

Modelo cartográfico del cambio espacial de suelo por subcuencas en Texcoco, Estado de México: 1977-2000*

Cartographic model of the spatial change of soil by sub-basins in Texcoco, Estado de Mexico: 1977-2000

Miguel J. Escalona-Maurice^{1§}, María Josefa Jiménez-Moreno¹ y José Sancho Comíns²

¹Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 01 (595) 9520200. (josefajimenez@colpos.mx). ²Universidad de Alcalá de Henares. Plaza de San Diego s/n. Alcalá de Henares, Madrid, España. CP. 28801. (jose.sancho@uah.es). [§]Autor para correspondencia: mescalona@colpos.mx.

Resumen

En esta investigación se utilizaron imágenes de satélite Landsat del año de 1977 MSS, 1989 TM y 2000 ETM para analizar el estado morfológico y funcional del paisaje de las subcuencas del municipio de Texcoco. El municipio cuenta con siete subcuencas y dos divisorias de agua entre la Cuenca de México y la sección correspondiente a la Cuenca de Puebla-Tlaxcala. El análisis indica que seis subcuencas presentaron cambios drásticos en relación al tipo de vegetación, pastizal, matorral y bosque, y en la superficie agrícola bajo riego y temporal. La subcuenca del Río Manzano en el periodo de estudio mantiene un relativo equilibrio porque no presenta cambios en las superficies de vegetación natural y áreas productivas. La subcuenca del Río El Tejocote-Santa Mónica se considera con base a los datos como una zona sin alteración en su uso del suelo.

Palabras clave: cambio de ocupación del suelo, imágenes de satélite, sistemas de información.

Abstract

In this research, Landsat satellite images of the 1977 year MSS, 1989 TM and 2000 ETM were used to analyze the morphological and functional status of the sub-basins landscape of the Texcoco municipality. In the municipality there are seven sub-basins and two divisions of water between the Mexico Basin and the section corresponding to the Puebla-Tlaxcala Basin. The analysis indicates that six sub-basins showed drastic changes in relation to the vegetation type, grassland, scrubland and forest, and in the agricultural surface under irrigation and rainfed. The Manzano River subbasin in the study period maintains a relative equilibrium because it does not show changes in the natural vegetation surfaces and productive areas. Based on data El Tejocote-Santa Mónica subbasin is considered as an area with no alteration in its land use.

Keywords: change of land occupation, satellite images, information systems.

Introducción

Un modelo cartográfico es un Sistema de Información Geográfica raster o vectorial, con información espacial y geoespacial se fundamenta en procedimientos analíticos, a través de la representación gráfica de datos, para análisis y estructura de procedimientos muestra información cartográfica a través de mapas (Chuvieco, 1996; 2002; DeMers, 2002). El análisis de los datos geoespaciales usa operaciones estadísticas. En tanto las características espaciales de la información geoespacial están basadas en técnicas de análisis determinada en coordenadas (Luneta y Elvidge, 1988; Ramachandran y Abrans, 2011).

El municipio de Texcoco ha experimentado un cambio muy dinámico relacionado con la morfología del paisaje y un reacondicionamiento como espacio geográfico. Los paisajes del municipio están cambiando en función de la propia lógica del modelo de desarrollo y del orden territorial. Texcoco, está inmerso en la dinámica y la influencia que ejerce la Ciudad de México. Motivo fundamental para la elaboración de un modelo cartográfico del cambio espacial del suelo que permita conocer la transformación, y debido a la complejidad del municipio de Texcoco el estudio se realizó a través de subcuencas en el periodo de 1977 a 2000.

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron tres imágenes Landsat MSS del año 1977, TM 1989 y ETM 2000, las cuales tuvieron procedimientos de corrección geométrica, radiométrica, y topográfica. La corrección geométrica se realizó a través del ajuste geométrico y asignación de georreferencia, con el apoyo de una orto foto digital elaborada por INEGI (1996) con una resolución de 2 m, el método empleado fue el ajuste de imagen/imagen mediante puntos de control, con un modelo de tercer orden y una ecuación bicúbica, con un error cuadrático medio menor a 0.5 del tamaño del píxel.

Con respecto a las correcciones radiométricas y atmosféricas, se calibró los niveles digitales de modo absoluto para convertirlos a niveles de reflectividad (Fernández *et al.*, 2015). Posteriormente, se realizó la corrección topográfica por medio de un modelo digital para cada imagen con la fórmula de Civco (1989). Una vez calibradas las imágenes satelitales, se realizó la clasificación por clase, lo cual consistió en distinguir la separación entre cada una de las clases, generando como resultado once clases. Con base a trabajo de campo, se corrobora que las categorías temáticas

Introduction

A cartographic model is a raster or vectorial Geographic Information System, with spatial and geospatial information based on analytical procedures, through graphical representation of data, for analysis and structure of procedures it shows cartographic information through maps (Chuvieco, 1996; 2002; DeMers, 2002). Analysis of geospatial data uses statistical operations. As spatial features of geospatial information are based on coordinate analysis techniques (Luneta and Elvidge, 1988; Ramachandran and Abrans, 2011).

