



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

## **POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS**

**PATRONES DE CAMBIO DE USO DEL TERRENO  
EN LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO**

# **T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**DOCTORA EN CIENCIAS**

P R E S E N T A

**ERNA MARTHA LÓPEZ GRANADOS**

DIRECTOR DE TESIS: DR. GERARDO BOCCO VERDINELLI

MÉXICO, D.F.

NOVIEMBRE, 2006



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## RECONOCIMIENTOS

Agradezco profundamente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) la beca otorgada para la realización de la tesis “Patrones de cambio de uso del terreno en la cuenca del lago de Cuitzeo”. La investigación realizada tuvo como marco de investigación el proyecto institucional “Regionalización ecológica, conservación de recursos y ordenamiento territorial”, el cual fue apoyado por el Programa SIMORELOS-CONACyT.

También se reconoce y agradece el apoyo económico otorgado por el Macroproyecto de Investigación Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano en el área del Lago de Cuitzeo Michoacán, del Programa Transdisciplinario en Investigación y Desarrollo para Facultades y Escuelas de la UNAM.

La investigación que se presenta fue asesorada por tres excelentes investigadores, a los cuales les agradezco sus comentarios y enseñanzas: Dr. Gerardo Bocco, Dr. Alejandro Velázquez y Dr. J. Rogelio Aguirre Rivera.

# Índice General

---

Reconocimiento	i
Resumen	ii
Índice General	iii
Índice de figuras	
Índice de cuadros	
Introducción General	1
Objetivo general	3
Objetivos particulares	3
Zona de estudio	4
Clima	7
Vegetación	7
Edafología	9
Geología	10
Factores socioeconómicos	11
Historia de la cuenca del lago de Cuitzeo	15
Esquema general de la tesis	19
Bibliografía	20
¿Qué es el cambio de cobertura vegetal y uso del terreno?	24
Bibliografía	31
Implications of land-use change (1975-2000) in land degradation patterns at the basin level. The case of the Cuitzeo lake (Central Mexico).	33
Abstract	33
Introduction	34
Method	36
Study area	36
Data base generation and accuracy	37
Results	39
Discussion	46
Conclusions	47
Acknowledgements	48
References	48
Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS based approach in Central Mexico.	52
Abstract	52
Introduction	53
The study area	54
Method	57
Results and discussion	59
Population dynamics	59
Land-cover and land-use change	60
Land-cover conversion and emigration relationship	61
Land-cover conversion within a macro-regional context	64
Conclusions	65
Acknowledgements	66
References	66
Crecimiento urbano y sus consecuencias a nivel regional en la cuenca del lago de Cuitzeo, México.	69
Resumen	69
Introducción	70
Área de estudio	71
Métodos	73
Resultados	75
Calidad de la base de datos	75

Cobertura vegetal y uso del terreno	76
Análisis de cambio de la cobertura vegetal y uso del terreno	79
Análisis de cambio en las áreas urbanas	79
Conclusiones	86
Agradecimientos	87
Bibliografía	87
Cambio de cobertura vegetal y uso de terreno en la ciudad de Morelia y sus alrededores	89
Resumen	89
Abstract	89
Introducción	90
Área de estudio	90
Materiales y métodos	90
Resultados	92
Bosques cerrados, semicerrados y abiertos.	92
Matorrales y pastizales	92
Cultivos de riego y temporal	93
Asentamientos urbanos y lotes baldíos	93
Matrices de Harkov	94
Conclusiones	97
Agradecimientos	97
Bibliografía	97
Conclusiones generales	99

# Índice de Figuras

---

## Introducción

Figura 1. La cuenca del lago de Cuitzeo.	4
Figura 2. Islas ubicadas en el lago de Cuitzeo.	6
Figura 3. Imagen Landsat MSS en falso color del lago de Cuitzeo (1976), se observan las tres zonas en que se divide al lago de Cuitzeo: 1) zona oeste, 2) zona centro, 3) zona este.	7
Figura 4. Mapa edafológico de la zona de estudio.	10
Figura 5. Distribución de los asentamientos humanos en la cuenca del lago de Cuitzeo en el año 1995.	13
Figura 6. Carreteras que cruzan al lago de Cuitzeo: a) es la primer carretera, también conocida como la Calzada y b) nueva carretera que une a Copándaro de Galeana con la Cinta.	17

## ¿Qué es el cambio de cobertura y uso del terreno

Figura 1. Cobertura y uso del terreno.	25
Figura 2. Relaciones que se establecen entre la cobertura y el uso del terreno.	26

## Implications of land-use change (1975-2000) in land degradation patterns at the basin level. The case of the Cuitzeo lake (Central Mexico).

Figure 1. Study area	36
Figure 2. Method flow diagram.	38
Figure 3. Land use change processes.	39
Figure 4. Land cover and land use change processes between 1975 and 2000.	41
Figure 5. Urban population density in 1975 and 2000.	42
Figure 6. Times series of piezometric levels from Morelia City.	44
Figure 7. Gully erosion distribution in year 2000.	45

## Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS based approach in Central Mexico.

Figure 1. Location of study area and municipalities within the basin.	55
Figure 2. Land cover and use in the study basin (1975).	61
Figure 3. Land cover and use in the study basin (2000).	62
Figure 4. Population change and change in scrubland area, per municipality (1975-2000).	63
Figure 5. Emigration rate and rate of change of scrubland area per municipality (1975-2000).	63
Figure 6. Change in rain-fed agricultural land at state level in Central Mexico.	64
Figure 7. Area covered by human settlements, as a percentage of total municipality area.	65

## Crecimiento urbano y sus consecuencias a nivel regional en la cuenca del lago de Cuitzeo, México

Figura 1. Mapa de municipios que se localizan en la cuenca del lago de Cuitzeo	72
Figura 2. Distribución de los asentamientos humanos en la cuenca de Cuitzeo.	72
Figura 3. Diagrama del procedimiento utilizando en la investigación.	75
Figura 3. Distribución espacial de la cobertura vegetal y uso del terreno en la cuenca del lago de Cuitzeo en 1975.	77
Figura 3. Distribución espacial de la cobertura vegetal y uso del terreno en la cuenca del lago de Cuitzeo en 1975.	78
Figura 5. Mapa de procesos de cambio entre 1975 y 2000.	80
Figura 6. Superficies porcentuales de los principales procesos de cambio en la cuenca de Cuitzeo entre 1975 y 2000.	81
Figura 7. Superficie de los asentamientos urbanos en la cuenca entre 1975 y 2000.	84

## Cambio de cobertura vegetal y uso del terreno en la ciudad de Morelia y sus alrededores.

Figura 1. Zona de estudio.	91
Figura 2. Diagrama metodológico.	92

Figura 3. Distribución de las superficies de las categorías de cobertura vegetal y uso del terreno por año.	93
Figura 4. Mapa de cobertura vegetal y uso del terreno en el año 1975.	95
Figura 5. Mapa de cobertura vegetal y uso del terreno en el año 1975.	95
Figura 6. Mapa de los principales procesos de cambio en la zona de estudio.	96

## Índice de Cuadros

---

Introducción	
Cuadro 1. Área y porcentaje de los suelos presentes en la cuenca del lago de Cuitzeo.	9
Cuadro 2. Porcentaje de la superficie de los municipios que se encuentra dentro de la cuenca del Lago de Cuitzeo.	12
Cuadro 3. Número de asentamientos humanos por municipios en la cuenca de Cuitzeo.	13
Cuadro 4. Población municipal en la cuenca de Cuitzeo (1970 y 2000).	14
Cuadro 5. Superficie y grado de intensidad migratoria de los municipios que integran la cuenca de Cuitzeo.	15
Implications of land-use change (1975-2000) in land degradation patterns at the basin level. The case of the Cuitzeo lake (Central Mexico).	
Table 1. Land cover and land use change processes in Cuitzeo lake basin.	40
Table 2. Percentages of LCLU categories for 1975 and 2000 in Cuitzeo lake basin.	43
Table 3. Water consumption in agriculture, public and cattle grazing (Acosta 2001).	44
Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS based approach in Central Mexico.	
Table 1. Population in Cuitzeo's Basin (municipal level, 1970 and 2000).	56
Table 2. Land-cover categories for Cuitzeo's Basin.	58
Table 3. Birth and mortality rates at both states represented in the basin.	59
Table 4. Land cover and land use in Cuitzeo's Basin (1975 and 2000).	60
Crecimiento urbano y sus consecuencias a nivel regional en la cuenca del lago de Cuitzeo, México	
Cuadro 1. Número de asentamientos humanos por municipio en la cuenca del lago de Cuitzeo.	73
Cuadro 2. Superficie en hectáreas (ha) y % que ocupan cada clase de cobertura y uso de terreno en la cuenca del Lago de Cuitzeo, en los años 1975 y 2000.	76
Cuadro 3. Superficie de los diferentes asentamientos urbanos en los años de 1975 y 2000.	82
Cuadro 4. Población correspondiente a los asentamientos urbanos que existen en la cuenca de Cuitzeo en los años de 1950, 1960, 1970, 1980, 1995 y 2000.	83
Cuadro 5. Superficie y porcentaje de las coberturas sobre las que crecieron los asentamientos urbanos.	84
Cuadro 6. Consumo de agua poblacional en los diferentes asentamientos urbanos de la cuenca de Cuitzeo.	85
Cambio de cobertura vegetal y uso de terreno en la ciudad de Morelia y sus alrededores	
Cuadro 1. Municipios que limitan con el municipio de Morelia.	90
Cuadro 2. Número de habitantes urbanos y rurales en el municipio de Morelia.	91
Cuadro 3. Cobertura vegetal y uso del terreno en 1975 y 2000 en la zona de estudio.	93
Cuadro 5. Distribución del relieve en la mancha urbana de Morelia.	94
Cuadro 6. Matriz de Markov (1975-2000).	96
Cuadro 7. Procesos de cambio ocurridos en la zona de estudio de 1975 al año 2000.	97



## Introducción General

---

El cambio en el uso del terreno desempeña un papel muy importante en los procesos actuales de cambio global y se relaciona directamente con la seguridad en la producción de alimentos, la salud humana, la urbanización, la biodiversidad, la migración transfronteriza, los refugios ambientales, la calidad del agua y del suelo, la escorrentía y las tasas de sedimentación, entre otros procesos (Dunjó *et al.* 2003, Milesi, *et al.*, 2005, Heistermann, *et al.*, 2006). En décadas recientes el cambio en la cobertura y uso del terreno se ha convertido en un tema importante a investigar al ser reconocido como el factor más importante del cambio global (Xiao *et al.*, 2006) y por interaccionar directamente con el clima, al representar a la segunda fuente antropogénica de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Campos *et al.*, 2004).

Actualmente existe un gran interés en cartografiar y monitorear la distribución de los cambios en el paisaje a escalas locales, regionales y globales, siendo un hecho que los científicos, políticos y manejadores ambientales tienen grandes expectativas hacia los cambios ocurridos en el paisaje en dos o más periodos diferentes de tiempo (Fuller, *et al.*, 2003).

El estudio de la cobertura y uso del terreno (CUT) analiza y clasifica los diferentes tipos de cobertura y usos asociados que el hombre practica en una zona o región determinada. Su importancia radica en que a escala global, regional y local, los cambios en la CUT están transformando la cobertura a un paso acelerado.

La cobertura del terreno (CT) y el uso del terreno (UT) son dos elementos clave que describen al ambiente terrestre en relación con la naturaleza y las actividades humanas. El primer término se aplica a aquellos objetos de origen natural (lagos, ríos, bosques, glaciares, etc.); o producidos y mantenidos por el hombre (ciudades, presas, carreteras, etc.) que se localizan sobre la superficie del planeta (Jansen y di Gregorio, 2002). El concepto de uso del terreno se refiere al tipo de actividad humana que se desarrolla en la superficie terrestre con el fin de producir bienes y servicios para la sociedad.

La CT y el UT denotan áreas de estudio que históricamente han estado separadas, en el caso de la cobertura del terreno es tema de interés de las ciencias naturales y revela el estado físico del terreno, como por ejemplo, la cantidad y tipo de la superficie con vegetación o con agua (Meyer y Turner II, 1994). El uso del terreno describe en última

instancia la influencia del ser humano dentro del ambiente y es campo de estudio de sociólogos, economistas, geógrafos, antropólogos, planeadores, etc.

El balance entre hábitat natural y paisaje modificado por el hombre podría determinar el futuro de la conservación de la diversidad biológica en grandes áreas del planeta. Por lo tanto es importante cartografiar y cuantificar el grado de conversión humana del hábitat natural al perturbado o dominado por el hombre (Lee *et al.*, 1995). En términos generales, se estima que entre el 30 – 50% de la superficie terrestre ha sido transformada o degradada por la acción del hombre (Vitousek *et al.*, 1997).

De acuerdo con Vitousek *et al.* (1997) el 10 – 15% de la superficie del planeta se encuentra cubierta por agricultura y áreas urbano-industriales; entre el 6 – 8% por áreas dedicadas al pastoreo; es decir, sistemas perturbados por la actividad humana. Por otro lado, la mayoría de los ecosistemas del planeta presentan extracciones de baja intensidad de sus recursos, estos sistemas alterados cubren la mayor parte de la superficie terrestre que presenta cobertura vegetal.

A pesar de los progresos en la caracterización de la cobertura del terreno por los satélites que observan a la superficie de la tierra (Loveland *et al.* 1999), las coberturas globales, regionales y en particular los usos del terreno son pobremente enumerados (Watson, *et al.*, 2000). Además datos cuantitativos de dónde, cuánto, cuándo y por qué cada cambio toma lugar global, regional y localmente, aún están incompletos, y algunas veces, estos datos son inexactos (Lambin, 1997).

