicia et al., 2007; Pineda et al., 2009; Mas et al., 2014; López et al., 2015; Reynoso et al., 2015; Borrás et al., 2017) muestran información de los usos del suelo, los cuales han sido utilizados por diferentes sectores, incluyendo el gobierno federal, estatal y municipal (INEGI, 2015).

Por otra parte, los sistemas de información geográfica (SIG) y la teledetección son herramientas fundamentales que se utilizan para monitorear y predecir el uso del suelo (Zeshan et al., 2021). Estos, permiten identificar y representar espacialmente los estudios de los recursos naturales, así como comprender los procesos dinámicos. Diferentes estudios (Pineda et al., 2009; Mas et al., 2014; Camacho-Sanabrá et al., 2015; López et al., 2015) muestran el empleo de materiales cartográficos relacionados con los usos del suelo para representar de forma esquemática la superficie terrestre y clasificarla en categorías; cultivos, áreas urbanas, cuerpos de agua, entre otros. En ese marco, la literatura (Ramos-Reyes et al., 2021) manifiesta que el uso del suelo puede apoyar en la gestión y planificación de los procesos urbanos.

the Ramsar Wetland, which are of utmost importance to preserve and conserve biodiversity, flora, and fauna according to the Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2003; SEMARNAT, 2002), but presents more than 40 % of physical degradation (Jiménez-Moreno et al., 2019), which has increased environmental problems (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013; Montoya, 2020): for example, the amount of water that the river contributed to the Metztitlán lagoon was abundant and had a great diversity of fish such as tilapia (*Oreochromis* spp.), carp (*Cyprinus carpio*) and catfish (*Ictalurus punctatus*), among others, which served as a livelihood for families of fishermen in the surrounding region.

Currently, the Metztitlán lagoon is drying up due to temperatures above 40 °C and scarce rainfall, which has led to the gradual loss of fish. Much of the surface has become a vast expanse of fragmented soil, which has encouraged a change in land use. For this reason, the main objective of this research was to determine the land use classes of the Metztitlán river sub-basin to provide reliable information for decision-makers that will allow them to define concrete actions on land use to conserve the biodiversity of the sub-basin.

Methodological approach

Study area

The Metztitlán River sub-basin is located within the Sierra Madre Oriental and the Neovolcanic Axis: which allows for abundant biodiversity of flora and fauna, along with climatic zones, with the presence of semi-warm sub-humid, semi-arid semi-warm, semi-arid temperate, arid temperate, humid temperate and sub-humid temperate environments. It is located in the Panuco Hydrological Region (HR26), in the Montezuma River Basin, and represents 12.34 % of the total of that basin (Romero-Bautista et al., 2015; INEGI, 2017).

The Metztitlán River originates in the hills of the municipality of Ahuazotepec, located in the northern limits of Puebla, passes through the municipality of Tulancingo, and receives the same name, which is fed by the rivers of Metepec, Huasca, as well as different rivers, streams, and dams in the region (CONAGUA, 2008). It deposits its waters in the Metztitlán lagoon, where its course is interrupted by a geological obstruction and flows on under the name of Amajac (INEGI, 2017). The study area includes part of the states of Hidalgo (90 %), Veracruz (6 %) and Puebla (4 %), is between parallels 19° 55' 41" and 20° 45' 05" N and

La subcuenca del río Metztitlán, pertenece a la cuenca del río Amajac y comprende el Área Natural Protegida, Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (RBBM) y el Humedal Ramsar, que son de suma importancia para preservar y conservar la biodiversidad de flora y fauna, de acuerdo a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2003; SEMARNAT, 2002), pero presenta más del 40 % de degradación física (Jiménez-Moreno et al., 2019), lo que ha acrecentado los problemas ambientales (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013; Montoya, 2020), por ejemplo; la cantidad de agua que aportaba el río a la laguna Metztitlán era abundante y contaba con una gran diversidad de peces como tilapia (*Oreochromis* spp.), carpa (*Cyprinus carpio*) y bagre (*Ictalurus punctatus*), entre otros, que servían de sustento para familias de pescadores de la región aledaña.

Actualmente, la laguna Metztitlán presenta desecación debido a temperaturas superiores a los 40 °C y escasez de lluvia, lo que ha generado la pérdida gradual de los peces. Gran parte de la superficie se ha convertido en una amplia extensión de suelo fragmentado, lo que ha fomentado un cambio en el uso del suelo. Por esta razón, el objetivo principal de la presente investigación fue determinar las clases de usos del suelo de la subcuenca del río Metztitlán con la finalidad de aportar información confiable para los tomadores de decisiones que les permita definir acciones concretas sobre los usos del suelo para conservar la biodiversidad de la subcuenca.

Enfoque metodológico

Área de estudio

La subcuenca del río Metztitlán, se ubica dentro de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico, lo que permite tener gran biodiversidad de flora y fauna, así como de zonas climáticas, con la presencia de ambientes semicálido subhúmedo, semiárido semicálido, semiárido templado, árido templado, templado húmedo y templado subhúmedo. Se encuentra en la Región Hidrológica del Panuco (RH26), en la Cuenca del Río Moctezuma y representa el 12.34 % del total de dicha cuenca (Romero-Bautista et al., 2015; INEGI, 2017).