Texcoco municipality has undergone a very dynamic change related to the morphology of the landscape and a reconditioning as a geographic space. The landscapes of the municipality are changing according to the logic of the development model and territorial order. Texcoco, is immersed in the dynamics and influence of Mexico City. Basic reason for the elaboration of a cartographic model of the spatial change of the soil that allows to know the transformation, and due to the complexity of Texcoco municipality the study was carried out through sub-basins in the period from 1977 to 2000.

For the development of the research, three Landsat MSS images of 1977, TM 1989 and ETM 2000 were used, which had geometric, radiometric, and topographic correction procedures. The geometric correction was done through geometric adjustment and georeference assignment, with the support of an ortho digital photo elaborated by INEGI (1996) with a resolution of 2 m, the method used was the image/image adjustment using control points, with a third order model and a bicubic equation, with a mean square error smaller than 0.5 pixel size.

Regarding to radiometric and atmospheric corrections, the digital levels were calibrated absolutely to convert them to reflectivity levels (Fernández *et al.*, 2015). Subsequently, the topographic correction was performed by means of a digital model for each image using the Civco formula (1989). Once the satellite images were calibrated, the classification by class was made, which consisted of distinguishing the separation between each of the classes, resulting in eleven classes. Based on field work, it was corroborated that the thematic categories coincided with the classification of the Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Then, the graph of the standard deviation was used where it was not found overlaying between classes.

coincidieran con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Después, se usó el gráfico de la desviación estándar en donde no se encontró sobre posición entre clases.

Enseguida, a los mapas de uso del suelo obtenidos se calculó el error de clasificación de dos formas. El primero de ellos fue aplicar el algoritmo ERmap del programa Idrisi, en donde por medio de otra imagen clasificada con una metodología diferente se comparó el error de la clasificación entre los mapas de uso del suelo. En la segunda opción, para el mapa de 1977 se consultó la información del INEGI de la carta de uso del suelo del año de 1978. Para el mapa del uso del suelo de 1989 y 2000 se foto interpretó la orto foto digital de año de 1996 del INEGI, utilizando la metodología de foto interpretación del INEGI del año 1978.

Al correr el algoritmo se obtuvo un error de clasificación de $\pm 95\%$ de las tres imágenes de satélite clasificadas. Por último, se establecieron 170 puntos de control adicionales para verificar en campo las clases temáticas en específico del mapa de uso del suelo del año 2000. Al finalizar este procedimiento, se empleó un filtro gaussiano para uniformizar la información. Y se obtuvieron los mapas de ocupación del suelo del año 1977, 1989, 2000. Una siguiente fase fue la delimitación de las cuencas hidrológicas, digitalizando las subcuencas de las cartas escaneadas en formato tiff (Tagged Image File Format, formato de imágenes de alta resolución) de INEGI del año 1996 de las cartas topográficas E14B21 Texcoco y E14B31 Chalco.

Se aplicó la metodología del ITC-Holanda para delimitación de cuencas, usando el modelo digital de elevación, las curvas de nivel, el patrón de drenaje, y las vías de comunicación. La delimitación de cuencas se obtuvo a escala 1:500 000, obteniendo siete subcuencas y se delimitaron las divisorias de aguas entre la Cuenca de México y la sección correspondiente a la Cuenca de Puebla-Tlaxcala.

Una vez obtenida las subcuencas se realizó la matriz de cambio con el cruce de cada subcuenca para cada mapa de ocupación del suelo por año, a través del algoritmo de matriz de cambio, a partir del número de los píxeles totales por columna y renglón, para obtener las áreas de transición en tres categorías, áreas estables, pérdidas y ganancias. Se tomó como base las fechas de 1977 y del año 2000. Con estos datos se realizaron mapas dinámicos de la ocupación del suelo por subcuenca del periodo de 1977 a 2000. La cartografía resultante de los procesos se presenta en escala 1:200 000.

Then, to the land use maps obtained, the classification error was calculated in two ways. The first one was to apply the ERmap algorithm of the Idrisi program, where by means of another image classified with a different methodology the error of the classification between the maps of land use was compared. In the second option, the INEGI information of the land use charter of 1978 was consulted for the 1977 map. For the land use map of 1989 and 2000, the photo was interpreted as the digital photo of the year 1996 of INEGI, using the INEGI photo interpretation methodology of 1978.

When running the algorithm, a classification error of $\pm 95\%$ of the three classified satellite images was obtained. Finally, 170 additional control points were established to verify in the field the specific thematic classes of the 2000 land use map. At the end of this procedure, a Gaussian filter was used to standardize the information. And the land occupation maps of 1977, 1989, 2000 were obtained. A subsequent phase was the delimitation of the hydrological basins, digitizing the sub-basins of the cards scanned in tiff (Tagged Image File Format, format of high resolution images) of INEGI of the 1996 year of the topographical charts E14B21 Texcoco and E14B31 Chalco.