Entre los temas de estudio realizados sobre el cambio en la CUT, el crecimiento de áreas urbanas ha tenido mayor atención en los últimos 10 años, porque los ecosistemas en áreas urbanas son fuertemente afectados por las actividades humanas y tienen relaciones cercanas con la vida de al menos la mitad de la población mundial (Stow y Chen, 2002).

En general a nivel mundial no existen suficientes estudios a nivel semi-detallado sobre cambio de cobertura y uso del terreno a nivel regional. La selección de un área de estudio, a menudo depende de la preocupación conjunta de investigadores, población y gobierno local para estudiar un recurso específico.

En los años de 1997 -1998 se registró un abatimiento del nivel de agua del lago de Cuitzeo, lo que causó tolváneras y enfermedades en las comunidades ubicadas en las

riberas del cuerpo de agua. Ahora sabemos que el abatimiento del lago fue una consecuencia del fenómeno meteorológico el Niño, el cual fue el más fuerte ocurrido en el siglo XX. Este fenómeno se registró 15 años después de un fenómeno catastrófico similar y sorprendió a la comunidad científica mundial, puesto que se tenía idea que el periodo de recurrencia de esta categoría de Niños se estimaba aproximadamente en 100 años o más (INDECI, 2005).

En el año de 1998 diferentes centros de investigación ubicados en la zona decidieron realizar estudios para conocer el comportamiento de la cuenca en general y del cuerpo de agua en particular, entre ellos se encontraba la Facultad de Ingeniería Civil, el Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales, ambos pertenecientes a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; el Centro Regional Universitario Centro Occidente de la Universidad Autónoma de Chapingo y el Departamento de Ecología de los Recursos Naturales (Actualmente Centro de Investigaciones en Ecosistemas) de la Universidad Nacional Autónoma de México. Cada una de las instituciones mencionadas sometió en ese momento proyectos de investigación al fideicomiso Sistema de Investigación Morelos (SIMORELOS) del CONACyT Regional.

La Universidad Nacional propuso realizar el proyecto “Regionalización ecológica, conservación de recursos y ordenamiento territorial”. Este trabajo de investigación tenía por objetivo caracterizar el estatus de los recursos naturales de la cuenca desde la perspectiva de la dinámica ambiental de las laderas, cauces y vaso; con miras al ordenamiento ecológico de las actividades socioeconómicas que se desarrollan en su territorio (Bocco, 1998). Enmarcado en este proyecto de investigación se realizó la tesis de doctorado que se presenta a continuación y que tiene como objetivo general:

Evaluar el cambio de cobertura vegetal y uso del terreno en la zona de estudio en un periodo de veinticinco años (1975 – 2000) en función del análisis de variables ambientales y socioeconómicas a escala regional y local en la cuenca de Cuitzeo, Michoacán de Ocampo.

#### Objetivos particulares

1. Conocer las coberturas y usos del terreno existentes en los años de 1975 y 2000 en la cuenca de Cuitzeo.
2. Analizar el cambio de cobertura y uso del terreno entre 1975 y 2000 en la zona de estudio.

3. Identificar en base a la cobertura y uso del terreno los patrones más importantes de degradación en la cuenca.
4. Identificar las variables socioambientales que actúan como fuerzas transformadoras de la cobertura vegetal y uso del terreno en la zona de estudio.
5. Analizar las relaciones que existen entre los patrones de cambio poblacional y los procesos de cambio de cobertura vegetal y uso del terreno en la cuenca del lago de Cuitzeo.

### Zona de estudio

La cuenca de estudio recibe el nombre de Cuitzeo, vocablo Purhé que significa lugar dónde se hacen tinajas (Piña Chán, 1977), refiriéndose a las vasijas que en ese lugar se realizaban para transportar pulque en la época prehispánica (Macías Goytia, 1997). La zona se encuentra ubicada entre los 19°30´ y 20°05´ latitud norte y 100°35´ y 101°30´ longitud Oeste. El mayor porcentaje de la cuenca de estudio pertenece al estado de Michoacán y la parte norte corresponde al estado de Guanajuato (Figura 1).

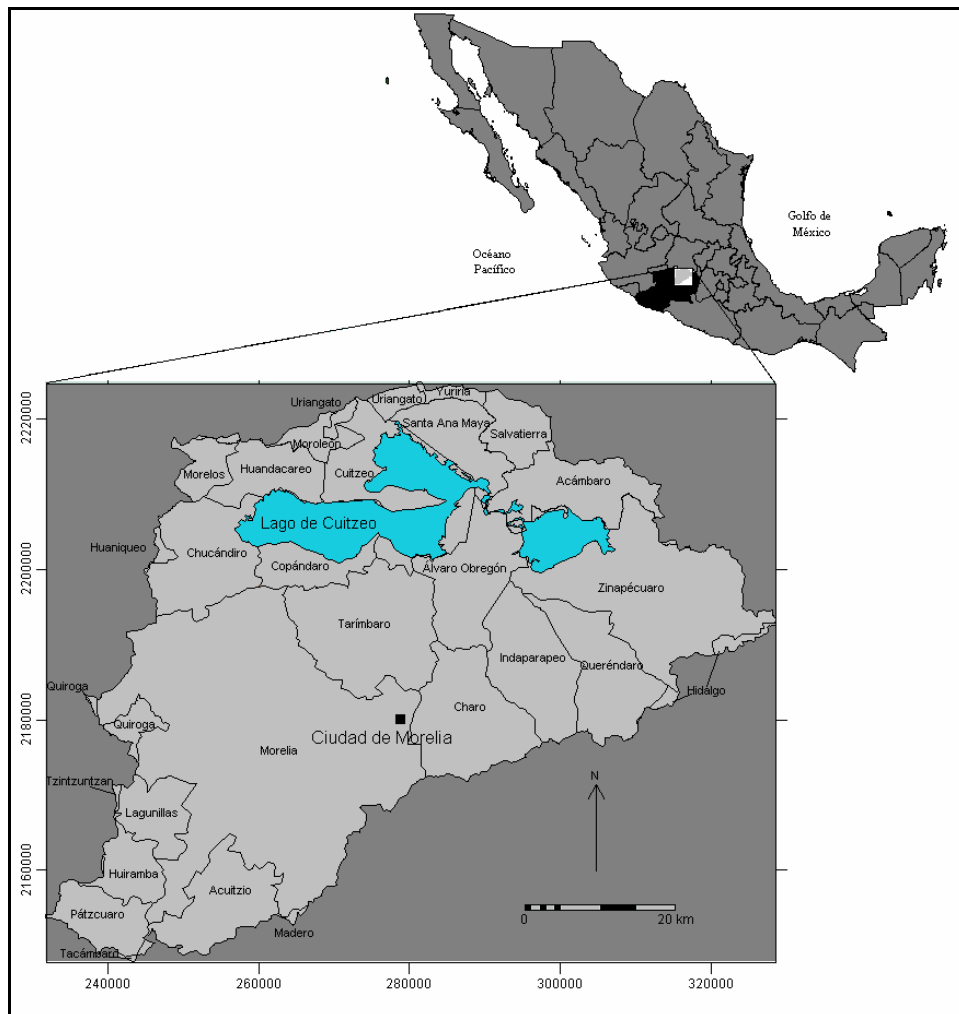


Figura 1. La cuenca del lago de Cuitzeo.

El lago de Cuitzeo junto con los lagos de Pátzcuaro, Zirahuén y Zacapu forma parte del sistema de cuencas endorreicas del Sistema Volcánico Transversal. Las investigaciones más recientes relacionadas con los lagos del Norte de Michoacán indican que los lagos de Cuitzeo y Pátzcuaro llegaron a tener alguna conexión basada en canales y drenes fluviales, no existiendo conexiones entre Cuitzeo y Zirahuén (Israde *et al.*, 2002). De los lagos que existen en el país, el de Cuitzeo es el que tiene mayor grado de salinidad y por su extensión se considera como el segundo cuerpo de agua en nuestro país, ocupando el primer puesto el lago de Chapala.

En su hidrología, el lago de Cuitzeo tiene tres principales afluentes que penetran por la rivera sureste: el río Grande de Morelia, el río Queréndaro y río Zinapécuaro (Israde *et al.*, 2002; Mendoza Cantú, 2002), estos ríos presentan principalmente descargas de aguas negras que provienen del uso doméstico, agropecuario e industrial. El lago de Cuitzeo cuenta además con las aportaciones de numerosos arroyos de temporal como el Blanco y el Colorado de Huandacareo y el Carucho de Chucándiro (Macías Goytia, 1997).

Se pueden considerar también como parte de su hidrografía los 30 reservorios termales que se localizan en la parte baja del lomerío que forma la cuenca (Israde-Alcántara *et al.*, 2002), entre los más notables se encuentran los de San Agustín del Maíz, la Ciénega, San Juan Tararameo, San Agustín, San Agustín del Pulque y Huandacareo.

El cuerpo de agua y las zonas de inundación del lago de Cuitzeo cubren una superficie de alrededor de 400 Km<sup>2</sup>. En el interior del lago se encuentran 11 islas denominadas: los Puercos, Tzirio, las Cuatas, Chanaco, San Pedro, las Burras, el Ciruelo, las Palmas, las Rosas, Coenio y Cerro Grande (Figura 2).

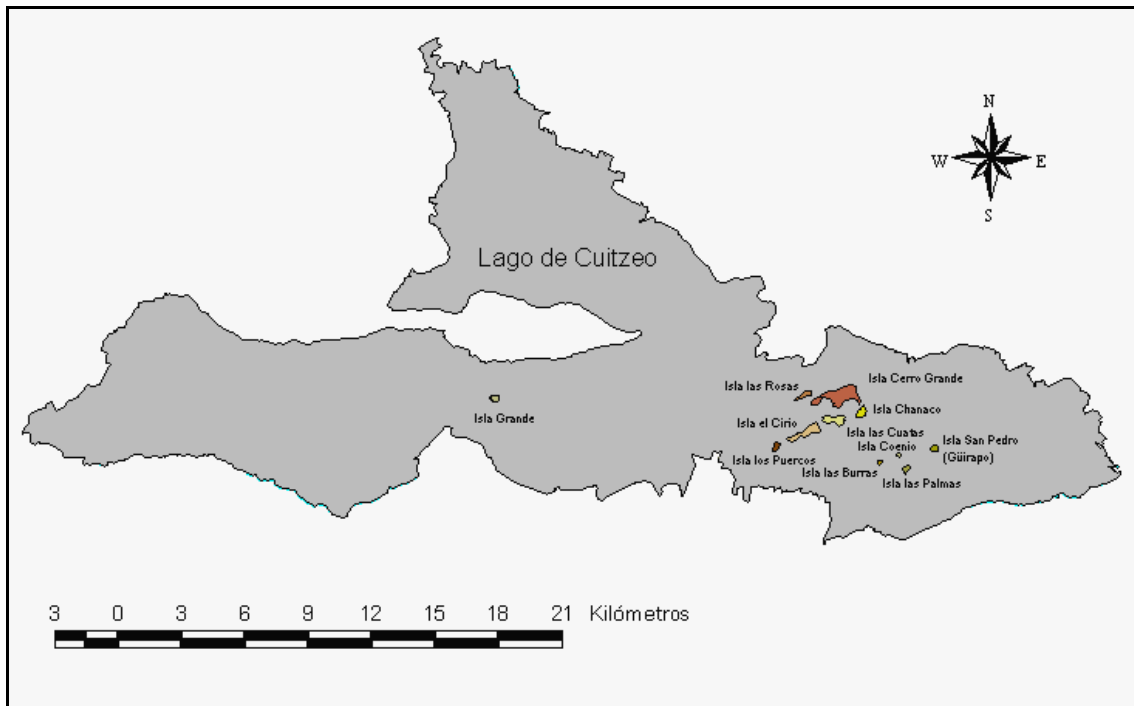


Figura 2. Islas ubicadas en el lago de Cuitzeo.

Durante la época de secas es posible dividir al lago de Cuitzeo en tres diferentes zonas considerando a la carretera que cruza al lago (Figura 3), así como la cantidad de agua que presentan y la vegetación acuática que existe (Israde-Alcántara, *et al.* 2002, Mendoza *et al.*, 2006 y Rojas Moreno y Novelo Retana, 1995)

- 1) Sección oeste, esta división se formó a partir de la carretera que atraviesa el lago y comunica a la localidad de Cuitzeo del Porvenir. Esta zona se caracteriza por no presentar agua en algunos años en los que la precipitación del año precedente es baja. En el año 2000 presentaba una extensión de 6,362.6 ha.
- 2) Sección centro, es la zona intermedia entre la zona oeste y la este; presenta agua casi todos los años, aunque ha llegado a llegado a secarse por completo. Se encuentra formada principalmente por vegetación acuática y pastos halófitos, presenta el canal de riego que contiene las agua negras de río Grande de Morelia.
- 3) Sección este, en general es la zona que permanece con agua todo el año, en la zona la profundidad media de 0.76 m y máxima de 1.85 m en el vaso este.