El río Metztitlán se origina en los cerros del municipio de Ahuazotepec ubicados en los límites del norte de Puebla, pasa por el municipio de Tulancingo y recibe el mismo nombre, el cual se alimenta de los ríos de Metepec, Huasca, así como diferentes ríos, arroyos y presas de la región (CONAGUA, 2008). Deposita sus aguas en la laguna de Metztitlán donde es interrumpido su curso por una obstrucción geológica, y

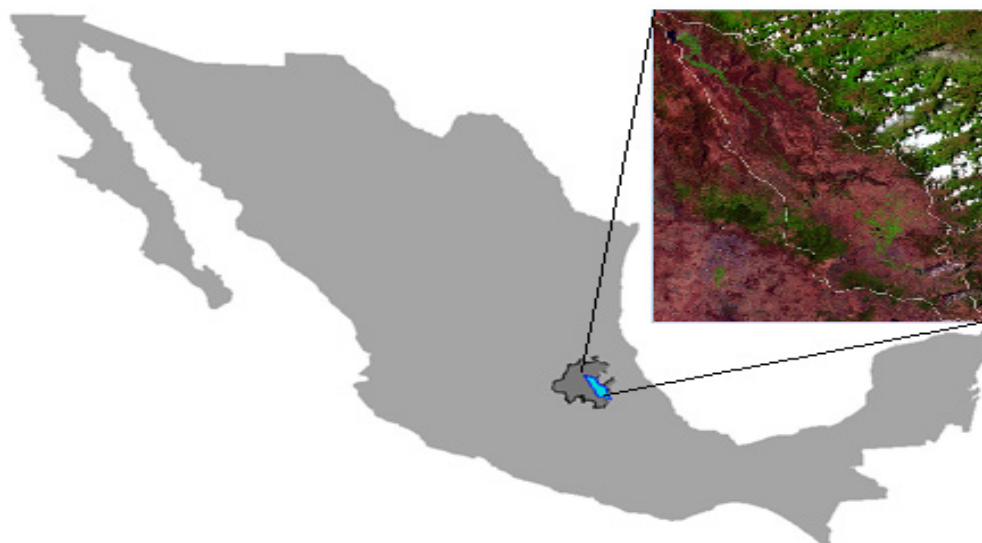


Figure 1. Location of the Metztitlán river, Hidalgo, Mexico.
Figura 1. Ubicación del río Metztitlán, Hidalgo, México.

Source: Own elaboration with information from INEGI (2015) and CONAGUA (2008).
 Fuente: Elaboración propia con información de INEGI (2015) y CONAGUA (2008).

meridians $98^{\circ} 55' 04''$ and $98^{\circ} 08' 39''$ W (Reynoso et al., 2015; Romero-Bautista et al., 2015) (Figure 1).

The methodology was divided into four stages: field visits, preprocessing, classification and validation of the satellite image.

Field visits

Based on the literature consulted (Chuvieco, 2008; Eastman, 2012), the control points were determined by the number, location, and distribution. These authors point out that 14 to 20 control points are needed to correct the satellite image (due to possible errors in the image acquisition, incorrect pixels, and atmospheric interference, among others). The distribution should be uniform on the surface, and the location should be based on clearly identifiable points in the satellite image and the field, which should not present spatial and temporal changes. Under these criteria, control points were taken with a GPS®, Garmin Oregon 650 (USA), to identify the land uses in different fields to obtain their coordinates and characteristics.

Satellite image preprocessing

For this stage, the 2019 Landsat 8 satellite image, vector information, was used and was performed using TerrSet® licensed software. First, the 2019 Landsat 8

continúa su curso con el nombre de Amajac (INEGI, 2017). La zona de estudio incluye parte de los estados de Hidalgo (90 %), Veracruz (6 %) y Puebla (4 %), está entre los paralelos $19^{\circ} 55' 41''$ y $20^{\circ} 45' 05''$ N y los meridianos $98^{\circ} 55' 04''$ y $98^{\circ} 08' 39''$ O (Reynoso et al., 2015; Romero-Bautista et al., 2015) (Figure 1).

La metodología se dividió en cuatro etapas: salidas de campo, preprocesamiento, clasificación y validación de la imagen de satélite.

Salidas de campo

Con base en la literatura consultada (Chuvieco, 2008; Eastman, 2012) los puntos de control se determinaron por el número, localización y distribución. Dichos autores señalan que se necesitan de 14 a 20 puntos de control para corregir la imagen de satélite (debido a posibles errores en la toma de la imagen, píxeles incorrectos, interferencia de la atmósfera, entre otros). La distribución debe ser uniforme en la superficie y la localización debe basarse en puntos claramente identificables en la imagen de satélite y en campo, los cuales no deben presentar cambios espaciales y temporales. Bajo estos criterios, se tomaron los puntos de control con un GPS®, Garmin modelo Oregón 650 (EE. UU.), con la finalidad de identificar los usos de suelo en diferentes campos para obtener sus coordenadas y características.

satellite image was downloaded from the United States Geological Survey (USGS). Next, the image bands were imported into the software to convert the digital levels to reflectances and atmospherically correct the image to remove turbidity, cloudiness, and atmospheric gas effects. Subsequently, the area of the Metztitlán river sub-basin was cropped. And it was geometrically corrected with the support of the control points, taken in the field, to improve the accuracy in the land use identification.