The ITC-Netherlands methodology for basins delineation was applied, using the digital elevation model, contours, drainage pattern, and communication channels. The basins delineation was obtained at 1:500 000 scale, obtaining seven sub-basins and delimiting the watersheds between the Basin of Mexico and the section corresponding to the Puebla-Tlaxcala basin.

Once the sub-basins were obtained, the change matrix was performed with the crossing of each sub-basin for each land occupation map per year, using the change matrix algorithm, based on the number of total pixels per column and row, to obtain the transition areas into three categories, stable areas, loss and gain. Based on the dates of 1977 and 2000. Based on these data, dynamic maps of soil occupation by sub-basin were carried out from 1977 to 2000. The cartography resulting from the processes is shown in a scale of 1: 200 000.

Based on the land cover map of 1977 and 2000, the soil cover dynamics were obtained in the seven sub-basins and the watersheds between the Basin of Mexico and the section of the Puebla-Tlaxcala Basin were delimited, which are located within the territory of Texcoco municipality (Figure 1).

En base al mapa de ocupación del suelo de 1977 y 2000 se obtuvo la dinámica de la cobertura del suelo en las siete subcuencas y se delimitaron las divisorias de aguas entre la Cuenca de México y la sección correspondiente a la Cuenca de Puebla-Tlaxcala, que están localizadas dentro del territorio del municipio de Texcoco (Figura 1).

Subcuenca del río Hondo. Esta subcuenca, se encuentra a una altitud de 3 900 m, no presentó grandes cambios en relación a la superficie de pastizal y bosque. Pero, en la parte media de la subcuenca la actividad humana es de mayor actividad y existe un incremento de pastizal y de superficie de agricultura de temporal. La subcuenca cuenta con una superficie total de 52.4 km² de los cuales tiene una superficie estable de 32 km², por lo que la alteración en el paisaje es mínima.

Subcuenca del río Jalapango. El pastizal presentó un incremento de 9.2 km² la agricultura de temporal incrementó su superficie en 9.3 km², lo que indica una penetración y avance de la actividad agrícola de temporal. El bosque disminuyó a 3.18 km². La agricultura de riego presentó una pérdida de 6.26 km² y una superficie estable de 1.58 km², lo que indica pérdida de la actividad agrícola de riego y el cambio de ocupación del suelo. La superficie urbana tuvo un incremento de 1.7 km² dentro de la subcuenca, y en la subcuenca de 1.48 km².

Subcuenca del río Coxacoaco. Esta subcuenca presentó una dinámica notable en los tipos de ocupación del suelo. Antes existían algunos humedales que a la fecha han desaparecido (INEGI, 1977, 1980, 1990, 2000), y actualmente estos espacios son utilizados para agricultura de riego. Para el caso del pastizal presentó un incremento de 4.58 km², principalmente en la parte montañosa, este incremento tiene relación directa con la actividad agrícola de temporal que se desarrolla y se introduce en la zona forestal. La superficie de agricultura de temporal se incrementó a 6.58 km² en toda la subcuenca. En caso del bosque, se mantiene una superficie estable de 16.13 km², y esta situación es muy importante para esta subcuenca, dado que de 1977 a 2000; solo han cambiado 2.57 km².

La agricultura de riego es la superficie que más transformaciones presenta porque actualmente solo tiene 5.31 km² de superficie estable agrícola de riego, y en el transcurso de 23 años su superficie se redujo a 9.38 km².

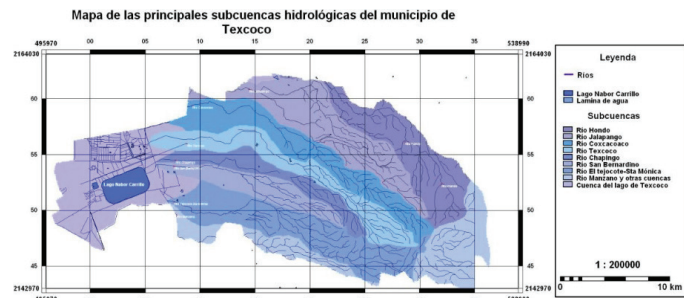


Figura 1. Mapa de las principales subcuencas hidrológicas del municipio de Texcoco.

Figure 1. Map of the main hydrological sub-basins of Texcoco municipality.

Hondo River sub-basin. This sub-basin, located at an altitude of 3 900 m, did not show great changes in relation to the pasture and forest surface. However, in the middle part of the sub-basin human activity is greater and there is an increase in pasture and in the area of rainfed agriculture. The sub-basin has a total area of 52.4 km² of which 32 km² correspond to stable surface, so the alteration in the landscape is minimal.

Jalapango River sub-basin. The pasture showed an increase of 9.2 km². Rainfed agriculture increased its area by 9.3 km², which indicates a penetration and advance of the rainfed agricultural activity. The forest decreased to 3.18 km². Irrigated agriculture showed a loss of 6.26 km² and a stable surface of 1.58 km², which indicates a loss of irrigation agricultural activity and a change in soil occupation. The urban area had an increase of 1.7 km² within the sub-basin, and in the sub-basin of 1.48 km².