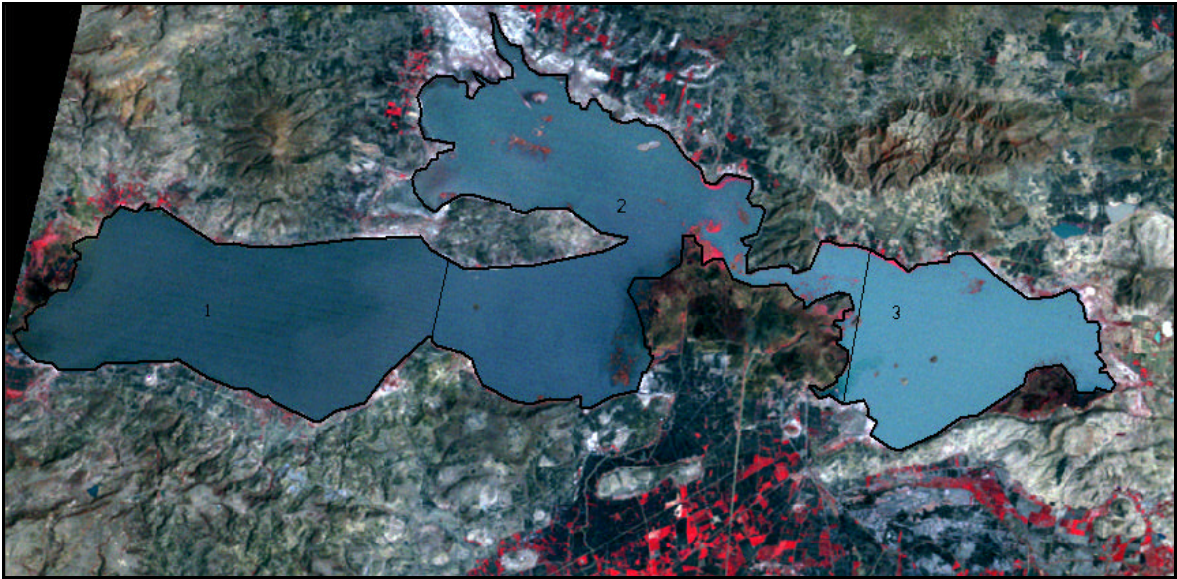


Figura 3. Imagen Landsat MSS en falso color del lago de Cuitzeo (1976), se observan las tres zonas en que se divide al lago de Cuitzeo: 1) zona oeste, 2) zona centro, 3) zona este.

### Clima

En este trabajo se utilizó la clasificación climática de García (2004), que se encuentra adaptada a los climas de México. El clima de la zona es templado con temperaturas medias del mes más frío menor a 18°C y superior a -3°C. La temperatura media del mes más caliente es superior a 10°C. En la cuenca hay tres subtipos de este clima de acuerdo con las variaciones de la humedad y la temperatura, que están determinados por el relieve. En el centro y norte se encuentra el subtipo menos húmedo, en la parte norte y noroeste de la cuenca se encuentra el subtipo con humedad intermedia y en la parte sur y noreste se localiza el subtipo más húmedo (Mendoza, 2002).

### Vegetación

En la cuenca del lago de Cuitzeo han sido registradas aproximadamente 2,359 especies, 682 géneros, 149 familias en las tres divisiones de plantas (Pteridophyta, Pinophyta y Magnoliophyta) (Velázquez Durán, 1998). El mismo autor menciona que los tipos de vegetación más comunes que se localizan en la zona de estudio, son: bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de encino, bosque mesófilo de montaña, bosque tropical caducifolio, matorral subtropical, bosque espinoso, pastizal, bosque de galería, vegetación acuática y subacuática, plantaciones de eucalipto y/o bosque cultivado Velázquez Durán *et al.*, (2004).

El bosque de oyamel se localiza en las zonas con mayor humedad y altitud en la cuenca, por lo que su distribución se encuentra muy reducida. La especie dominante es *Abies religiosa*, aunque puede encontrarse con *Pinus pseudostrobus* y *Quercus laurina*.

Bosque de pino, se encuentra conformado por varias especies de pinos, aunque en la zona los más característicos son; *Pinus montezumae*, *Pinus teocote*, *Pinus michoacana*, *Pinus lawsonii* y *Pinus leiophylla*. Las especies arbóreas asociadas con los bosques de pino son: *Arbutus glandulosa*, *Quercus crassifolia* y *Agnus acuminata*.

Bosque de encino, de acuerdo con Velázquez, *et al.*, (2004), esta comunidad se encuentra en diferentes grados de desarrollo debido al grado de alteración que se presenta por la tala y los incendios, lo que dificulta determinar si se trata de vegetación primaria o secundaria (Madrígal-Sánchez y Guridi Gómez, 2004). Las especies más comunes son, *Quercus crassifolia*, *Quercus deserticola*, *Quercus obtusata*, *Quercus glaucoides*, *Quercus obtusata*, *Quercus castanea* y *Quercus resinosa*.

Bosque mesófilo de montaña, son comunidades prácticamente alteradas por la acción del hombre, se encuentra localizado en cañadas que mantienen la humedad durante todo el año, se encuentran con presencia de especies o inmersos con los bosques de oyamel, pino o encino. Las especies presentes son: *Carpinus caroliniana*, *Tilia mexicana*, *Clethra hartwegii*, *Ilex brandegeana*, *Clereya intergrifolia*, *Cornus disciflora*, *Ternstroemia lineada*, etc.

Bosque tropical caducifolio, su principal característica es que las especies que dominan el estrato arbóreo y el sotobosque pierden sus hojas de seis a siete meses en la época seca del año, se encuentra representada por *Cedrela dugesii*, *Casimiroa edulis*, *Bursera bipinnata*, *Bursera palmeri*, *Celtis caudatus* y *Yucca filifera*.

Matorral subtropical, a esta comunidad se le ha catalogado como una forma transicional del bosque tropical caducifolio (Madrígal Sánchez, 1997). Las especies más frecuentes son; *Acacia farnesiana*, *Bursera cuneata*, *Casimiroa edulis*, *Cedrela dugesii*, *Eritrina coralloides*, *Ipomoea murucoides*, *Opuntia spp.*, *Quercus deserticola* y *Yucca filifera*.

Bosque espinoso, es una comunidad vegetal abierta, en la cual dominan los árboles o arbustos espinosos, compuestos por: *Prosopis juliflora*, *Acacia farnesiana*, *Acacia schaffneri*, *Opuntia spp.*, *Condalia velutina*, *Cirsium raphilepis*, *Eryngium carlinae*, etc.

Pastizal, se encuentra distribuido en toda la cuenca y se encuentra relacionado con actividades pecuarias. Las especies más comunes en la cuenca son; *Digitaria ternata*,



*Lycurus phalaroides*, *Paspalum convexum*, *Sporolobus indicus*, *Andropogon gerardii* y *Bouteloua repens*.

Bosque de galería, ubicados cerca de los ríos y arroyos que existen en la cuenca, *Alnus acuminata ssp. Arguta*, *Fraxinus uhdei*, *Ilex toluicana*, *Salix bomplandiana*, *Carpinus caroliniana*, *Tilia mexicana* y *Taxodium mucronatum*.

Vegetación acuática y subacuática, se encuentra principalmente en el lago de Cuitzeo, el cual fue estudiado por Rojas Moreno y Novelo Retana (1995). La riqueza florística del lago de Cuitzeo es superior al de otros cuerpos de agua como Pátzcuaro, Yuriria, Chapala, etc. Existen 25 especies de plantas acuáticas estrictas, 30 subacuáticas y el resto son plantas tolerantes. Las hidrófilas preponderantes son las enraizadas emergentes dominadas por *Typha*, *Scirpus*, *Cyperus*, *Eleocharis* y *Phragmites*

Bosque cultivado, en esta clasificación se encuentra representada por las especies utilizadas para reforestar la zona, *Eucalyptus*, *Cupressus*, *Casuarina* y *Pinus*.

#### Edafología

En la zona de estudio se encuentran principalmente las siguientes unidades de suelos: Vertisoles, Luvisoles, Andosoles y Acrisoles (Cuadro 1, Figura 4). Los primeros se encuentran ubicados en la porción centro y norte de la cuenca, que presenta menor amplitud de relieve, son buenos para la agricultura y generalmente se encuentran desempeñando ese uso. Los luvisoles se encuentran en la sección este, sobre domos volcánicos, y en la sección centro-oeste en piedemontes volcánicos (Mendoza *et al.*, 2001).

Cuadro 1. Área y porcentaje de los suelos presentes en la cuenca del lago de Cuitzeo

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Porcentaje de cobertura %</b>
Acrisol	10.3
Andosoles	11.6
Cambisoles	0.4
Cuerpos de agua	8.0
Gleysoles	0.6
Leptosoles	4.9
Luvisoles	17.3
Phaeozems	10.0
Planosoles	0.9
Regosoles	0.0
Solonchaks	2.1
Vertisoles	33.8
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fuente: Mendoza, *et al.*, (2001).

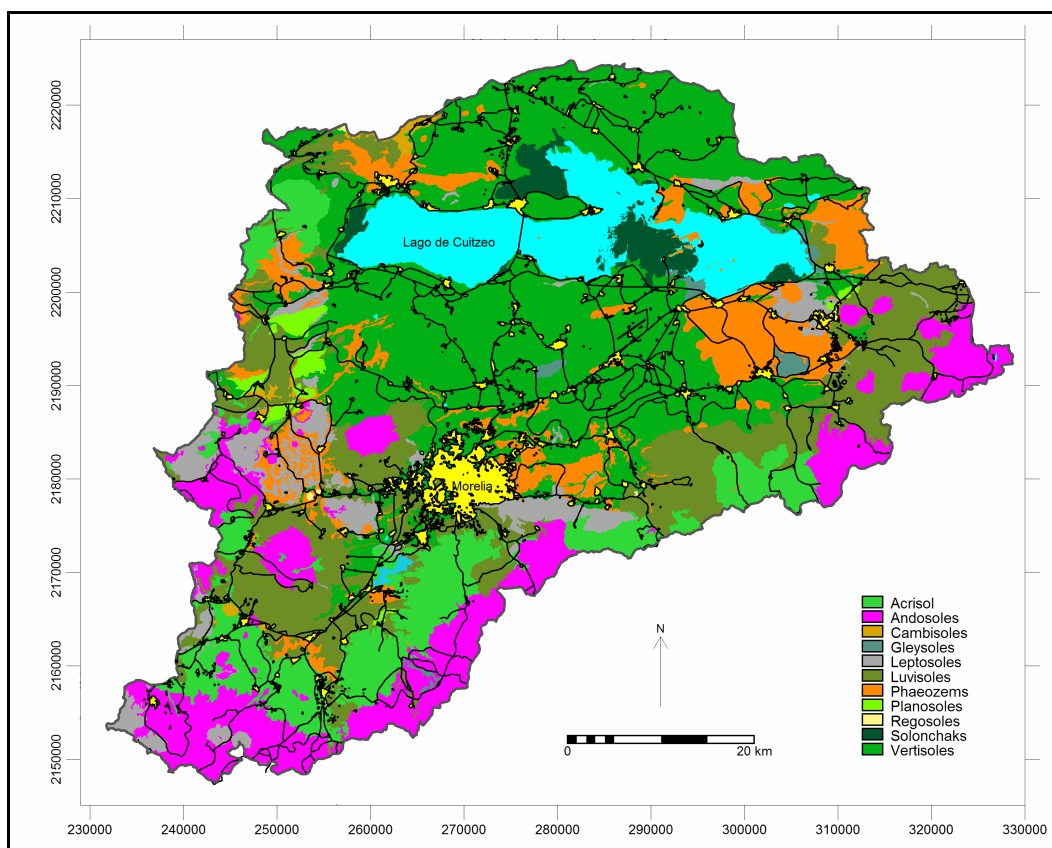


Figura 4. Mapa edafológico de la zona de estudio.

### Geología

Estudios realizados al sur del lago actual sugieren que el antiguo lago de Cuitzeo se desarrolló a partir de los ca. 7 millones de años (Neógeno) hasta ca. 2 millones de años (Israde Alcántara *et al.* 2002). En base a los estudios realizados por Israde-Alcántara y Garduño Monroy (1999) se conoce que el vaso a pesar de ser somero en la actualidad presentó periodos de aguas profundas en su centro, las cuales son interrumpidas por eventos tectónicos, volcánicos y climáticos que generaron cambios en los patrones de la paleored hidrológica de la zona.

La geología del estado de Michoacán desde su origen en el Triásico se encuentra incluida en el Sistema Cordillerano, que incluye a la margen activa del Pacífico, donde se han generado los procesos de subducción de la placa Pacífica. Los procesos de esta margen activa han originado que los factores de tectonismo, magmatismo e intemperismo sean los principales procesos que han diseñado la morfología del estado (Garduño, 1999).

La depresión de Cuitzeo se extiende desde Zacapu hasta el estado de México. En ella existen dos altos: Puruándiro – Huaniqueo y los Azufres. Todos estos elementos estructurales cortados por fallas NE-SW y E-W (Garduño, 1999).

El lago se encuentra tectónicamente delimitado por semigrabens (depresiones de origen tectónico) constituidos principalmente por rocas volcánicas y productos fluviolacustres que tienden a depositarse hacia el lago. La morfología de Cuitzeo se caracteriza por presentar altos y fosas tectónicas E-O y NE-SO en las que se han observado hasta 1,500 m de sedimento lacustre. A lo largo del margen septentrional del lago se observan depósitos lacustres recientes, al E y W se encuentran domos riolíticos y volcanes de edad Pliocuaternaria, mientras que al sur aflora el basamento constituido por andesitas, ignimbritas y algunas dacitas del Mioceno medio (Israde, *et al.*, 1999).

En la cuenca los principales tipos litológicos son los depósitos superficiales que se encuentran en la parte centro, los conos de lava se encuentran en la parte oeste de la cuenca. Los asentamientos humanos en la dentro de la zona de estudio se encuentran principalmente sobre depósitos lacustres, depósitos superficiales e ignimbritas (Acosta, 2002).