Classification of land use

The digital classification process consisted of assigning a pixel of the multispectral image to one of the categories of the legend (such as forest, agriculture, etc.), generally based on similarities between numerical values (Chuvienco, 2008; Eastman, 2012). According to how the training statistics are obtained, the classification methods are divided into two groups: supervised (based on prior knowledge of the terrain from which the samples are selected for each of the categories) and unsupervised (an automatic search for groups of homogeneous values within the image) (Chuvienco, 2008). In this research, the supervised classification process was used.

For this stage, first, a composition of the image was made from the georeferenced bands to highlight the elements (water and soil) of the land area. In this case, the combination of bands 654 was used. Then, for the segmentation process, which consisted of grouping the pixels according to their spectral similarity, the higher the tolerance value, the smaller the segments of the image. The tolerance range varies from 0 to 100 (Eastman, 2012) and was adjusted according to the study area and objective.

Then, the training sites (group of pixels belonging to a class) were run, in this step, the segmented image of the study area was taken, and the number and type of each segment considered were added. Finally, the classification of the land uses of the sub-basin was based on INEGI (2015), and that of maximum likelihood was used; this classifier evaluates the probability function that any pixel belongs to a given class; that is, each pixel is assigned to a more probable class. This process generates the best result when the training sites have been well sampled (Eastman, 2012).

Validation of land use classification

This step consisted of comparing two images of land use to evaluate the accuracy of the classes. One image contains the land use map interpreted with the satellite image: while the second contains the information

Preprocesamiento de la imagen de satélite

Para esta etapa se utilizó la imagen de satélite Landsat 8 del año 2019, información vectorial y, se realizó mediante el software licenciado de TerrSet®. Primero, se descargó la imagen del Servicio Geológico de Los Estados Unidos (USGS United States Geological Survey). Después, se importaron las bandas de la imagen al software para convertir los niveles digitales a reflectancias y corregir atmosféricamente la imagen para eliminar turbidez, nubosidad y efectos de los gases atmosféricos. Posteriormente, se recortó el área de la subcuenca del río Metztitlán. Y se corrigió geométricamente con el apoyo de los puntos de control, tomados en campo, con la finalidad de mejorar la precisión en la identificación de los usos del suelo.

Clasificación de los usos del suelo

El proceso de clasificación digital consistió en asignar un píxel de la imagen multispectral a una de las categorías de la leyenda (como bosque, agricultura, etc.), generalmente sobre la base de similitudes entre valores numéricos (Chuvienco, 2008; Eastman, 2012). De acuerdo con la forma en que son obtenidas las estadísticas de entrenamiento, los métodos de clasificación se dividen en dos grupos: supervisado (parte del conocimiento previo del terreno, a partir del cual se seleccionan las muestras para cada una de las categorías) y no supervisado (procede una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen) (Chuvienco, 2008). En esta investigación se utilizó el proceso de clasificación supervisada.

Para esta etapa, primero se realizó una composición de la imagen a partir de las bandas georreferenciadas con la finalidad de resaltar los elementos (agua y suelo) de la superficie terrestre, en este caso se utilizó la combinación de bandas 654. Posteriormente, para el proceso de segmentación, el cual consistió en agrupar los píxeles según su similitud espectral, y, cuanto mayor es el valor de tolerancia menores son los segmentos de la imagen, el rango de la tolerancia varía de 0 a 100 (Eastman, 2012) y se ajustó de acuerdo con el área de estudio y objetivo.

Después, se ejecutaron los sitios de entrenamiento (grupo de píxeles pertenecientes a una clase), en este paso se tomó la imagen segmentada de la zona de estudio y se agregó el número y clase de cada segmento considerado. Finalmente, la clasificación de los usos del suelo de la subcuenca se basó en el INEGI (2015) y se utilizó la de máxima verosimilitud, este clasificador evalúa la función de probabilidad de que cualquier píxel pertenezca a una clase dada; es decir, cada píxel

taken in the field (ground reality), which was done by exporting the table of coordinates of the control points to TerrSet. Subsequently, the matrix of the errors of the two images was generated with the land uses that are excluded from one category (omission) and the uses that are included in a different class (commission).

Results and discussion

In the office, 50 control points were identified, and 32 points were taken during the field visits due to the rugged relief of the area, the access to communication routes, and the representativeness of the area (Figure 2); therefore, based on Chuvieco (2008) and Eastman (2012), the total number of points is considered adequate.