Coxacoaco River sub-basin. This sub-basin showed a remarkable dynamics in the types of land occupation. Previously there were some wetlands that have disappeared to date (INEGI, 1977, 1980, 1990, 2000), and these are now used for irrigated agriculture. In the case of the pasture, it showed an increase of 4.58 km², mainly in the mountainous part, this increase has a direct relation with the rainfed agricultural activity that develops and is introduced in the forest zone. The area of rainfed agriculture increased to 6.58 km² in the whole sub-basin. In the case of the forest, a stable area of 16.13 km² is maintained, and this situation is very important for this sub-basin, since from 1977 to 2000; only 2.57 km² have changed.

El suelo desnudo presentó una disminución de 0.54 km² y se debe principalmente a las obras de conservación de suelo del proyecto de restauración del lago de Texcoco. Recientemente la actividad minera y la explotación de bancos de material presentó una superficie de 0.53 km². Con respecto a la superficie urbana presentó un incremento de 5.12 km² sobre todo ocupando suelos agrícolas bajo riego dentro de la subcuenca. Además, es la subcuenca más densamente poblada y en donde se localiza la cabecera municipal.

Subcuenca del río Texcoco. Esta subcuenca también presentaba algunos humedales (INEGI, 1977, 1980, 1990, 2000), que actualmente son ocupados por la agricultura de riego. En el caso del pastizal, presentó una ganancia de 3.18 km² en superficie, aunque el análisis indica que en 23 años se tiene una reducción de 1.74 km²; es decir, este cambio del pastizal involucra otros sitios dentro de la subcuenca. La superficie forestal, se mantiene prácticamente estable al contabilizar 14.01 km² de los 15.14 km² registrados para el año 2000, y solo se registran 1.5 km² de pérdida de superficie forestal.

La agricultura de riego tuvo una pérdida de 5.12 km². Al igual que la subcuenca del río Coxacoaco perdió la cuarta parte de su superficie a partir de 1977 a la fecha. En la agricultura de temporal se presenta el fenómeno inverso porque presenta una ganancia de 5.9 km², y esto es importante resaltar porque indica de alguna forma el cambio que están sufriendo otros tipos de cobertura son incorporados a la agricultura de temporal. El crecimiento urbano tuvo un incremento de 2.31 km². La configuración de la topografía con la subcuenca del río Coxacoaco, hacen que éstas dos subcuencas estén concentrando el mayor conglomerado urbano del municipio.

Subcuenca del río Chapingo. La cubierta de pastizal, tiene una superficie estable de 1.49 km² y reporta una ganancia de 3.97 km²; es decir, la superficie de pastizal está incorporando a otras cubiertas y además, se está moviendo de su cubierta original. El bosque, registra un incremento de 1.25 km² y la superficie estable se mantiene con una pequeña variación, pero lo importante es que se puede observar este incremento en la superficie forestal, debido a la reforestación que se lleva a cabo por medio del plan de recuperación del plan lago de Texcoco. La agricultura de riego en la subcuenca, experimenta una reducción de 2.76 km² en 23 años y sólo registra una superficie estable de 2.2 km². La superficie de láminas de agua es igual, no tiene variación.

Irrigation agriculture is the area that showed most changes because it currently has only 5.31 km² of stable irrigated agricultural land, and over the course of 23 years its surface fell to 9.38 km². The bare soil showed a decrease of 0.54 km² and is mainly due to the soil conservation works of the restoration project of Texcoco Lake. Recently the mining activity and the exploitation of material banks showed an area of 0.53 km². Compared to the urban area it showed an increase of 5.12 km² mainly occupying agricultural soils under irrigation within the sub-basin. In addition, it is the most densely populated sub-basin and where the municipal head is located.

Texcoco River sub-basin. This sub-basin also showed some wetlands (INEGI, 1977, 1980, 1990, 2000), which are currently occupied by irrigated agriculture. In the case of the pasture, it showed a surface gain of 3.18 km², although the analysis indicates that in 23 years it showed a reduction of 1.74 km²; that is, this pasture change involves other sites within the sub-basin. The forest area is practically stable when accounting for 14.01 km² of the 15.14 km² recorded for the 2000, and only 1.5 km² of forest area loss has been recorded.

Irrigated agriculture had a loss of 5.12 km². Just as the Coxacoaco River sub-basin that lost a quarter of its area from 1977 to date. In the rainfed agriculture the reverse phenomenon occurs because it shows a gain of 5.9 km², and this is important to emphasize because it indicates in some way the change that are suffering other types of coverage are incorporated to the rainfed agriculture. The urban growth had an increase of 2.31 km². The configuration of the topography with the sub-basin of the Coxacoaco River, make these two sub-basins to concentrate the largest urban conglomerate of the municipality.

Chapingo River sub-basin. The grassland cover, has a stable surface of 1.49 km² and reports a gain of 3.97 km²; that is, the grassland surface is incorporating other lands and, furthermore, it is moving from its original coverage. The forest recorded an increase of 1.25 km² and the stable surface is maintained with a small variation, but the important thing is that this increase in the forest area can be observed, due to the reforestation that is carried out by means of the recovery plan of the Texcoco Lake plan. Irrigation agriculture in the sub-basin experienced a reduction of 2.76 km² in 23 years and only recorded a stable surface of 2.2 km². The surface of water sheets is the same, there is no variation.