#### Factores socioeconómicos

La zona de estudio se encuentra conformada por 28 municipios, de los cuales 23 corresponden al estado de Michoacán de Ocampo y 5 municipios corresponden al estado de Guanajuato (Cuadro 2).

Dentro de la cuenca se localizan 15 cabeceras municipales: Acuitzio del Canje, Álvaro Obregón, Copándaro de Galeana, Cuitzeo del Porvenir, Charo, Chucándiro, Huandacareo, Huiramba, Indaparapeo, Lagunillas, Queréndaro, Santa Ana Maya, Tarímbaro, Zinapécuaro y Morelia.

Cuadro 2. Porcentaje de la superficie de los municipios que se encuentra dentro de la cuenca del Lago de Cuitzeo.

<b>Municipio</b>	<b>Estado</b>	<b>Área total de cada municipio km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentaje del mpio. dentro de la cuenca</b>	<b>Porcentaje que ocupa cada mpio. dentro de la cuenca</b>
Acuitzio	Michoacán	180.39	77.9	3.5
Álvaro Obregón	Michoacán	156.95	100.0	3.9
Copándaro	Michoacán	175.53	100.0	4.4
Cuitzeo	Michoacán	256.43	99.8	6.4
Charo	Michoacán	324.55	61.6	5.0
Chucándiro	Michoacán	191.84	95.5	4.6
Hidalgo	Michoacán	1,154.61	1.4	0.4
Huandacareo	Michoacán	91.07	99.7	2.3
Huaniqueo	Michoacán	204.41	3.6	0.2
Huiramba	Michoacán	81.48	80.2	1.6
Indaparapeo	Michoacán	177.21	94.7	4.2
Lagunillas	Michoacán	81.30	96.3	2.0
Madero	Michoacán	1,019.79	0.03	0.1
Morelia	Michoacán	1,195.23	88.5	26.4
Morelos	Michoacán	181.75	24.9	1.1
Pátzcuaro	Michoacán	434.69	19.2	2.1
Queréndaro	Michoacán	230.70	69.0	4.0
Quiroga	Michoacán	218.24	13.5	0.7
Santa Ana Maya	Michoacán	103.66	100.0	2.6
Tacámbaro	Michoacán	788.12	0.01	0.02
Tarímbaro	Michoacán	262.37	100.0	6.6
Tzintzuntzan	Michoacán	168.91	1.5	0.1
Zinapécuaro	Michoacán	599.75	71.4	10.7
Acámbaro	Guanajuato	874.02	16.7	3.7
Moroleón	Guanajuato	158.20	20.3	0.8
Salvatierra	Guanajuato	586.36	11.0	1.6
Uriangato	Guanajuato	114.71	25.7	0.7
Yuriria	Guanajuato	669.53	2.6	0.4

Los renglones sombreados indican a los municipios que no se tomarán en cuenta en los análisis estadísticos por la pequeña proporción de superficie que presentan y en la mayoría de los casos la falta de habitantes en esa zona.

En el año de 1970 existían 392 asentamientos humanos y en el año 2000 eran 687 localidades (INEGI, 2001) (Cuadro 3, Figura 5). La población de la cuenca en el año de 1970 era de 380,787 habitantes (16.4% de la población estatal) y en el año 2000 era de 837,773 habitantes (21.6% de la población estatal).

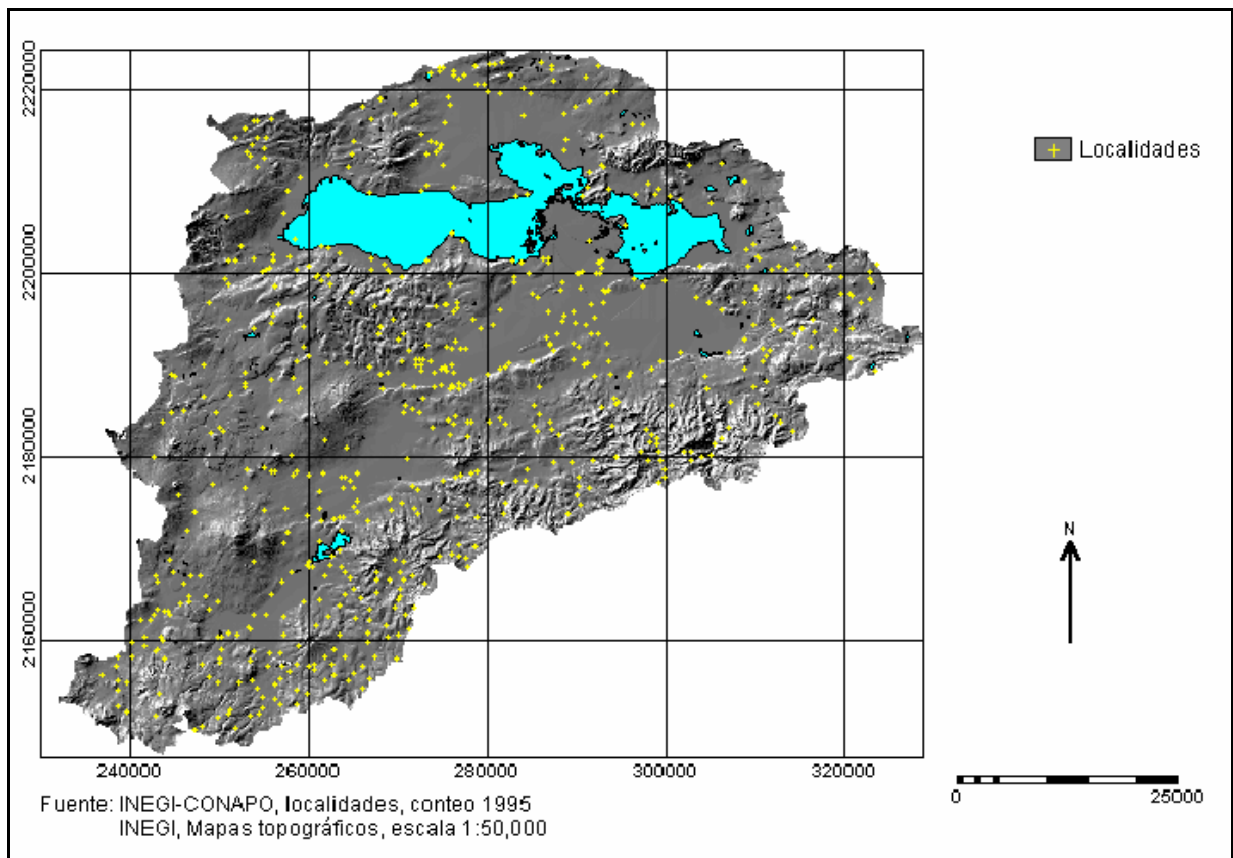


Figura 5. Distribución de los asentamientos humanos en la cuenca del lago de Cuitzeo en el año 1995.

Cuadro 3. Número de asentamientos humanos por municipios en la cuenca de Cuitzeo.

Municipio	No. de localidades Rurales		No. de localidades urbanas	
	1970	2000	1970	2000
Acámbaro	9	13	1	1
Acuitzio	20	34	1	1
Álvaro Obregón	20	42	1	1
Copándaro	11	14	1	1
Cuitzeo	15	19	1	3
Charo	17	37	1	1
Chucándiro	20	20	0	0
Hidalgo	1	2	0	0
Huandacareo	6	7	1	1
Huaniqueo	0	0	0	0
Huiramba	11	7	0	1
Indaparapeo	15	34	1	2
Lagunillas	8	14	0	0
Madero	0	1	0	0
Morelia	101	216	1	4
Morelos	11	14	0	0
Moroleón	4	5	0	0
Pátzcuaro	3	9	1	1
Queréndaro	14	15	1	1
Quiroga	1	1	0	0
Salvatierra	8	8	0	0
Santa Ana Maya	15	17	1	1
Tacámbaro	0	0	0	0
Tarímbaro	32	61	1	4
Tzintzuntzan	0	0	0	0
Uriangato	7	12	0	0
Yuriria	2	4	0	0
Zinapécuaro	25	47	2	4
Total	376	653	15	27

Fuente: elaborado a partir de INEGI (1973) e INEGI (2001).

Los municipios con mayor población eran, de acuerdo con INEGI (2001), Morelia, Zinapécuaro, Tarímbaro y Cuitzeo, en donde se encuentran ubicadas las ciudades con mayor población de la cuenca, incluyendo la ciudad de Morelia, el asentamiento más importante en términos poblaciones y económicos del área de estudio, al ser la capital del estado de Michoacán de Ocampo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Población municipal en la cuenca de Cuitzeo (1970 y 2000).

Municipios	Población total			Población rural			Población urbana		
	1970	2000	Diferencia (%)	1970	2000	Diferencia (%)	1970	2000	Diferencia (%)
Acámbaro	8,494	10,609	24.9	4,194	4,377	23.7	4,300	6,232	44.9
Acuitzio	6,640	9,356	40.9	3,517	3,590	2.1	3,123	5,766	2.08
Álvaro Obregón	9,528	19,502	104.7	5,936	11,591	95.3	3,592	7,911	95.3
Copandaro	6,758	9,151	35.4	3,738	5,743	53.6	3,020	3,408	53.6
Cuitzeo	19,016	26,254	38.1	14,141	11,192	-20.9	4,875	15,062	-20.9
Charo	8,223	16,650	102.5	5,682	12,082	112.6	2,541	4,568	112.6
Chucándiro	8,702	7,463	-14.2	8,702	7,463	-14.2	0	0	0
Hidalgo	150	145	-3.3	150	145	-3.3	0	0	-3.3
Huandacareo	9,813	11,808	20.3	3,861	5,108	32.3	5,952	6,700	12.6
Huiramba	3,938	6,561	66.6	3,938	3,931	-0.2	0	2,630	-0.18
Huaniqueo	0	0	40.2	0	0	0	0	0	0
Indaparapeo	8,291	16,187	95.2	4,634	6,622	42.9	3,657	9,565	161.6
Lagunillas	4,152	5,136	23.7	4,152	5,136	23.7	0	0	0
Madero	0	46	-	0	46	-	0	0	0
Morelia	202,855	616,948	204.1	41,815	48,350	15.6	161,040	568,598	15.6
Morelos	4,421	3,876	-12.3	4,421	3,876	-12.3	0	0	0
Moroleón	2,769	2,552	-7.8	2,769	2,552	-7.8	0	0	0
Pátzcuaro	3,474	7,155	5.6	516	2,177	321.9	2,958	4,978	322.0
Queréndaro	9,183	12,942	40.9	3,373	4,398	30.4	5,810	8,544	30.4
Quiroga	457	448	11.0	457	448	-2.0	0	0	-2.0
Salvatierra	4,390	2,587	-41.1	4,390	2,587	-41.1	0	0	0
Santa Ana Maya	11,147	13,952	25.2	6,921	7,117	2.8	4,226	6,835	2.8
Tacámbaro	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tarímbaro	19,430	39,408	102.8	16,776	23,765	41.7	2,654	15,643	489.4
Tzintzuntzan	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uriangato	3,336	3,043	-8.8	3,336	3,043	-8.8	0	0	-8.8
Yuriria	1,054	964	-8.5	1,054	964	-8.5	0	0	0
Zinapécuaro	23,805	37,020	55.5	13,887	17,315	24.7	9,918	19,705	24.7

Elaborado a partir de INEGI (1973) e INEGI (2001). Los renglones sombreados indican a los municipios que no se tomarán en cuenta en los análisis estadísticos por la pequeña proporción de superficie que presentan y en la mayoría de los casos la falta de habitantes en esa zona.

Las principales actividades económicas que se desarrollaban en la zona de estudio en 1975 eran principalmente agropecuarias con cultivo de granos y producción de animales (en promedio el 88% de la población económicamente activa se dedicaba a realizar actividades primarias). En el año 2000 únicamente el 30% de la población

económicamente activa se mantenía en el sector primario y el resto se dedicaba a actividades secundarias y terciarias.

Una característica importante de la población que habita en la cuenca, es su tendencia a la emigración hacia la ciudad de Morelia y los Estados Unidos, el 78.6% de los municipios que conforman la zona tienen intensidades migratorias altas y muy altas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Superficie y grado de intensidad migratoria de los municipios que integran la cuenca de Cuitzeo.

<b>Municipio</b>	<b>Grado de intensidad migratoria</b>
Acuitzio	Medio
Álvaro Obregón	Muy alto
Copándaro	Muy alto
Cuitzeo	Muy alto
Charo	Alto
Chucándiro	Muy Alto
Hidalgo	Alto
Huandacareo	Muy alto
<b>Huaniqueo</b>	<b>Muy alto</b>
Huiramba	Alto
Indaparapeo	Alto
Lagunillas	Alto
Morelia	Bajo
Morelos	Muy Alto
Moroleón	Medio
Pátzcuaro	Medio
Queréndaro	Muy alto
Quiroga	Alto
<b>Tacámbaro</b>	<b>Medio</b>
Tarímbaro	Alto
<b>Tzintzuntzan</b>	<b>Medio</b>
Zinapécuaro	Muy Alto
Acámbaro	Muy Alto
<b>Madero</b>	<b>Muy Alto</b>
Salvatierra	Alto
Santa Ana Maya	Alto
Uriangato	Alto
Yuriria	Alto

Fuente: Elaborado a partir de Mendoza *et al.* (2001) y Tuirán *et al.* (2002). Los renglones sombreados indican a los municipios que no se tomarán en cuenta en los análisis estadísticos por la pequeña proporción de superficie que presentan.