Regarding the preprocessing of the Landsat 8 satellite image, it was geometrically corrected with the control points taken in the field. The points are homogeneously distributed on the surface of the sub-basin. The Root Mean Squared (RMS) value was 0.38 for each of the Landsat 8 image bands, which means that the smaller the RMS value, the closer (to reality) the predicted and observed values.

es asignado a una clase más probable. Dicho proceso, genera el mejor resultado cuando se ha hecho un buen muestreo de los sitios de entrenamiento (Eastman, 2012).

Validación de la clasificación de los usos del suelo

Este paso consistió en comparar dos imágenes de los usos del suelo con el fin de evaluar la precisión de las clases. Una imagen contiene el mapa de usos del suelo interpretado con la imagen de satélite, mientras que la segunda contiene la información tomada en campo (realidad del terreno), la cual se realizó exportando la tabla de las coordenadas de los puntos de control a TerrSet. Posteriormente, se generó la matriz de los errores de las dos imágenes con los usos del suelo que son excluidos en una categoría (omisión) y los usos que están siendo incluidos en una clase diferente (comisión).

Resultados y discusión

En gabinete se identificaron 50 puntos de control y en las salidas de campo se tomaron 32 puntos, debido

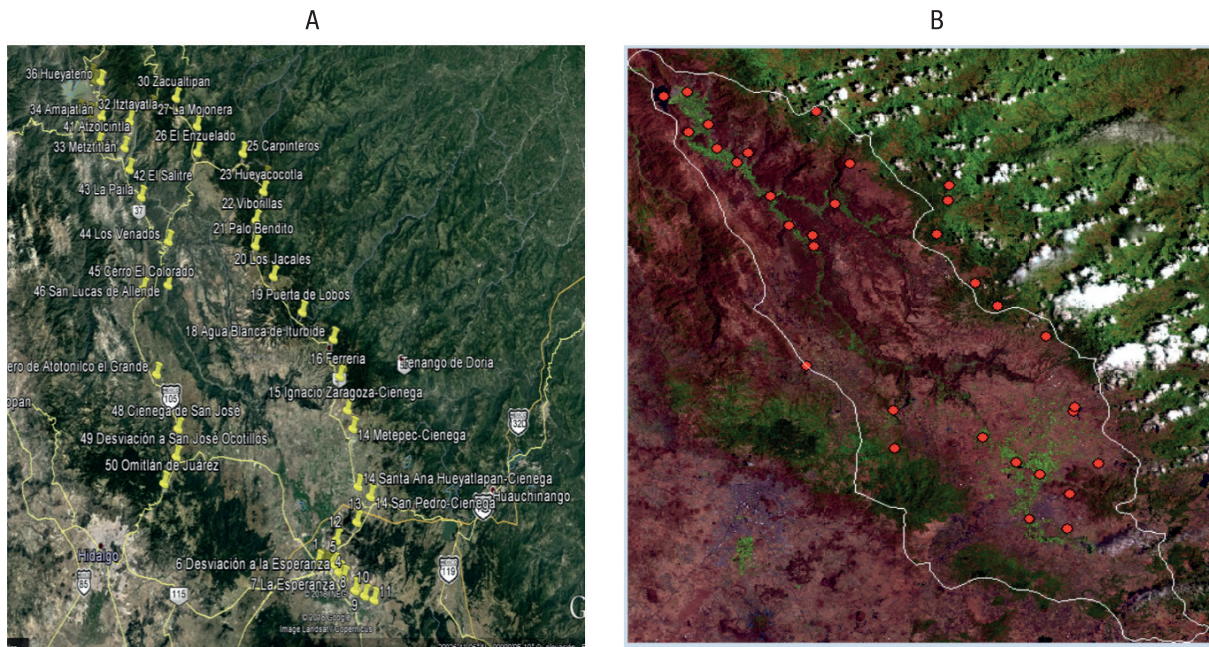


Figure 2. Distribution of control points in the office (A) and in the field (B).
Figura 2. Distribución de los puntos de control en gabinete (A) y en campo (B).

Source: Own elaboration with office information and information taken in the field.
 Fuente: Elaboración propia con información de gabinete y tomada en campo.

Subsequently, the band 654 (RGB) composition allowed for distinguishing land uses and visually highlighting the colors of vegetation and soil. The segmentation that best suited the image according to the research objective was the 50-pixel segmentation since the land uses can be observed and differentiated (Figure 3).

To define the training sites, first, a hierarchical system was performed on the water needs of the land uses

al relieve abrupto de la zona, al acceso a las vías de comunicación y la representatividad de la zona (Figura 2) por lo que, con base en Chuvieco (2008) y Eastman (2012) se considera adecuado el número total de puntos.