Subcuenca del Río San Bernardino. La superficie del pastizal tiene una ganancia de 6.29 km². El matorral tiene una ganancia de 0.21 km², su presencia es sobre todo, en las pequeñas elevaciones menores a 100 metros, en donde la actividad humana no altera este tipo de vegetación. El bosque también presenta un aumento muy pequeño de 1.1 km² y una superficie estable en 2.02 km², que está en relación a las obras de conservación de suelo y de reforestación del plan lago de Texcoco.

La localización de esta subcuenca está en el centro del municipio, por lo que la superficie de agricultura de riego presenta sólo 2.74 km² de superficie estable y una pérdida de 2.35 km². Con respecto a la agricultura de temporal se registra una pérdida de superficie de 6.37 km². La superficie de láminas de agua se mantiene estable, en tanto que el suelo desnudo disminuyó 0.99 km². Los afloramientos rocosos tienen un ligero incremento. La actividad minera de extracción a cielo abierto tiene presencia en esta subcuenca. La zona urbana tuvo un incremento de 0.86 km².

Subcuenca del río Tejocote-Santa Mónica. Esta subcuenca en el año 1977 presentaba humedales (INEGI, 1977; 1980; 1990; 2000), actualmente han desaparecido al igual que en las subcuencas anteriores. El pastizal aumentó su superficie a 7.98 km² y se observan nuevas zonas dentro del bosque y también presentó una superficie afectada por los incendios del año de 1998. El matorral es uno de los elementos del paisaje en esta subcuenca que presenta una disminución de 1.22 km².

La superficie forestal es muy importante para esta subcuenca y, mantiene una zona estable de 26 km² y registró una pérdida de 4.12 km², se tuvo una pérdida de superficie forestal principalmente por los incendios forestales que se presentaron en el año de 1998 de los que todavía no se tiene ninguna evaluación de la superficie de la zona afectada. En esta subcuenca se puede observar claramente que es la más afectada por la pérdida de superficie agrícola de riego al presentar una pérdida de 7.51 km², casi la mitad de su superficie original que tenía en el año 1977.

La agricultura de temporal incrementó a 6.26 km² y está en relación a los espacios que se están generando en la zona del bosque. En relación al suelo desnudo éste tiene una pérdida de 0.51 km² y los afloramientos de roca mantienen la superficie original. La explotación de minas a cielo abierto es también un elemento nuevo en la subcuenca al registrar

San Bernardino River sub-basin. The grassland surface has a gain of 6.29 km². The scrubland has a gain of 0.21 km², its presence is mainly in small elevations less than 100 meters, where human activity does not alter this type of vegetation. The forest also shows a very small increase of 1.1 km² and a stable surface in 2.02 km², which is related to the soil conservation works and reforestation of the Texcoco Lake plan.

The location of this sub-basin is in the center of the municipality, reason why the irrigation agriculture shows only 2.74 km² of stable surface and a loss of 2.35 km². Compared to rainfed agriculture, there is a loss area of 6.37 km². The surface of water remains stable, while the bare soil decreased 0.99 km². Rock outcrops have a slight increase. The mining activity of open extraction is present in this sub-basin. The urban area had an increase of 0.86 km².

Tejocote-Santa Monica River sub-basin. In 1977 this sub-basin showed wetlands (INEGI, 1977; 1980; 1990; 2000), that have now disappeared as in the previous sub-basins. The grassland increased its area to 7.98 km² and there are new areas within the forest and also showed a surface affected by the fires of the 1998 year. The scrub is one of the landscape elements in this sub-basin that shows a decrease of 1.22 km².

The forest area is very important for this sub-basin and maintains a stable area of 26 km² and recorded a loss of 4.12 km², there was a loss of forest area mainly due to the forest fires that occurred in the 1998 year of those still there is no assessment of the affected area. In this sub-basin, it can be clearly seen that it is the one most affected by the loss of irrigated agricultural land showing a loss of 7.51 km², almost half of the original surface it had in 1977.

Rainfed agriculture has increased to 6.26 km² and is related to the areas that are being generated in the forest area. Regarding to the bare soil it has a loss of 0.51 km² and rock outcrops maintain its original surface. The exploitation of open pit mines is also a new element in the sub-basin by registering 0.28 km². The urban element has a gain of 2.23 km² by increasing four times more the original surface it had for the 1977 year.

Manzano River sub-basin and other sub-basins. The name of "other sub-basins" is for the reason that there is not a name in the cartography of the topographic chart of INEGI in the head of these rivers, although in the following topographical charts that join the Texcoco and Chalco charts must appear

0.28 km². El elemento urbano tiene una ganancia de 2.23 km² al aumentar cuatro veces más la superficie original que tenía para el año de 1977.