### Historia de la cuenca del lago de Cuitzeo

En la época prehispánica la cuenca de Cuitzeo fue una región económica clave para el imperio tarasco, pues poseía en abundancia varios recursos estratégicos como la

obsidiana, sal, cobre, plata, calcedonia, cinabrio, caolín, riolita y ópalo entre otros (Williams, 2005). La zona era considerada como el corredor natural que unía al centro de Mesoamérica (Altiplano de México y Bajío de Guanajuato y Querétaro) con la región del Occidente, incluyendo la costa del Pacífico, área de gran importancia, ya que era paso obligado de numerosos grupos culturales para el comercio institucionalizado, como por ejemplo, el traslado de turquesas del sureste de Estados Unidos hacia el Altiplano de México (Macías Goytia, 1990). Además, la cuenca de Cuitzeo tuvo una gran importancia estratégica ya que conformó la frontera entre los imperios tarasco y azteca.

Corona Núñez (1979) indica que en el Preclásico Superior se desarrolló la cultura Chupicuaro, por pobladores que provenían de Nayarit y que caminaron por las riberas del río Lerma – Santiago hasta llegar al lago de Cuitzeo; asentándose más tarde grupos teotihuacanos y toltecas que consideraban a los lagos como sagrados (Ávila García 1999).

Entre 1200 y 1521 de nuestra era, toda la parte central del Occidente se encontró bajo el dominio del estado tarasco. De acuerdo con Pollard (2004) en el año 1350 numerosas comunidades autónomas se habían unificado creando a la cuenca de Pátzcuaro en el núcleo económico, social y político de este Estado cuyo territorio cubrió cerca de 75,000 Km<sup>2</sup>, incluyendo la cuenca de Cuitzeo. La zona de estudio se encontraba densamente poblada, con una población para el Imperio Tarasco de 1.3 millones de habitantes en el año de 1524, divididos en tres zonas: el Bajío (352,316 habitantes), la Sierra (248,648 habitantes), y las Tierras Bajas (140,071 habitantes) (Pollard 2004).

Aunque el lago ocupaba un papel central en la estrategia productiva de la población (pesca, caza y recolección), también se desarrollaron actividades agrícolas como la producción de maíz, frijol, calabaza y amaranto. Estos productos del campo constituyeron la base alimenticia de la población (Ávila García 1999).

En el siglo XVI, a la llegada de los españoles, se funda la ciudad de Morelia que fue producto de la lucha política de dos instituciones: la Diócesis de Michoacán y el Virreinato de la Nueva España, representadas en las personas de Vasco de Quiroga y del Virrey Antonio de Mendoza (Antaramián Harutunián *et al.* 1993).

En el transcurso de la época de la Colonia se introdujeron nuevos cultivos (trigo y avena) y nuevas tecnologías (arado), así como nuevas prácticas de uso y aprovechamiento de los recursos naturales (Ávila García, 1999). Además de la



introducción de ganado vacuno, equino, ovino, porcino y caprino, así como algunas especies de aves. Esto significó un cambio en la estrategia productiva al ampliar la superficie de cultivo, a través de desecar ciénegas, construir drenes en el lago y deforestar las partes altas de la cuenca (Ávila García 1999).

En el año de 1882 el lago de Cuitzeo experimenta uno de los cambios más importantes provocados por el hombre, al construirse la calzada que une a la localidad de la Palma con la península de Cuitzeo (Ballesteros Tena 1991). La construcción de la Calzada significó la división en dos partes del cuerpo de agua, lo que impidió el libre movimiento de la masa de agua. En el año de 1925 las lluvias invernales fueron abundantes, al igual que las lluvias del año siguiente ocasionando que el nivel del lago se elevara cubriendo la Calzada hasta el año de 1930, en el cual se logró destruir el bordo artificial que comunica a la cuenca de Cuitzeo con la cuenca de Yuriria. La Calzada, obviamente estaba destruida, por lo que fue reconstruida y abierta a la población en el año de 1944 (Ballesteros Tena 1991).

Actualmente existen dos carreteras que cruzan el lago de Cuitzeo, la primera de ellas corresponde a la antigua Calzada y la segunda inaugurada en el 2006 que une a la población de Copándaro de Galeana hasta la Cinta (Figura 6).



Figura 6. Carreteras que cruzan al lago de Cuitzeo: a) es la primer carretera, también conocida como la Calzada y b) nueva carretera que une a Copándaro de Galeana con la Cinta.

Es posible observar que a partir del siglo veinte la cuenca de Cuitzeo sufrió de las mayores transformaciones en su cobertura y uso del terreno. Una de estas transformaciones ocurrió en las primeras décadas del siglo pasado, con la creación del distrito de riego Morelia-Queréndaro (Ávila García 1999) y con la construcción de la presa de Cointzio en julio de 1939 (CONAGUA 2006). El distrito de riego se estableció en zonas que antiguamente estaban cubiertas de ciénegas y en campos de cultivo que sufrían de inundaciones por las constantes avenidas del río Grande de Morelia, lo que representaba pérdidas significativas de los campesinos por la anegación de sus cultivos (Prado Rentaría, 2003).

El distrito de riego Morelia – Queréndaro disparó cambios drásticos en el uso del terreno de la cuenca de Cuitzeo al incorporar 30,000 ha a la agricultura de riego (Ávila García 1999) y en la utilización del recurso hídrico (la presa de Cointzio presenta una capacidad de almacenamiento de 84.8 millones de m<sup>3</sup>). El reservorio fue construido para proporcionar agua tanto para la población de la ciudad de Morelia, como para los campos agrícolas de riego; también servía para controlar las avenidas del río Grande de Morelia y generar energía eléctrica para la población. Actualmente sólo cumple con la primera función descrita, al proporcionar agua potable al 30% de la población que habita en la capital del estado.

Un fenómeno necesario de señalar en la zona de estudio es el relativo al de la emigración campesina. El estado de Michoacán fue el primer estado de la República Mexicana en donde comenzó el flujo migratorio internacional a finales del siglo XIX y principios del XX (Gamio 1930). Actualmente es uno de los estados que experimentan los procesos migratorios más severos del país, donde el principal lugar de destino de los emigrantes son los Estados Unidos. En la década de 1960 uno de los cambios introducidos por los campesinos emigrantes fue la introducción del sorgo como el principal cultivo, en lugar del maíz, y el uso de algunos fertilizantes (Levi Levi 1991).

La cuenca se encuentra principalmente bajo la influencia del asentamiento urbano más grande y de mayor población de la zona: la ciudad de Morelia. Los requerimientos de la población que habita en la ciudad (alimentos, agua, etc.), aunado a que todos los desechos que produce (aguas negras y residuos materiales) provienen y llegan principalmente a la cuenca de estudio y los efectos de estos procesos se ven reflejados en los recursos naturales de la zona y en especial en el lago de Cuitzeo.

## Esquema general de la tesis

La tesis que se presenta a continuación consta de siete secciones, todas ellas a excepción de la introducción y conclusiones han sido desarrolladas en el formato de artículos de investigación para revistas internacionales, nacionales o como capítulos de libros arbitrados. Todos los escritos que integran la tesis a excepción del sexto se refieren a la cuenca completa del lago de Cuitzeo, el último capítulo se refiere al municipio de Morelia.

La primera sección corresponde a la introducción, se describen los procesos de cobertura y uso del terreno y la importancia a nivel internacional de este tipo de investigaciones, también se presentan los objetivos particulares y generales de la tesis, así como una breve descripción de la zona de estudio. La segunda sección se encuentra bajo el título ¿Qué es el cambio de cobertura y uso del terreno?. En este capítulo se desarrolla el marco conceptual del presente trabajo de investigación, se describen los conceptos principales utilizados en el cuerpo de la tesis, como son, cobertura, uso del terreno, sistemas de información geográfica, modelación espacial, etc. También se hace una revisión de las investigaciones internacionales realizadas en los últimos años sobre el cambio de cobertura y uso del terreno, así como las directrices de investigación que se plantea se desarrollen en los siguientes años en el ámbito internacional.

En la sección siguiente se presenta el artículo titulado: Implications of land-use change (1975-2000) in land degradation patterns at the basin level. The case of the Cuitzeo lake (Central Mexico). En este artículo que analiza los principales procesos de degradación en la cuenca del lago de Cuitzeo, con miras a explicar la desecación del lago de Cuitzeo ocurrida al inicio de esta tesis, se analizan los patrones de urbanización, deforestación, la reducción del cuerpo de agua y el incremento en la erosión. La cuarta sección contiene el artículo titulado "Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS-based approach in Central Mexico, en este artículo se describe, cuantifica y analiza el principal cambio de cobertura y uso del terreno ocurrido en la zona de estudio. Se analizan los cambios demográficos producidos por la migración nacional e internacional y su efecto en el cambio de cobertura y uso del terreno en los municipios que integran la cuenca de Cuitzeo.

El quinto capítulo presenta un estudio sobre los asentamientos urbanos ubicados en la cuenca de estudio al ser referida la población como la principal fuerza de cambio ambiental en la zona. El sexto capítulo habla de los cambios de cobertura y uso del

terreno que han ocurrido a nivel local, tomando como zona de estudio el municipio de Morelia, ya que en él se encuentra la principal ciudad no sólo de la cuenca, sino del estado de Michoacán. La última sección contiene las conclusiones generales derivadas de este trabajo de investigación.

#### Bibliografía

Acosta, M.A., 2002. Cambio en los patrones de consumo de agua y cambio de uso del suelo. El caso de la cuenca del lago de Cuitzeo (1975-2000). Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo: 127 pp.

Antaramián Haruturián, E., Ortega, J.M. y Ríos L.L., 1993: Crecimiento urbano en Morelia y características actuales del terreno utilizado. Universidad Michoacana, 10: 48-57.

Ávila García, P., (1999). El valle Morelia – Queréndaro y su deterioro ambiental. Colegio de Michoacán: 177-192. En: Barragán López, E. (Coordinador), (1999). Frutos del Campo Michoacano. Colegio de Michoacán.

Ballesteros Tena, N., 1991. Historia de la Calzada construida en el Lago de Cuitzeo. Biblioteca de Nicolaitas Notables. Centro de Estudios sobre la Cultura Nicolaita. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México: 218 pp.

Bocco, G., 1998. La cuestión espacial en la investigación socioambiental. Seminario Interno. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM – Campus Morelia.

Campos, C. P., Muylaert, M.S. y Pinguelli Rosa, L., 2004. Historical CO<sub>2</sub> emission and concentrations due to land use change of croplands and pastures by country. *Science of the Total Environment*, 346: 149-155.

CONAGUA, 2006. Diccionario de datos de presas. Subgerencia de Información Geográfica del Agua (SIGA). Comisión Nacional del Agua. México. <http://siga.cna.gob.mx/siga/vector/presas/descriptor/cointzio.txt>

Corona Núñez, J., 1979. A través de mi vida. Historia de mi pueblo. Biblioteca de Nicolaitas Notables. Centro de Estudios sobre la Cultura Nicolaita.

Corona Núñez, J., 1984. Historia de mi Pueblo. En: Corona Núñez, J. 1984. A Través de mi Vida. Historia de mi Pueblo. Biblioteca de Nicolaitas Notables. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México: 337 pp.

Dunjó G., Pardini, G. y Gispert, M., 2003. Land use change effects on abandoned terraced soils in a Mediterranean catchment, NE Spain. *CATENA*, 52: 23 -37.

Fuller R.M., Smith, G.M., y Devereux, B.J., 2003. The characterization and measurement of land cover change through remote sensing: problems in operational applications?. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4: 243 – 253.

García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Serie Libros, Número 6. Instituto de Geografía, UNAM, México: 90 pp.

Garduño, V.H., 1999. Marco tectónico del estado de Michoacán. En: Corona-Chávez, P. e Israde-Alcántara, I. carta Geológica del Estado de Michoacán, escala:1:250,000. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Secretaría de Difusión Cultural y Extensión Universitaria. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México: 1-9.

Heistermann, M., Müller, C. y Ronneberger, K., 2006. Land in sight? Achievements, deficits and potentials of continental to global scale land-use modeling. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114: 141-158.

INDECI, 2005. Fenómeno El Niño 1997/1998 y la Experiencia del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). [http://www.indeci.gob.pe/fenom\\_elnino/fen\\_97.htm](http://www.indeci.gob.pe/fenom_elnino/fen_97.htm)

INEGI, 1973. IX Censo General de Población 1970, Volumen 11. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI, 2001. Anuario Estadístico de Michoacán de Ocampo. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

Istrade Alcántara, I. y Garduño Monroy, V.H. 1999. Lacustrine record in a volcanic intra-arc setting: the evolution of the Late Neogene Cuitzeo basin system (central-western Mexico, Michoacán). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 151: 209-227.

Istrade-Alcántara, I., Garduño, V.H. y Ortega, M., 2002. Paleoambiente lacustre del Cuaternario Tardío en el centro del lago de Cuitzeo. *Revista Hidrobiológicas*, 12: 61-78.

Jansen L.J.M. y di Gregorio, A., 2002. Parametric land cover and land-use classification as tools for environmental change detection. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 91: 89-100.

Lambin, E.F., 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 21: 375-393.

Lavell, A. 1999. Un encuentro con la verdad: los desastres en América Latina durante 1998. *Anuario Político y Social de la América Latina*, 2. FLACSO.

Lee, H., Carr, J.L. y Lankerani, A., 1995. Human disturbance and natural habitat: a biome level análisis of a global data set. *Biodiversity and Conservation*, 4: 128-155.

Levi Levi, S., 1991. Rural change and circular migration to the United States. A case study from Michoacan, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 23: 33-52.

Loveland, T.R., Zhu, Z., Ohlen, D.O., Brown, J.F., Reed, B.C. and Yang, L., 1999. An analysis of the IGBP global land-cover characterization process, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65: 1021-1032 pp.