Respecto al preprocesamiento de la imagen de satélite Landsat 8 se corrigió geométricamente con los puntos de control tomados en campo, los cuales están distribuidos en la superficie de la subcuenca de ma-

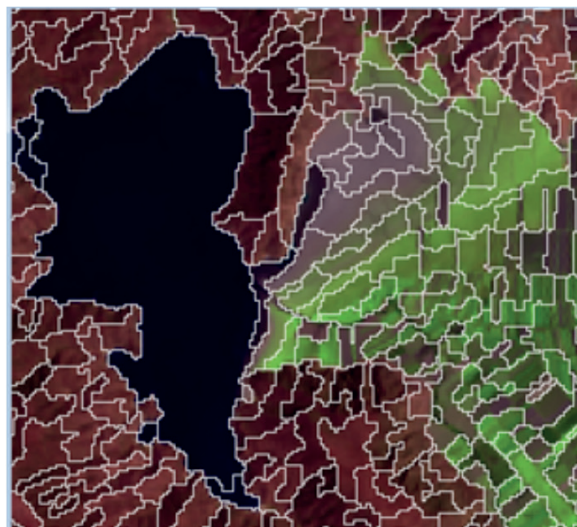


Figure 3. Segmentation of the satellite image at 50 pixels.
Figura 3. Segmentación de la imagen satelital a 50 píxeles.

Source: Own elaboration.
Fuente: Elaboración propia.

Table 1. Land use classes in the Metztlán river sub-basin.
Cuadro 1. Clases de usos del suelo en la subcuenca del río Metztlán.

Class / Clase	Class name / Nombre de la clase	Percentage (%) / Porcentaje (%)
1	Xerophytic scrub (Scr) / Matorral xerófilo (Mat)	26
2	Forest: coniferous, oak, and mesophyll mountain forest (FR) / Bosque: coníferas, encino, y mesófilo de montaña (Bos)	38
3	Rainfed agriculture (RAg) / Agricultura de temporal (Atm)	8
4	Irrigated agriculture (IAg) / Agricultura de riego (Arg)	12
5	Water bodies (WB) / Cuerpos de agua (Agu)	1
6	Urban área (UA) / Zona urbana (Zur)	15

Source: Own elaboration with information from INEGI (2015).
Fuente: Elaboración propia con información de INEGI (2015).

(INEGI, 2015) of the Metztitlan River sub-basin, and the water concentration was categorized from lowest to highest. Table 1 shows the soil classes in percentage.

The classification was carried out using the maximum likelihood method. Figure 4 shows that the distribution of land uses, the surface area (26 %) of scrubland (crassicaule, thorny and rosetophytic) is concentrated in the area corresponding to the Metztitlán Ravine Biosphere Reserve (MRBR) (CONANP, 2003) and is characterized by a semi-arid and temperate climate.

The forest class (coniferous, oak, and mountain mesophyll) is located mainly in the upper parts of the sub-basin, where the climate is predominantly temperate. Rainfed (8 %) and irrigated (12 %) agriculture is primarily close to urban areas, and water bodies are present to a lesser extent (1 %). Urban areas (15 %) have a higher impact with the presence of Tulancingo City in the upper part of the sub-basin and Pachuca City outside the basin.

Based on the literature (INEGI, 2017; Camacho-Sanabria et al., 2015; Reynoso et al., 2015; Romero-Bautista et al., 2015): it is shown that land uses maintain their

nera homogénea. El valor Cuadrático Medio (RMS Root Mean Squared, por sus siglas en inglés) fue de 0.38 para cada una de las bandas de la imagen Landsat 8, esto significa que cuanto más pequeño es el valor RMS, más cercanos (de la realidad) son los valores predichos pronosticados y observados.

Posteriormente, la composición de bandas 654 (RGB), permitió distinguir los usos del suelo y resaltar visualmente los colores de la vegetación y la tierra. La segmentación que mejor se ajustó a la imagen según el objetivo de la investigación fue la de 50 píxeles, ya que se puede observar y diferenciar los usos del suelo (Figura 3).

Para definir los sitios de entrenamiento primero se realizó un sistema jerárquico sobre las necesidades de agua de los usos del suelo (INEGI, 2015) de la subcuenca del río Metztitlán y se categorizó de menor a mayor la concentración de agua. En el Cuadro 1 se muestran las clases de suelo en porcentaje.

La clasificación se realizó con el método de máxima verosimilitud. En la Figura 4 se aprecia que la distribución de los usos de suelo, la superficie (26 %) de ma-