Subcuenca del Río Manzano y otras subcuencas. La denominación de "otras subcuencas" es por la razón de que no existe un nombre en la cartografía de la carta topográfica del INEGI en la cabecera de estos ríos, aunque en las siguientes cartas topográficas que se unen a la carta Texcoco y Chalco debe aparecer el nombre de cada una de ellas. Constan de tres zonas específicas, parte del Río Manzano se localiza en el extremo sur que limita con el municipio de San Vicente Chicoloapan y con Ixtapaluca, los dos restantes se localizan en la sección correspondiente a la Sierra Nevada.

Estas dos subcuencas forman parte de la cuenca de Puebla-Tlaxcala pero se encuentran dentro de los límites naturales. Dos de estas subcuencas son de una gran importancia porque en ellas se encuentra la mayor superficie forestal estable del municipio con 37.69 km², debido principalmente a la accesibilidad de esta zona y a la configuración del relieve. Y no tienen otro tipo de variación espacial en la ocupación del suelo. Las siguientes variaciones se presentan en la subcuenca del Río Manzano que delimita al sur el municipio de Texcoco, en donde el pastizal tiene un incremento de 2.72 km², y el matorral mantiene algunas zonas estables en lomeríos producto del lahar con una altura menor a 100 m, con un incremento de 0.71 km².

Esta subcuenca presenta una reducción en la agricultura de riego en su superficie de 3.58 km² y la agricultura de temporal se mantiene en 2.96 km² de superficie constante en su área correspondiente. En relación al suelo desnudo existen zonas sin vegetación con una ganancia de 0.202 km² con presencia de afloramientos de roca con un incremento de 0.11 km². Y en esta subcuenca también se desarrolla actividad minera a cielo abierto. La zona urbana, en un periodo de 23 años, tiene un incremento de 1.33 km² en esta subcuenca, y se tiene que resaltar porque ésta subcuenca limita con el municipio de San Vicente Chicoloapan en donde recientemente se han realizado obras importantes de urbanización, poniendo en operación el plan de ordenación de la zona metropolitana del valle de México, Gobierno del Estado de México y Secretaría de desarrollo Social y Gobiernos del Distrito Federal, 1999), esta situación debe tener toda la atención por parte del gobierno municipal.

the name of each one. They consist of three specific zones, part of the Manzano river is located in the south end that limits with the municipality of San Vicente Chicoloapan and with Ixtapaluca, the remaining two are located in the section corresponding to the Sierra Nevada.

These two sub-basins form part of the Puebla-Tlaxcala basin but are within the natural limits. Two of these sub-basins are of great importance because they have the largest forest area of the municipality with 37.69 km², mainly due to the accessibility of this area and the relief configuration. And they have no other type of spatial variation in soil occupation. The following variations occur in the sub-basin of the Manzano River that delimits to the south with the Texcoco municipality, where the pasture has an increase of 2.72 km², and the scrubland maintains some stable areas in the hills product of lahar with a height less than 100 m, with an increase of 0.71 km².

This sub-basin shows a reduction in the irrigation agriculture in its surface of 3.58 km² and the rainfed agriculture is maintained in 2.96 km² of constant surface in its corresponding area. In relation to the bare soil there are areas without vegetation with a gain of 0.202 km² with presence of rock outcrops with an increase of 0.11 km². And in this sub-basin there is also open-pit mining activity. The urban area, in a period of 23 years, had an increase of 1.33 km² in this sub-basin, and it should be noted that this sub-basin is bordered by the municipality of San Vicente Chicoloapan where important urbanization works have recently been carried out, putting into operation the management plan of the metropolitan area of Mexico valley, Government of Estado de Mexico and Secretaría de Desarrollo Social and Governments of the Distrito Federal, 1999), this situation must have all the attention from the municipal government.

Former Lake of Texcoco basin. In the zone corresponding to the basin of Texcoco lake we locate the last areas of tular and some wetlands that are conserved in this zone, the stable surface is very small 0.007 km², but with the accomplishment of the restoration works of the Texcoco lake's plan there was able to gain an area of 1.2 km² that mainly are areas that develop the vegetation of the tular, which is the habitat of the birds that still survive in this zone. The management of restoration of the Texcoco lake's plan achieved the introduction of the halophilic pasture and covered the soil of lacustrine origin, by the 2000 year the pasture surface showed a gain of 32.03 km².

Cuenca del ex Lago de Texcoco. En la zona correspondiente a la cuenca del lago de Texcoco ubicamos las últimas zonas de tular y de algunos humedales que se conservan en esta zona, la superficie estable es muy pequeña 0.007 km², pero con la realización de las obras de restauración del plan lago de Texcoco se logró ganar una superficie de 1.2 km² que principalmente son zonas que desarrollan la vegetación del tular, que es el hábitat de las aves que aún sobreviven en esta zona. El manejo de restauración del plan lago de Texcoco logró la introducción del pastizal halófilo y dar una cobertura al suelo de origen lacustre, para el año 2000 la superficie de pastizal tiene una ganancia de 32.03 km².