Macías Goytia A., 1990. Huandacareo: Lugar de Juicios, Tribunal. Colección Científica, Serie Arqueología. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México: 222 pp.

Macías Goytia, A., 1997. Tres Cerritos en el desarrollo social prehispánico de Cuitzeo. Tesis de Doctorado en Antropología Física. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM, México: 609 pp.

- Madrigal Sánchez, X., 1997. Ubicación fisiográfica de la vegetación de Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita*, 8: 49-72.
- Madrigal Sánchez, X. y Guridi, L., 2004. Riqueza de la vegetación en la región Morelia. En: Garduño Monroy, V.H. (Ed.), 2004. *Contribuciones a la Geología e Impacto Ambiental de la Región Morelia*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, México: 156-166.
- Mendoza Cantú, M.E., 2002. Implicaciones del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo en el balance hídrico a nivel regional. El caso de la cuenca del lago de Cuitzeo. Tesis de Posgrado. Doctorado en Ciencias de la Tierra. Especialidad en Geología Ambiental. Instituto de Geofísica, UNAM:
- Mendoza, M.E., Bocco, G., Bravo, M., López E. and Osterkamp, R. 2006. Predicting water surface fluctuation of continental lakes. A GIS and RS based approach in central Mexico. *Water Resources Management*.
- Mendoza, M., López, E. y Bocco, G. (Responsable), 2001. Regionalización ecológica, conservación de recursos naturales y ordenamiento territorial en la cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacán. Informe Final. Proyecto No. 98306024. Programa SIMORELOS-CONACyT: 273 pp.
- Meyer, W.B. y Turner II, B.L., 1994. *Changes in Land Use and Land Cover: a Global Perspective*. Cambridge University Press: 537 pp.
- Milesi, C., Hashimoto, H., Running, S. W., and Nemani, R.R., 2005. Climate variability, vegetation productivity and people at risk. *Global and Planetary Change*, 47: 221–231.
- Piña Chán, R., 1977. *Acerca del viejo Cuitzeo*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, centro regional México-Michoacán, 72 pp.
- Pollard, H., 2004. El imperio Tarasco en el mundo Mesoamericano. *Relaciones*, XXV (099). Colegio de Michoacán, 115-145.
- Prado Rentarías, X., 2003. Reorganización social y territorial para la distribución del agua. El caso de Distrito de Riego Morelia – Queréndaro. *Compilación Electrónica de las Revistas de la Facultad de Economía Vasco de Quiroga*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Rojas Moreno, J. y Novelo Retana, A., 1995. Flora y vegetación acuáticas del lago de Cuitzeo, Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana*, 31: 1-17.
- Stow, D.A. and Chen, D.M., 2002. Sensitivity of multitemporal NOAA AVHRR data of an urbanizing region to land-use/land-cover changes and misregistration. *Remote Sensing of Environment*, 80: 297-307.
- Xiao J., Shen, Y., Ge, J., Tateishi, R. Tang, C., Liang, Y., Huang, Z., 2006. Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, 75: 69-80.
- Velázquez Durán, R., 1998. Palinología en relación a paleoambientes de los últimos 35,000 años en la cuenca del lago de Cuitzeo, Mich. México. Tesis Profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México: 107 pp.
- Velázquez Durán, R., Israde Alcántara, I. y Lozano García, M.S., 2004. Palinología de la región del municipio de Morelia y sus fluctuaciones en el Cuaternario. En:

Contribuciones a la geología e impacto ambiental de Morelia, 2004. Garduño Monroy, V.H. (Ed.). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas: 167-180.

Vitousek, P., Mooney, M. and Harold, A., 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277: 494-499.

Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D.J., Dokken, D.J., 2000. Land Use, Land-Use Change and Forestry. Intergovernmental Panel of Climate Change: 24 pp.

## ¿Qué es el cambio de cobertura vegetal y uso del terreno?

---

Erna López\*

Gerardo Bocco\*

\*Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM, Campus Morelia.

Hace más de tres millones y medio de años, dos de los antepasados de la humanidad dejaron sus huellas en la arena cerca de lo que hoy es la localidad de Laetoli, en la República de Tanzania. Esta pareja estaba caminando con los pies desnudos en un terreno llano. Probablemente, pertenecían a un grupo integrado por centenares, o tal vez miles de personas que poseían implementos rudimentarios. Sólo debido a una concatenación de coincidencias, sus huellas se preservan hasta el día de hoy y podemos verlas (FNUAP 2001). En la actualidad, las huellas de la humanidad son evidentes. La actividad humana ha afectado todos los lugares del planeta, por remotos que sean, y todos los ecosistemas, desde los más simples hasta los más complejos (Vitousek *et al.* 1997, FNUAP 2001). Nuestras opciones y nuestras acciones han transformado el mundo natural desde la prehistoria, creando peligros extremos para la calidad y sustentabilidad de nuestras civilizaciones y para los intrincados equilibrios de la naturaleza (Reedman 1999).

Actualmente, el ritmo, la magnitud y el alcance espacial de las alteraciones del hombre en la superficie terrestre no tienen precedentes; siendo los cambios más importantes aquellos que se relacionan con la conversión de la cobertura y uso del terreno (Lambin *et al.* 2001).

El cambio de cobertura y uso del terreno es reconocido en dos modalidades:

- 1.- Conversión de un tipo de categoría a otra; por ejemplo de bosque a pastizal.
- 2.- Modificación dentro de la misma categoría; por ejemplo de áreas de cultivo de temporal a cultivos de riego.

El análisis de estas dos formas de cambio requieren de diferentes métodos y técnicas de realización. La conversión implica un cambio evidente y la modificación es un cambio más sutil entre las coberturas por lo que requiere de un gran nivel de detalle para ser detectada (Jansen y Di Gregorio 2002).



La cobertura del terreno (CT) y el uso del terreno (UT) son dos elementos clave que describen al ambiente terrestre en relación con la naturaleza y las actividades humanas y denotan áreas de estudio que históricamente han estado separadas.

El término CT se aplica a aquellos objetos que se localizan sobre la superficie del planeta y que pueden ser de origen natural (bosques, glaciares, ríos, lagos, entre otros); o producidos y mantenidos por el hombre (carreteras, ciudades, presas, etc.) (Jansen y Di Gregorio 2002). La cobertura del terreno es estudiada principalmente por las ciencias naturales y se refiere al estado físico de la cobertura vegetal; por ejemplo, la cantidad y tipo de cierta vegetación (Meyer y Turner 1994). La CT está limitada por factores biofísicos, como son el clima, topografía, suelos, la disponibilidad de agua y el tipo de vegetación. Por ejemplo; en la ausencia del ser humano la vegetación se desarrolla como respuesta a las condiciones climáticas y edáficas de la zona; de esta manera, la presencia, tipo y características de la cobertura vegetal es un indicador importante de las condiciones biofísicas.

El UT se refiere a la manera en la cual estos objetos biofísicos son utilizados por el hombre para satisfacer sus necesidades materiales y espirituales (Chilar y Jansen 2001). Las características del UT son el resultado de la interrelación entre los factores físicos o naturales y los factores culturales y humanos. El UT ha sido la preocupación primaria de sociólogos, economistas, geógrafos, antropólogos, planeadores, etc.

Los términos de CT y UT no son idénticos, aunque la interacción entre ambos es muy fuerte (Figura 1). La CT se refiere a las características de los objetos que cubren la superficie terrestre y el UT describe la actividad humana que se desarrolla sobre la superficie terrestre; es decir describe la influencia del ser humano en el ambiente.

Al influir el ser humano en el ambiente para producir bienes y servicios, el UT se convierte en la principal causa de pérdida de diversidad biológica, funciones ecológicas y de la alteración del ciclo hidrológico. El balance entre hábitat natural y paisaje modificado por el hombre podría determinar el futuro de la conservación de la diversidad biológica en grandes áreas del planeta. Por lo tanto es importante cartografiar y cuantificar el grado de conversión humana del hábitat natural al perturbado o dominado por el hombre.

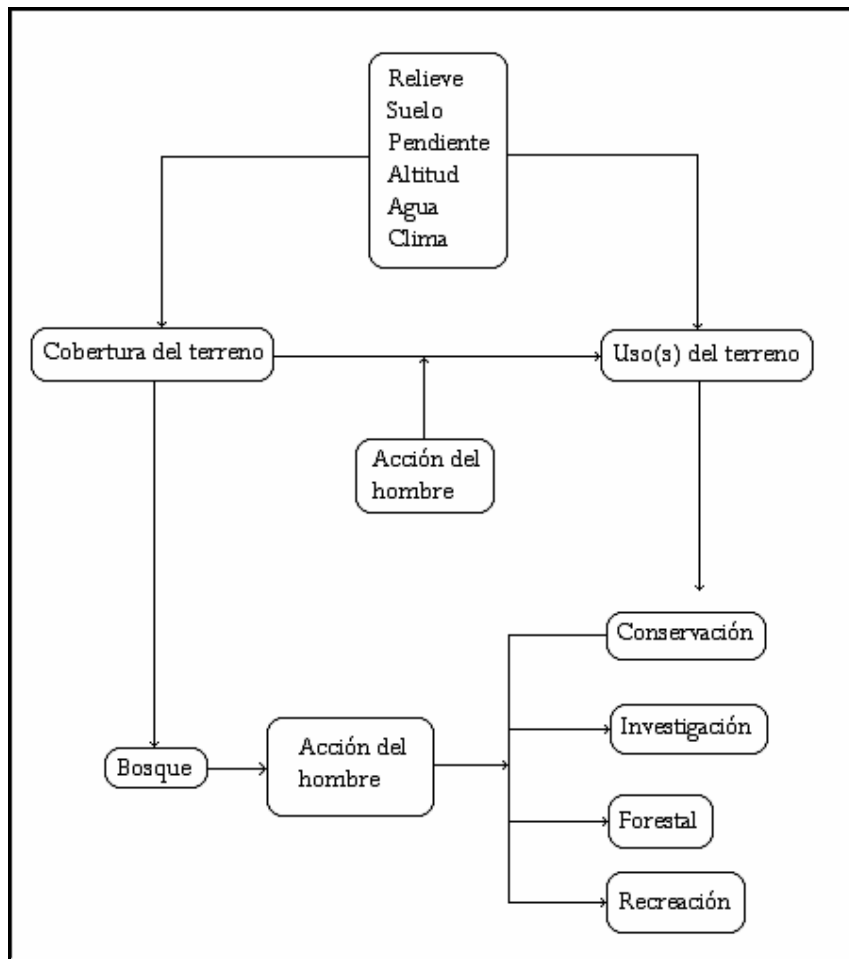


Figura 1. Cobertura y uso del terreno

Un tipo de cobertura puede involucrar diferentes usos (por ejemplo un bosque puede tener usos forestales, de conservación y de investigación), de la misma forma un uso de suelo puede involucrar diferentes categorías de cobertura (por ejemplo, en nuestro país la actividad pecuaria se puede desarrollar en pastizales, tierras de cultivo, matorrales e inclusive bosques). La relación entre el tipo de cobertura y el uso del suelo (Figura 2), no es una relación única, puede ser de un tipo de cobertura a un uso específico, de un tipo de cobertura a diferentes de usos, y de diferentes coberturas a diferentes usos (van Gils *et al.* 1991, Meyer y Turner 1994).

Un estudio de la cobertura y uso del terreno supone analizar y clasificar los diferentes tipos de cobertura y usos asociados que el hombre practica en una zona o región determinada. Su importancia radica en que a escala global, regional y local, los cambios en el uso del

terreno están transformando la cobertura a un paso acelerado, provocando las alteraciones mas fuertes que el hombre realiza a la superficie terrestre (Jianchu, *et al.* 2005)

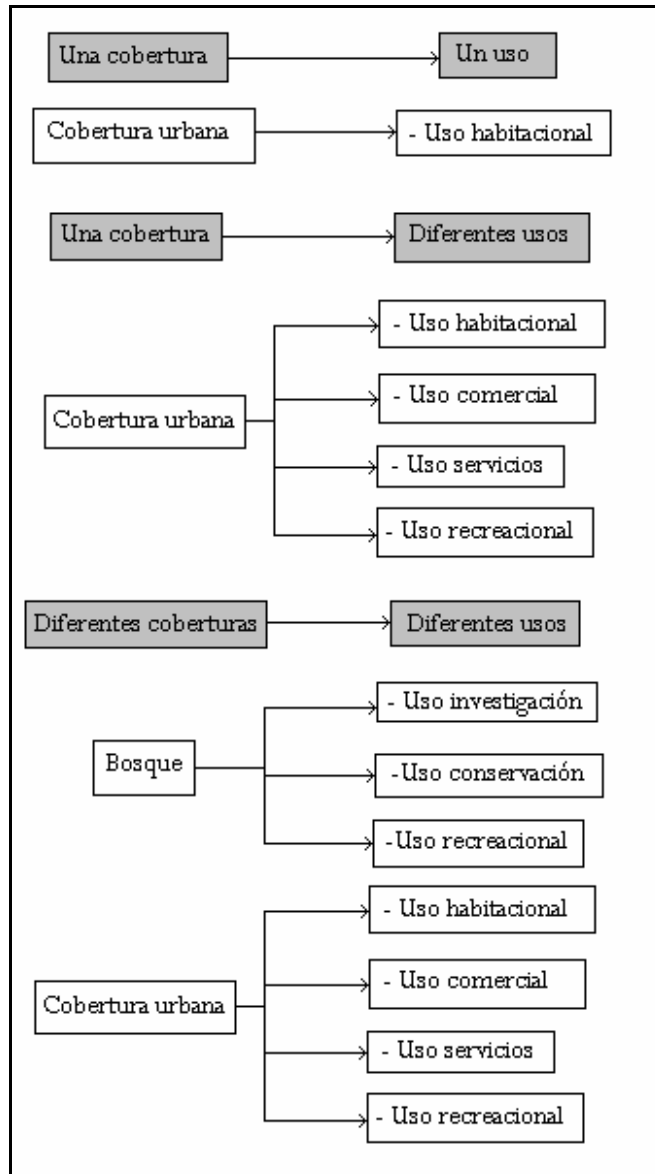


Figura 2. Relaciones que se establecen entre la cobertura y el uso del terreno.