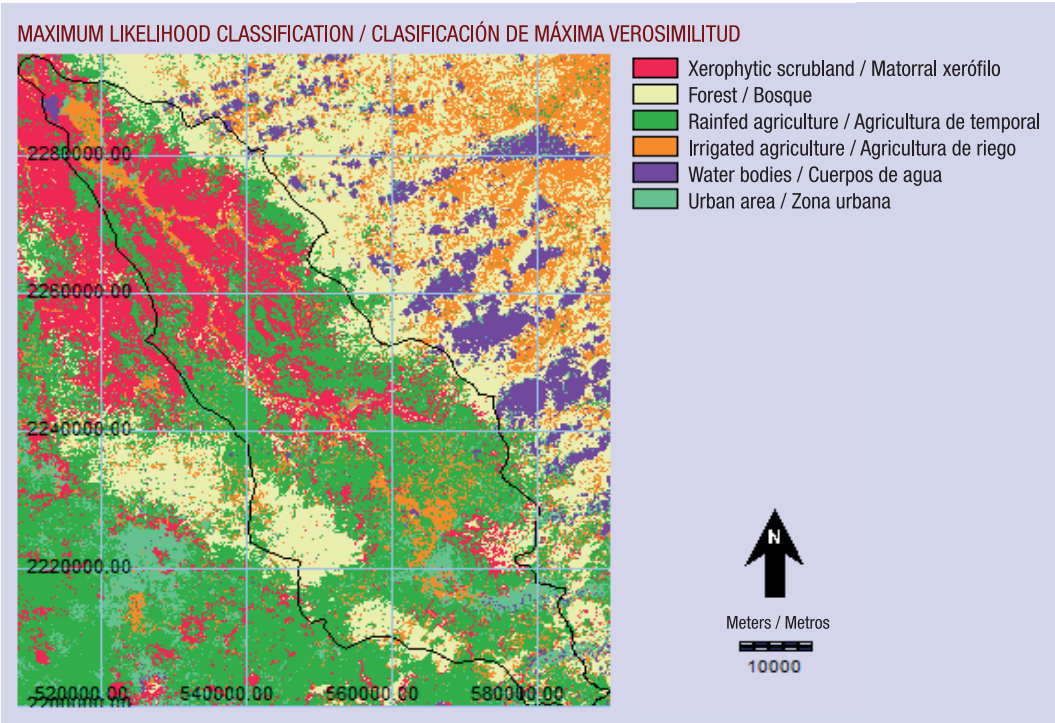


Figure 4. Maximum likelihood classification of land uses.
Figura 4. Clasificación de máxima verosimilitud de los usos del suelo.

Source: Own elaboration with information from Landsat 8 satellite image of 2019.
Fuente: Elaboración propia con información de la imagen de satélite Landsat 8 del año 2019.

distribution area and point out that it has been severely affected by human activities, increasing urban and industrial areas, tourism, crops, and induced or cultivated pastures, among others.

torral (crassicaule, espinoso y rosetófilo) se concentra en el área que corresponde a la Reserva de la Biosfera de la Barranca de Metztitlán (RBBM) (CONANP, 2003) y es caracterizado por el clima semiárido templado.

Table 2. Classification of land uses in the Metztitlán river sub-basin.

Cuadro 2. Clasificación de los usos del suelo en la subcuenca del río Metztitlán.

Point / Punto	UTMX	UTMY	Class name / Nombre de la clase	Class number / Número de la clase
1	564790	2219948	Urban area / Zona urbana	6
2	570412	2223844	Xerophytic scrubland / Matorral xerófilo	1
3	574423	2228670	Rainfed agriculture / Agricultura de temporal	3
4	571040	2237681	Rainfed agriculture / Agricultura de temporal	3
5	567158	2249070	Rainfed agriculture / Agricultura de temporal	3
6	557010	2257460	Rainfed agriculture / Agricultura de temporal	3
7	553324	2270623	Forest / Bosque	2
8	553414	2273125	Forest / Bosque	2
9	539614	2276649	Urban area / Zona urbana	6
10	534860	2284911	Urban area / Zona urbana	6
11	537550	2270275	Urban area / Zona urbana	6
12	534582	2263488	Irrigated agriculture / Agricultura de riego	4
13	531056	2266745	Xerophytic scrubland / Matorral xerófilo	1
14	528506	2271449	Rainfed agriculture / Agricultura de temporal	3
15	523743	2276746	Urban area / Zona urbana	6
16	521015	2279042	Xerophytic scrubland / Matorral xerófilo	1
17	519854	2282865	Xerophytic scrubland / Matorral xerófilo	1
18	516864	2288045	Irrigated agriculture / Agricultura de riego	4
19	517075	2281575	Irrigated agriculture / Agricultura de riego	4
20	533588	2244431	Rainfed agriculture / Agricultura de temporal	3
21	560217	2253903	Forest / Bosque	2
22	551712	2265387	Forest / Bosque	2
23	545897	2231100	Forest / Bosque	2
24	558187	2232871	Irrigated agriculture / Agricultura de riego	4
25	566210	2226932	Irrigated agriculture / Agricultura de riego	4
26	569994	2218311	Water bodies / Cuerpos de agua	5
27	562882	2228841	Water bodies / Cuerpos de agua	5
28	570931	2237129	Water bodies / Cuerpos de agua	5
29	545587	2237245	Water bodies / Cuerpos de agua	5
30	513667	2287422	Water bodies / Cuerpos de agua	5
31	525442	2278319	Xerophytic scrubland / Matorral xerófilo	1
32	534352	2265092	Xerophytic scrubland / Matorral xerófilo	1

Source: Own elaboration with information collected in the field.

Fuente: Elaboración propia con información tomada en campo.

The results obtained with the control points and used for validation are shown in Table 2, where the coordinates, name, and number of the land use class are shown. Of the total control points, 19 % were taken for category 1, while for categories 2, 3, 4, and 5, 16 %, 19 %, 16 %, and 16 % were considered, respectively, to obtain homogeneous points between each category.