En relación al suelo desnudo este ha disminuido a 40.16 km² no solo por el pastizal sino también por las infraestructuras hidráulicas. En el plan de manejo se introdujo una zona de reforestación de bosque que tiene una superficie de 0.44 km². La agricultura de riego se mantiene con la misma superficie con un pequeño incremento de 0.74 km². La agricultura de temporal presenta un incremento en la zona del lago de 4.23 km². La realización de las infraestructuras hidráulicas y con la puesta en operación de los cuatro lagos, la zona del lago de Texcoco ganó en láminas de agua 10.44 km².

Por último, se presenta la aparición de zonas urbanas en esta zona con una ganancia de 0.44 km², y en donde el plan de desarrollo urbano (Ayuntamiento del municipio de Texcoco, 2006) pone de manifiesto que en estas zonas es necesario regularlas y ordenarlas territorialmente, porque su colonización y crecimiento no obedecen a un ordenamiento sino de forma desordenada, irregular y espontánea. Este crecimiento se desarrolla en una zona que tiene propiedad ejidal y zona federal. El cambio de uso de suelo en el municipio de Texcoco se presentó principalmente por el incremento de la zona urbana, pastizal, matorral y bosque, así como en la superficie agrícola de riego y temporal (Figura 2).

Conclusiones

Se observó que las subcuencas con mayor impacto fueron: Río Hondo, Xalapango, Coxacoaco, Texcoco, Chapingo y San Bernardino, ya que presentan más cambios y alteraciones en su superficie de ocupación del suelo en los últimos 23 años, principalmente en la vegetación, pastizal, matorral y bosque, así como en las superficies agrícolas de riego y temporal. La subcuenca del Río Manzano en el periodo de estudio mantiene un relativo equilibrio en las

In relation to the bare soil this has decreased to 40.16 km² not only due to the pasture but also by the hydraulic infrastructures. The management plan introduced a forest reforestation zone with an area of 0.44 km². Irrigation agriculture is maintained with the same surface with a small increase of 0.74 km². Rainfed agriculture shows an increase in the lake area of 4.23 km². The realization of the hydraulic infrastructures and with the putting into operation of the four lakes, the zone of the Texcoco lake gained 10.44 km² in sheets of water.

Finally, urban areas are shown in this area with a gain of 0.44 km², where the urban development plan (City Hall of Texcoco municipality, 2006) shows that in these areas it is necessary to regulate and order them territorially, because its colonization and growth do not obey an order but in a disordered, irregular and spontaneous way. This growth takes place in an area that has ejidal property and federal zone. The change in land use in the Texcoco municipality was mainly due to the increase in the urban area, pasture, scrubland and forest, as well as in irrigated and rainfed agricultural land (Figure 2).

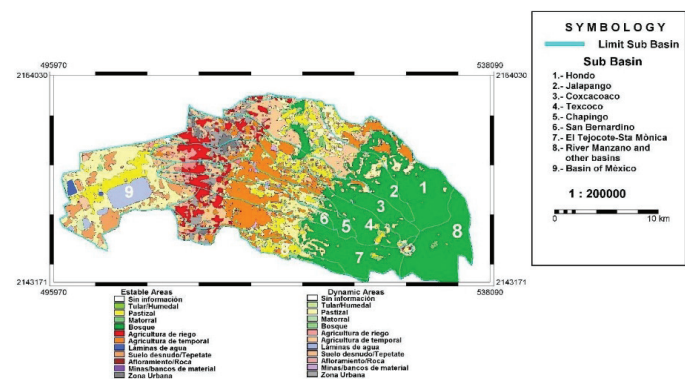


Figura 2. Zonas estables y de cambio del municipio de Texcoco.

Figure 2. Stable and change zones of Texcoco municipality.

Conclusions

It was observed that the subbasins with the greatest impact were: Hondo, Xalapango, Coxacoaco, Texcoco, Chapingo and San Bernardino Rivers, since they showed more changes and alterations in their land occupation area in the last 23 years, mainly in the vegetation, pasture, scrubland and forest, as well as in the agricultural areas of irrigation and rainfed.

superficies de vegetación natural y áreas productivas. La subcuenca del Río El Tejocote-Santa Mónica se considera con base a los datos como una zona sin alteración en su uso del suelo. El área de la Cuenca del Lago de Texcoco presenta mayor alteración respecto a toda el área de estudio.

El método a utilizar para analizar la dinámica de cambio de uso del suelo generada por el crecimiento urbano depende del conocimiento, capacitación y habilidad del analista sobre los métodos de detección de cambios existentes y de los datos de la imagen utilizada, así como de las características del área de estudio. Adicionalmente, la selección de la técnica dependerá del aspecto a evaluar, de la calidad de información a generar y del costo de implementación. Así, ningún método es aplicable para todos los casos, pero si es imprescindible el empleo de uno o varios de ellos para que la autoridad y los tomadores de decisiones puedan conocer el alcance de los cambios registrados, los riesgos que ello implica, y de ser posible identificar los agentes que causan el cambio con fines de seguimiento de la planificación territorial.

The Manzano River subbasin in the study period maintained a relative balance in the areas of natural vegetation and productive areas. The El Tejocote-Santa Monica subbasin is considered based on data as an area with no alteration in its land use. The area of the Texcoco Lake basin shows greater alteration with respect to the whole area of study. pest damage, weather phenomena and low temperatures, requiring a precise date of transplant field definition.