El desarrollar datos sobre el cambio de cobertura y uso del terreno proporciona información clave para el manejo ambiental (Byun, *et al.* 2005). Esta información debe de contener la localización de los cambios, el tipo de cambio que ocurre y la forma en la cual el terreno está cambiando. Los resultados obtenidos en estudios de cambio de cobertura y

uso del terreno dependen del intervalo de tiempo en el que se ha realizado la observación (días, meses, años), de los métodos de observación (fotografías aéreas, imágenes de satélite) y de la escala en que se realizó la observación (detallada, semidetallada). Además, al realizar estudios sobre el cambio de uso del terreno se encuentran problemas de indefinición en relación con los parámetros que se desea estudiar (leyenda a utilizar) y con la escala a adoptar durante el desarrollo del trabajo. Por lo que hay que tener una mayor precisión en el muestreo, en la medición de las variables y el tipo de leyenda de las representaciones espaciales (Bocco 1998).

Datos cuantitativos de dónde, cuándo y por qué cada cambio toma lugar globalmente están aún incompletos y, algunas veces, estos datos son inexactos (Meyer y Turner 1994). De igual forma, el conocimiento de los procesos del cambio de cobertura aún es fragmentario para estimar el pleno impacto de estos cambios en sistemas naturales y humanos (Lambin 1997).

El sistema clasificatorio es definido como el ordenamiento genérico (arreglo) de objetos dentro de grupos o conjuntos en base a sus interrelaciones. Estas interrelaciones pueden estar basadas en propiedades observadas o inferidas.

El sistema clasificatorio es una función de los objetivos de la investigación, de la extensión del área de estudio, la época del año en que se realizó la toma de imágenes de satélite o de fotografías aéreas (temporada seca o húmeda) y de la resolución espacial de los documentos a interpretar. Es conveniente que el sistema clasificatorio se caracterice por poseer una estructura jerárquica y anidada que permita incrementar el nivel de detalle o generalizar las categorías utilizadas. Por ejemplo, en el último Inventario Nacional Forestal realizado para nuestro país, el sistema clasificatorio comprende tres niveles de resolución espacial (formación, tipo de vegetación/uso del suelo y comunidad y otras coberturas). A nivel de formación, podemos mencionar a los bosques, a nivel de tipo de vegetación/uso de suelo, los autores dividen a los bosques en coníferas, coníferas – latifoliadas, latifoliadas y mesófilo de montaña. Al aumentar el nivel de detalle en la leyenda (comunidad y otras coberturas), los bosques de coníferas son divididos en bosque de táscate, bosque de oyamel, bosque de pino y matorral de coníferas (Velázquez *et al.* 2002a).

Entender el impacto que ocasiona el cambio de uso y cobertura, implica la realización de investigación socioambiental; es decir, modelar procesos en los cuales la relación entre la

naturaleza y sociedad es indisoluble (Bocco 1998). La investigación socioambiental ocurre sobre un territorio y tiempo específico abarcando de esta manera el concepto de escala.

La escala se refiere a la dimensión espacial y temporal de un sistema. La dimensión espacial es abordada básicamente desde la ciencia geográfica (Bocco 1998). La definición precisa de las escalas es tan importante como (y en función de) el objeto y los objetivos de estudio. La escala es una proporción entre la realidad y su representación en un modelo, y al mismo tiempo supone un cierto nivel de conceptualización del problema. Buena parte de los problemas en la investigación de paisajes radica en la incorrecta selección de escalas y los documentos (mapas, fotos, censos) que de ella se desprenden (Bocco 1998).

La generación de datos de cobertura vegetal y uso del suelo en áreas superiores a las decenas de km<sup>2</sup>, requiere el uso de la percepción remota mientras que su análisis y cuantificación implica el uso de herramientas de modelación espacial dentro de un sistema de información geográfica (SIG). Las fotografías aéreas han sido utilizadas desde mediados del siglo pasado y las imágenes de satélite desde la década de los años setenta. Estas imágenes han sido usadas con diferentes propósitos, como por ejemplo la predicción de tormentas severas, conocer la cobertura del terreno o ayudar a la planeación del desarrollo del terreno.

A pesar del avance tecnológico en la caracterización de la cobertura terrestre por percepción remota, tanto a escala global y regional, los usos del terreno son pobremente enumerados. Un ejemplo de lo anterior son las ciudades, cuyo crecimiento se encuentra definido por el incremento de la superficie de la mancha urbana, la cual se compone de clases de uso del terreno, propiamente urbanos, como son: zonas habitacionales – comerciales, terrenos baldíos, escuelas, centros comerciales, cementerios, etc. (López *et al.* 2001).

La generación de mapas de cobertura y uso del terreno a partir de datos de percepción remota son el insumo básico para conocer los cambios que ocurren en la superficie terrestre.

Los datos obtenidos a partir de la percepción remota son generalmente manipulados por medio de los SIG, los cuales se definen como un sistema computarizado que permite la

entrada, almacenamiento, representación, análisis de datos; así como la salida eficiente de información espacial (mapas) y atributos (tabulares).

Las imágenes satelitales en formato digital son especialmente útiles en la evaluación y análisis de cobertura vegetal y uso del suelo desde el nivel regional hasta el planetario (SPOT - NOAA AVHRR). Las fotografías aéreas convencionales y en formato digital son más útiles en la interpretación de cobertura y uso del suelo a nivel semidetallado (1:25,000) y detallado (1:1,000 hasta 1:5,000).

Las imágenes digitales convencionales que son capturadas desde satélites, tienen resoluciones espaciales desde medianas a muy pequeñas (30 m x 30 m hasta 4 km x 4 km), las mismas influyen en el nivel de la clasificación por el efecto de la mezcla de los valores de píxel. En otras palabras, a menor resolución mayor confusión; y en consecuencia, se requiere de mayor generalización y simplificación en el sistema clasificatorio. A partir de datos espectrales es factible diferenciar un número reducido de tipos de cobertura (en general no más de 10 clases distintas) con imágenes de exactitud aceptable (Bocco *et al.* 1991). Al trabajar con documentos de mayor resolución, es posible diferenciar alrededor de 15 clases distintas de cobertura; especialmente en zonas intertropicales, como es el caso de México (Bocco y Valenzuela 1988).

Una de las alternativas para incrementar la precisión de una clasificación basada en datos multispectrales en regiones con un patrón de mosaicos es la incorporación de otras capas de datos en un sistema de información geográfica. Entre las capas de información más utilizadas en los modelos se encuentran la topográfica, expresada a través de modelos digitales de terreno (MDT), la orientación de laderas derivadas del MDT, la de geomorfología (Bocco y Valenzuela, 1988; Mas y Ramírez, 1996; Watson y Wilcock, 2001). La exactitud de clasificaciones se incrementa no sólo con los datos adicionales, sino con la incorporación de modelos de toma de decisión que construye el experto en clasificación de coberturas.

Recientemente, con el desarrollo de nuevas tecnologías en percepción remota, las alternativas para incrementar la exactitud de las interpretaciones a partir de datos digitales es el uso de sensores con una mayor resolución espacial (hiperespaciales) tales como Ikonos y Orbview-3 o sensores con cientos de bandas (hiperespectrales), como AVIRIS. Con los primeros se obtiene un gran detalle espacial y grandes volúmenes de datos sobre

pequeñas porciones de la superficie terrestre (Palma, en prep.). El progreso alcanzado por los sensores para aumentar la resolución espacial, ha llevado a tratar de ver todo en el paisaje, pero este enfoque puede no ser o práctico (Harris, 1985). Los sensores hiperespectrales por su parte, son capaces de proveer datos en bandas muy angostas dentro del espectro (en el orden de los nanómetros); con ellos es posible clasificar al objeto, y definir su constitución (Palma, en prep.).

El uso sistemático y correcto de estas tecnologías es incipiente, ya que continuamente es posible encontrar en la bibliografía especializada errores teóricos en la utilización de los conceptos, escalas, sistemas clasificatorios y uso de la información generada a través del análisis de documentos aeroespaciales. Por lo tanto, es más importante incrementar la capacitación teórica y conceptual que la técnica relacionada al uso de sistemas computacionales en percepción remota y SIG.

#### Bibliografía

Anderson, J.R., Hardy, E.E., Roach, J.T. y Witmer, R.E., 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensing data. Geological Survey Professional Paper, 964: 28 pp.

Bocco, G., 1998. Naturaleza y sociedad. Escalas de espacio y tiempo. Ciencias, 51: 54 – 59.

Bocco, G., Palacio, J.L. y Valenzuela, C.R., 1991. Integración de la percepción remota y los sistemas de información geográfica. Ciencia y Desarrollo 17 (97): 79 – 88

Bocco, G. y Valenzuela, C.R., 1988. Integrating GIS and image processing in soil erosion studies using ILWIS. ITC Journal: 309 - 319.

Byun, D.W., Kim, S., Czader, B., Nowak, D., Stetson, S. y Estes, M., 2005. Estimation of biogenic emissions with satellite-derived land use and land cover data for air quality modeling of Houston-Galveston ozone nonattainment area. Journal of Environmental Management, 75: 285–301.

Chilar J. y Cansen, L.J., 2001. From land use: a methodology for efficient land use mapping over large areas. Professional Geographer, 53 (2): 275 – 289.

FNUAP, 2001. El Estado de la Población Mundial 2001. Huellas e Hitos: Población y Cambio del Medio Ambiente. Fondo de Población de las Naciones Unidas: 76 pp.

Harris R. 1985. Satellite remote sensing: low spatial resolution. Progress in Physical Geography 9 (4): 601-606.

Jansen L.J.M. y Di Gregorio, A., 2002. Parametric land cover and land-use classification as tools for environmental change detection. Agriculture, Ecosystems and Environment, 91: 89-100.

- Jianchu, X., Fox, J., Vogler, J.B., Peifang, Z., Yongshou, F., Lixin, Y., Jie, Q. and Leisz, S., 2005. Land-Use and Land-Cover Change and Farmer Vulnerability in Xishuangbanna Prefecture in Southwestern China. *Environmental Management*, 36: 404–413.
- Lambin, E.F., 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 21: 375-393.
- Lambin E.F., Turner B.L., Geist H.J., Agbola S.B., Angelsen A., Bruce J.W., Coomes O.T., Dirzo R., Fischer G., Folke C., George P.S., Homewood K., etc. 2001. The causes of land – use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11: 261-269.
- López, E., Bocco, G., Mendoza, M.E. y Duahu, E., 2001. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 55 (4): 271 - 285.
- Mas, J.F. y Ramírez Ramírez, I., 1996. Mejoramiento de las clasificaciones espectrales de cubiertas del suelo por medio de un sistema de información geográfica. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, número especial*: 111-122.
- Meyer, W.B. y Turner II, B.L., 1994. *Changes in Land Use and Land Cover: a Global Perspective*. Cambridge University Press: 537 pp.
- Palma, M., (en preparación). Uso de sensores y algoritmos de clasificación en áreas intertropicales.
- Reedman, Ch. L., 1999. *Human Impact on Ancient Environments*. The University of Arizona Press, Tucson: 230 pp.
- Rivero Serrano y Ponciano, G., 1996. Ambiente y Salud. En: Toledo Cortina G. (compiladora), 1996. *La Situación Ambiental en México*. Programa Universitario del Medio Ambiente, UNAM, México: 27 – 40.
- van Gils, H., Huizing, H., Kannegieter, A. and van der Zee, D., 1991. The evolution of the ITC system of rural land use and land cover classification (LUCC). *ITC Journal*, 3: 163-167.
- Velázquez, A., Mas, J.F., Mayorga Saucedo, R., Palacio, J.L., Bocco, G., Gómez Rodríguez, G., Luna González, L., Trejo, I., López García, J., Palma, M., Peralta, A. y Prado Molina, J., 2002a. El Inventario Forestal 2000: Potencial de Uso y Alcances. *Ciencias*, 64: 13-19
- Velázquez, A., Mas, J.F., Díaz Gallegos, J.R., Mayorga Saucedo, R., Alcántara, P.C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E. y Palacio, J.L., 2002b. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, 62: 21 – 38.
- Vitousek, P.M., Money, H.A., Lubchenco, J. y Melillo, J.M., 1997. Human domination of earth's ecosystems. *Science*, 277: 494 – 499.
- Watson, N. y Wilcock, D., 2001. Preclassification as an aid to the improvement of thematic and spatial accuracy in land cover maps derived from satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 75: 267-278.