Table 3 shows the error matrix generated: the diagonal indicates the pixels correctly classified, the others indicate the thematic classes, the destination of the pixels that were incorrectly classified, and the uses that are being included in a different class (errors of commission) are irrigated agriculture and urban area. On the other hand, the classes that are being excluded (errors of omission) were forest and rainfed agriculture. The error matrix obtained a Kappa index of 0.516, which means that according to the literature (Cerdeira and Villarroel, 2008), it presents a level of concordance of 50 %, so it is considered a moderate classification between the classes generated with the image and those obtained with the field trips.

These results obtained are consistent with those documented in the literature (Jiménez-Moreno et al., 2019 and Reynoso et al., 2015) and show that the decisive factors in the definition of land use classes in

Respecto a la clase de Bosque (coníferas, encino y mesófilo de montaña), se localiza principalmente en las partes altas de la subcuenca, donde predomina el clima templado. La agricultura de temporal (8 %) y de riego (12 %) se observa principalmente en las áreas cercanas a las zonas urbanas y los cuerpos de agua están presentes en menor proporción (1 %). Las zonas urbanas (15 %) se observa con mayor impacto por la presencia de la ciudad de Tulancingo en la parte alta de la subcuenca y fuera de la cuenca por la ciudad de Pachuca.

Con base en la literatura (INEGI, 2017; Camacho-Sanabria et al., 2015; Reynoso et al., 2015; Romero-Bautista et al., 2015), se muestra que los usos del suelo mantienen su área de distribución y señalan que ha sido afectado severamente por las actividades de los seres humanos, por el incremento de zonas urbanas, industriales, turismo, cultivos, pastizales inducidos o cultivados, entre otros.

Los resultados obtenidos con los puntos de control y utilizados para la validación, se muestran en el Cuadro 2, en donde se aprecian las coordenadas, el nombre y número de la clase de uso del suelo. Del total de puntos de control, para la categoría 1 se tomaron 19 %, mientras que para la categoría 2, 3, 4 y 5 se

Table 3. Confusion matrix of the land use classification of the Metztitlán river sub-basin.

Cuadro 3. Matriz de confusión de la clasificación de los usos del suelo de la subcuenca del río Metztitlán.

Classes / Clases		Classified pixels / Píxeles clasificados							
		Scr / Mat	FR / Bos	RAg / Atm	IAg / Arg	WB / Agu	UA / Zur		
Dato de campo / Fiel data		1	2	3	4	5	6	Total	ErrorC
	Scr / Mat	1	0	0	0	0	0	1	0
	FR / Bos	0	2	0	0	0	0	2	0
	RAg / Atm	0	0	2	0	0	0	2	0
	IAg / Arg	3	2	0	5	1	0	11	0.5454
	WB / Agu	0	0	0	0	4	0	4	0
	UA / Zur	2	1	4	0	0	5	12	0.5833
	Total	6	5	6	5	5	5	32	
	Error0	0.833	0.600	0.666	0	0.200	0		0.4062

Source: Own elaboration.

Fuente: Elaboración propia.

the Metztitlán sub-basin are the growth of the urban area, the loss, and degradation of natural resources determined by human activities.

Conclusions

In the Metztitlán river sub-basin, it was observed that, based on the map obtained, the land use classes presented a concordance level of more than 50 % between the satellite image and the field surveys. Therefore, it is suggested that new surveys be conducted to update the land use classes and improve the level of concordance.

End of English version

References / Referencias

- Alphan, H. (2017). Analysis of landscape changes as an indicator for environmental monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(1), 1-24. doi:10.1007/s10661-016-5748-7.
- Borras, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G., y Camps-Valls, G. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2. *Revista de Teledetección*, 48, 55-66. <https://bit.ly/2YGsIOO>
- Camacho-Sanabria, J. M., Juan, P. J. I., Pineda, J. N. B., Cadena-Vargas, E. G., Bravo, P. L. C., y Sánchez, L. M. (2015). Cambios de cobertura/ uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de montaña. *Madera y Bosques*, 21(1), 93-112. <https://bit.ly/3DbfatO>
- Cerda, L. J., y Villarroel del P, L. (2008). Evaluación de la concordancia inter observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista chilena de pediatría*, 79(1), 54-58. <https://bit.ly/3qxRLZr>
- Chuvienco S. E. (2008). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2008). Cuencas Hidrológicas. 1 de marzo de 2020. <https://bit.ly/39vaNwm>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2003). Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán. México, D. F. 15 marzo 2020. <https://bit.ly/3CboeNK>
- Eastman, J. R. (2012). *Idrisi Selva. Guía para SIG y Procesamiento de imágenes*. Labs. Clark University. <https://bit.ly/3wJpwyI>
- Galicia, L., García, R. A., Gómez-Mendoza, L., y Ramírez, M. I. (2007). Cambio de uso del suelo y degradación ambiental. *Ciencia*, 50-60 pp. <https://bit.ly/30kAjnc>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). Uso del suelo y Vegetación serie VI. Escala 1:250000. 15 marzo 2020. <https://bit.ly/39vaNwm>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Guía para la interpretación de cartografía: uso del
- consideraron el 16, 19, 16, 16, y 16 % respectivamente, con la finalidad de obtener puntos homogéneos entre cada categoría.
- En el Cuadro 3 se muestra la matriz de errores generada, en la diagonal se indican los pixeles correctamente clasificados, los demás señalan las clases temáticas destino de los pixeles que fueron clasificados incorrectamente, los usos que están siendo incluidas en una clase diferente (errores de comisión) es la agricultura de riego y zona urbana. Mientras que, las clases que están siendo excluidas (errores de omisión) fueron el bosque y la agricultura de temporal. La matriz de errores obtuvo un índice de Kappa de 0.516, significa que según la literatura (Cerda y Villarroel, 2008), presenta un nivel de concordancia de 50 %, por lo que se considera una clasificación moderada de entre las clases generadas con la imagen y las obtenidas con los recorridos de campo.
- Estos resultados obtenidos son consistentes con los documentados en la literatura (Jiménez-Moreno et al., 2019 y Reynoso et al., 2015) y muestran que, los factores decisivos en la definición de las clases de usos del suelo en la subcuenca de Metztitlán es el crecimiento de la zona urbana, la pérdida y degradación de los recursos naturales determinado por las actividades de los seres humanos.