The method to be used to analyze the dynamics of land use change generated by urban growth depends on the analyst's knowledge, skills and ability on the methods of detecting existing changes and on the image data used, as well as the characteristics of the study area. In addition, the selection of the technique will depend on the aspect to be evaluated, on the quality of information to be generated and on the implementation cost. Thus, no method is applicable in all cases, but it is essential to use one or several of them so that the authority and the decision makers can know the scope of the changes registered, the risks involved, and if possible to identify the agents that cause the change aiming to monitor the territorial planning.

Literatura citada

- Bosque, S. J. 1997. Sistemas de información geográfica. Editorial Rialp. Madrid, España.
- Bosque, S. J.; Gómez, D. M.; Rodríguez, D. A. E. y Rodríguez, E. V. M. 1997. Valoración de los aspectos visuales del paisaje mediante la utilización de un sistema de información geográfica. *Anales de Geografía. Universidad Complutense*. 30:19-38.
- Bosque, S. J. y García, C. R. 2001. Métodos de interpolación para la elaboración de un modelo digital de elevación. *Estudios Geográficos*. 72(245):606-619.
- Chuvieco, S. E. 1996. Empleo de imágenes de satélite para medir la estructura del paisaje: análisis cuantitativo y representación cartográfica. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. España. *Serie Geográfica*. 6:131-147.
- Chuvieco, S. E. 1999. Measuring changes in landscape pattern from satellite images: short-term effects of fire on spatial diversity. *Remote Sensing*. 20(12):2331-2346.
- Chuvieco, S. E. 2002. Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Editorial Ariel Ciencia. 424 p.
- Civco, D. L. 1989. Topographic normalization of landsat thematic mapper digital imagery. *Photogrammetric. Engineering and Remote Sensing*. 55:1303-1309.
- DeMers, N. M. 2002. Gis modeling in raster. (Ed.). John Wiley and Sons. USA. 108-111 pp.
- Escalona, M. M. J. 2005. El paisaje del Municipio de Texcoco: análisis morfológico y funcional en el marco de un modelo cartográfico. Estado de México. Estados Unidos Mexicanos. Tesis de doctorado Universidad de Alcalá. 529 p.
- Eastman, J. R. 2001. IDRISI Release ver 4.0. Clark Labs. The Idrisi Project. Idrisi source code copyright© 1987-2001.

End of the English version



- Felicísimo, M. A. 1994. Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales. Editorial Pentalfa. Oviedo, España 122 p.
- Felicísimo, M. A. 1999. La utilización de los modelos digitales de terreno (MDT) en los estudios del medio físico, Universidad de Oviedo, España. 16 p.
- Fernández, O. Y. M.; Escalona, M. M. J. y Valdez, L. J. R. 2015. Avances y perspectivas de geomática con aplicaciones ambientales, agrícolas y urbana. Editorial del Colegio de Postgraduados. Colección: Biblioteca Básica de Agricultura, México. (Ed.). 1-274 pp.
- INEGI. 1977. Instructivo para la elaboración de la carta de uso del suelo. SPP. Dirección General de estudios del territorio nacional. 3^{ra} impresión. México.
- INEGI. 1978-2000. Carta topográfica 1:50 000. Carta Texcoco E14B21 y Chalco E14B31.
- INEGI. 1978. Carta edafológica, escala 1: 50 000.
- INEGI. 1978. Carta de uso del suelo y vegetación. Escala 1: 50 000.
- INEGI. 1980. Censo general de población y vivienda del estado de México. Aguascalientes. México.
- INEGI. 1981. Guías para la interpretación de cartografía. Uso del suelo. SPP: México, D. F.
- INEGI. 1980-2001. Síntesis geográfica del Estado de México. SPP. México.
- INEGI. 1990. Guías para la interpretación de cartografía. Edafología. 2^{da}. reimpresión.

- INEGI. 1990. Guías para la interpretación cartográfica. Uso del suelo. INEGI. 2^{da}. reimpreaión. Aguascalientes. México.
- INEGI. 1990. Censo general de población y vivienda del Estado de México; México.
- INEGI. 1994. VII Censo agropecuario y forestal del Estado de México, México.
- INEGI. 1996. Carta de uso del suelo y vegetación. Escala 1: 250 000.
- INEGI. 1999. Norma técnica para la elaboración de los modelos digitales de elevación escala 1: 50 000.
- INEGI. 2000. Censo general de población y vivienda del Estado de México. Resultados por municipio. México.
- INEGI. 2001. Cuaderno estadístico municipal, Texcoco. Gobierno del Estado de México/ Ayuntamiento constitucional de Texcoco.
- Luneta, S. R. y Elvidge, D. C. 1998. Remote sensing change detection. (Ed.). Ann Arbor Press. Michigan. USA. 282-285 pp.
- Ramachandran, B. C. O. J. and Abrams, M. J. 2011. Land remote sensing and global environmental change: NASA's earth observing system and the science of ASTER and MODIS. N. Y. 873 p.