Conclusiones

En la subcuenca del río Metztitlán se observó que, con base en el mapa obtenido, las clases de los usos del suelo presentaron un nivel de concordancia superior al 50 % entre la imagen de satélite y los recorridos en campo, por lo que se sugiere realizar nuevos recorridos para actualizar las clases de usos del suelo y mejorar el nivel de concordancia.

Fin de la versión en español

suelo y vegetación: escala 1:250, 000: serie V. 1 marzo 2020. <https://bit.ly/3n9bZgn>

- Jiménez-Moreno, M. J., Rodríguez-Laguna, R., y Escalona-Maurice, M. J. (2019). Diagnóstico de los paisajes de la subcuenca del río Metztitlán en L. A. Sánchez-Midence, E. Velázquez-Cigarroa, y L. Victorino Ramírez (Coord.). *Sostenibilidad y Presente. Desafíos y aciertos en la construcción del futuro* (pp. 65-77). Universidad Autónoma Chapingo.
- López, V. V. H., Balderas, P. M. A., Chávez Mejía, M. C., Juan, P. J. I., y Gutiérrez, C. J. G. (2015). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua

- del altiplano. *Ciencia ergo-sum*, 22(2), 136-144. <https://bit.ly/3otaHfX>
- Mas, J. F., Kolb, M., Paegelow, M., Camacho, O. M. T., y Houe T. (2014). Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & Software*. 51 (1): 94-111. <https://bit.ly/3oINtTK>
- Montoya, R. (2020). Agoniza la laguna de Metztitlán, alerta Conagua. *La jornada*. (12 de marzo 2020). <https://bit.ly/3kxnqgl>
- Pineda, J. N. B., Bosque, S. J., Gómez, D. M., y Plata, R. W. (2009). Análisis de cambio de uso del suelo en el estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes, Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, (69), 33-52. <https://bit.ly/3rJ8Mq8>.
- Rai, R., Zhang Y., Puaudel, B., Li, S., y Khanal R. N. (2017). A synthesis of studies on land use and land cover dynamics during 1930-2015 in Bangladesh. *Sustainability*, 9, (1866), 1-20.
- Ramos-Reyes, R., Palomeque-De la Cruz, M. Á., Megia-Vera, H. J., y Pascual-Landeros, D. (2021). Modelo del cambio de uso de suelo en el sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona, México. *Revista Terra Latinoamericana*, 39, 1-13. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.587>
- Reynoso, S. R., Valdez, L. J. R., Escalona, M. M. J., y de los Santos, P. H. M. (2015). Análisis de la dinámica del uso del suelo de la cuenca Metztitlán en Hidalgo, México. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(3), 102-111. <https://bit.ly/3HhYwLr>
- Romero-Bautista, L., Islas-Santillan, M. A., López-Herrera, M., Ayala-Sánchez, N., Soria-Mercado, I. E., Portillo-López, A., Raymundo-Ojeda, T., y Valenzuela-Garza, R. (2015). Los hongos poliporoides de la subcuenca del río Metztitlán, Hidalgo, México. En G. Pulido-Flores, S. Monks, y M. López-Herrera. (Ed.), *Estudios en Biodiversidad, Volumen I* (pp. 196-214) (Lincoln, NE: Zea Books). Recuperado de <https://bit.ly/3HQAmbA>.
- Secretaría de la Convención de Ramsar (2013). Manual de la Convención de Ramsar, Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 197). 6ª edición. 15 de marzo de 2020. <https://bit.ly/3QEi2GN>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). Informe de la situación del medio ambiente en México. 1 marzo 2020. <https://bit.ly/3u3wEEw>
- Zeshan, M. T., Mustafa, M. R. U., y Baig, M. F. (2021). Monitoring Land Use Changes and Their Future Prospects Using GIS and ANN-CA for Perak River Basin, Malaysia. *Water*, 13, (2286), 1-20. <https://doi.org/10.3390/w13162286>.