# Implications of land-use change (1975-2000) in land degradation patterns at the basin level. The case of the Cuitzeo lake (Central Mexico)\*

Erna Lopez<sup>1</sup>, Gerardo Bocco<sup>1,2</sup> and Manuel E. Mendoza Cantú<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Laboratorio de Geoecología, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Campus Morelia – UNAM. Antigua carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Exhacienda de San José de la Huerta, C.P. 58190, Morelia, Michoacán, México. [erna@oikos.unam.mx](mailto:erna@oikos.unam.mx)

<sup>2</sup> Unidad Académica de Geografía, Instituto de Geografía, UNAM, Aquiles Serdán 382, Col. Centro, C.P. 58000, Morelia, Michoacán. [gbocco@oikos.unam.mx](mailto:gbocco@oikos.unam.mx), [mmendoza@igg.igeograf.unam.mx](mailto:mmendoza@igg.igeograf.unam.mx)

## Abstract

The objective of this research was to analyze potential implications of land-use change (1975-2000) in land degradation patterns in the Cuitzeo watershed, located in a densely inhabited area in central Mexico. The basin encompasses approximately 4,000 km<sup>2</sup>; the lake (roughly 10 % of its basin) is the second largest wetland in Mexico, and due to average depth the largest wetland. Land cover and land use change were identified on black and white panchromatic aerial photography; the approximate scale was of 1:50,000 for 1975 (161 images) and 1:37,000 for 2000 (283 images). The Cuitzeo's lake has decreased in the study period; the lake undergoes desiccation process and is being covered by aquatic vegetation, this process is related strongly to the urban and agricultural consumption of water (increased 183% in the study period). Another problem is related with the production of wastewater in the urban settlements, because all the residual waters arrive at the lake without any kind of cleaning treatment, after used in the irrigated agriculture. The results indicate that the degradation of the basin is a consequence of urban growth, even with decreasing population density, following a transformation in the irrigation and rain fed agriculture.

Key words: land use change, land degradation, gully erosion, GIS, remote sensing, Mexico.

---

\* Artículo enviado en agosto del 2006 a la revista Singapore Journal of Tropical Geography.

## **Introduction**

Human activities have been recognized as the largest transforming force in the biosphere, and responsible for most of the contemporary change in the landscapes (Meyer and Turner II 1994, Foster *et al.* 1999). The changes in land-cover and land-use (LCLU) result of a complex interaction between the human component and the biophysical environment; these changes operate on a wide range of space and time scales (Verburg *et al.* 1999). One third of the emerged land is covered by cropland and induced grassland, and more than half the cultivated areas were cleared up during the last century (Reid *et al.*, 2000).

Most of the changes experienced in terrestrial ecosystems are due to either land-use conversion or intensification, and subsequent land degradation (Lambin, 1994; Lambin and Geist, 2006). Land degradation is mainly caused by soil erosion, ecosystem changes, landslides, deforestation and human pressure through over-cultivation and mechanization (Chikhaoui *et al.*, 2005). Land degradation is commonly defined as a human or climatically induced process having negative consequences to the functioning of the land and related ecosystems, and suggests a long-standing perception that humans have played an unfavorable role, or had negative consequences, to landscapes. Most definitions also recognize explicit connections between distinct landscape components, such as hillslopes and floodplains (Hudson & Alcántara-Ayala, 2006).

Landscapes throughout the world undergo transformation processes that include some form of natural degradation; these processes can be enhanced or accelerated by human intervention (Blaikie and Brookfield, 1987; Lal, 2001). Human-induced land-use change in fluvial basins is a typical case of a land degradation-enhancing process, and has been documented by an important body of research (Schoorl & Veldkamp, 2001; Van Rompaey *et al.*, 2002), especially for mountainous basins in inter-tropical, developing countries (Tiwari, 2000; Kammerbauer *et al.*, 2001; Rao and Pant, 2001; Coppus *et al.*, 2003; Nyssen *et al.*, 2004). The sequence up-land deforestation in turn triggering soil erosion, fluvial transport and subsequent sedimentation at the regional or general base level is an emblematic example of land-use change stimulating land degradation.

Land-use history also seems to be a rather important factor explaining degradation patterns, as indicated by Coppus *et al.* (2003) for the past grazing history in three different Central Andean ecosystems, or by Wardell *et al.* (2003) for colonial forestry policies in savannah woodlands in the Sudano-Sahelian zone. Moreover, land-use policy may play a key role in controlling land-use change and degradation processes. In the Central Himalayas (India), Rao & Pant (2001) concluded that restriction on agricultural expansion by transferring large parts of vegetated areas to conservation forestry under government control resulted in an unbalanced land-use in turn leading to deforestation and environmental degradation. Population dynamics (basically population pressure), in turn, has been accepted as one the major driving factors for land-use change and subsequent land degradation (among many others, Barbier, 2000; Rao and Pant, 2001). However, the effects of migration (including resulting changes in the type of economic activity), and those of changes in the population age structure, may play contrasting roles as degradation factors in different local situations (Jokish, 2002; Awasthi *et al.* 2002; Braimoh, 2004; Lopez *et al.* 2006).

It is necessary to analyze the effects of land-use change on land degradation processes based on basic spatial relationships in inter-tropical countries, where most of the changes occur, namely natural vegetation depletion (Lal 2001). The objective of this research was to analyze potential implications of LCLU change (1975-2000) in land degradation patterns in the Cuitzeo lake basin, located in central Mexico. The lake experiences recurrent desiccation and gullyng, widespread phenomena in central Mexico (Bocco, 1990, Mendoza *et al.* 2006). As suggested by the regional literature, as well as by the major patterns found in a more general review, it was hypothesized that the desiccation of the lake was caused by an increase in the off-site effects of soil erosion (sedimentation) following a forest removal of natural vegetation.

A recent work by Mas *et al.* (2004) at national level, indicate that large areas of forest and shrubland were converted to man-made covers, mainly cropland and pastures; as well as, large areas of both temperate and tropical forest were affected by processes of disturbance and transformed to secondary forest.

## Method

### *Study area*

The study area is located in the Trans-Mexican Volcanic Belt (Figure 1); five hundred, increasingly growing human settlements, both urban and rural are a conspicuous feature in the basin's landscape (INEGI, 1997). The largest settlement is Morelia, a regional capital city, which is experiencing a very high urban growth (600% between 1960 and 2000; López *et al.* 2001) with an annual urban growth rate around 142 ha per year. The climate is temperate with seasonal rainfall in summer; the average temperature is 14.4 °C; the average annual precipitation is around 765 mm (Mendoza *et al.*, 2006). The soils and landforms are of Quaternary volcanic origin (Pasquaré *et al.* 1991). Dominant land-cover types are: rain-fed and irrigated agriculture, shrub land, grassland and temperate forest.

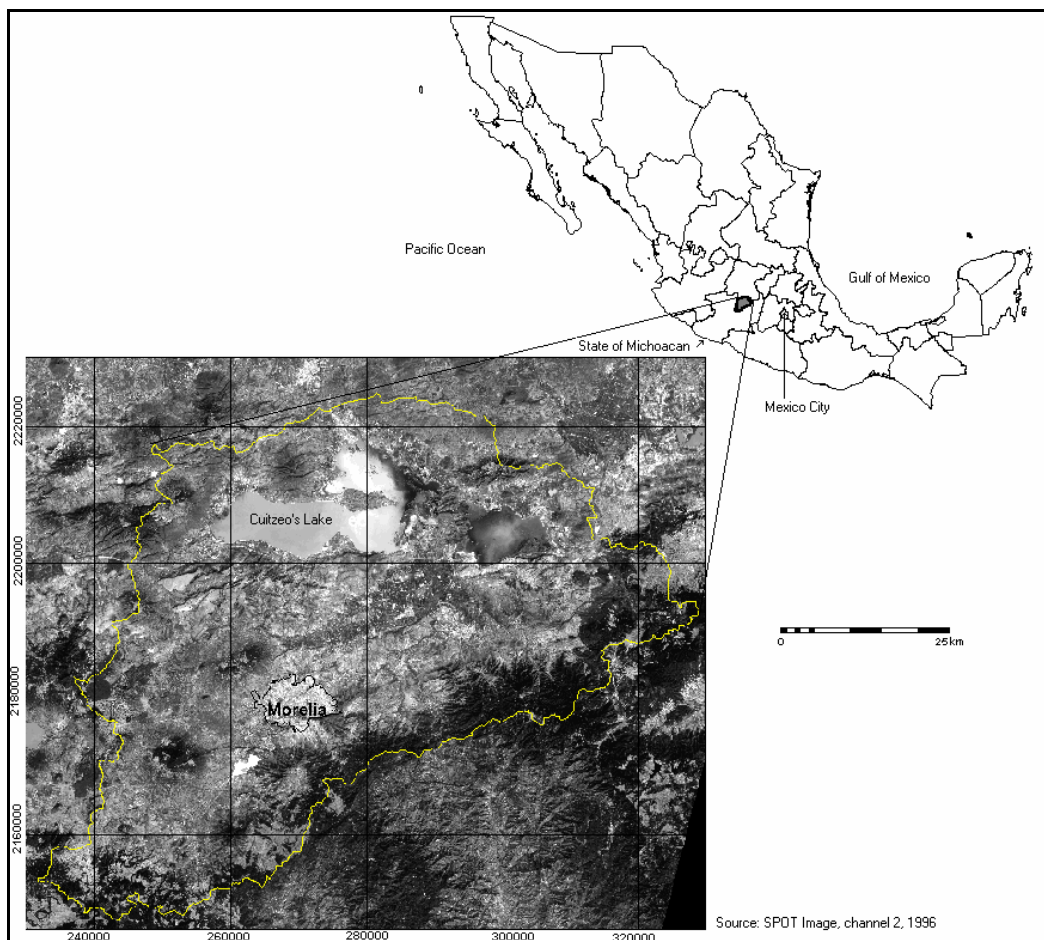


Figure 1. Study area.

Between 1997 – 1998 the water level of Cuitzeo's lake reduced significantly and several dust tornados phenomena occurred and the inhabitants of the settlements around the water body suffered different sickness. Nowadays the research has demonstrated that the reduction of water level was a consequence of the meteorological phenomena call "The Niño", who was the strongest episode occurred in the XX century, and happened 15 years later of a similar phenomena, amazing at the world scientific community, because that kind of events had a return period of 100 years or more (INDECI, 2005).

At that time, several governmental and educative institutions were dedicated to study the behaviour of the lake and watershed. Desiccation of the Cuitzeo's lake was originally explained as a process associated with deforestation in the upper watershed that caused soil erosion and subsequent transport to and deposition of sediment in the lake. Recent research, however, indicates that deforestation is not the main process of land-cover change in the watershed, and that accelerated soil erosion is not widespread in the Cuitzeo Lake drainage basin (Mendoza, 2002).

#### *Data base generation and accuracy*

LCLU, including water lake surface and land degradation (soil erosion) patterns were identified on black and white panchromatic aerial photography; the approximate scale was of 1:50,000 for 1975 (161 images) and 1:37,000 for 2000 (283 images). Aerial photography was interpreted under a mirror stereoscope using standard photographic keys (tone, texture, pattern, form and size) (Figure 2). Land-cover categories discriminated were forest, shrub land, grassland, rain-fed agriculture, irrigated agriculture, plantations, aquatic vegetation, reservoir, human settlements and eroded areas. Eroded areas were actually gullied terrain; we did not attempt to discriminate inter-rill and rill erosion because of photo scale limitations. Later through GIS analysis tools a cartographical overlay operation was carried out between land cover maps from 1975 and 2000 in order to generate a land cover change map of the basin, and land degradation processes were interpreted and evaluated for the study area.

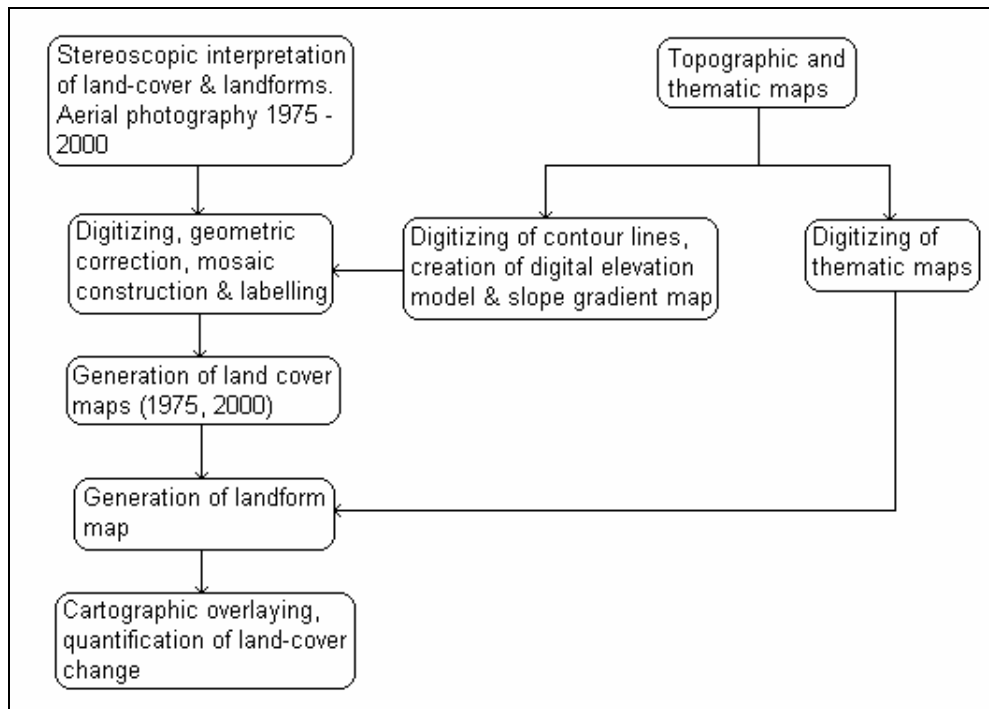


Figure 2. Method flow diagram.

Landforms were discriminated on the aerial photography according to morphometry, soil type, lithology and rock structure (Verstappen and van Zuidam 1991). Major landforms discriminated were plains, piedmonts, very low hills, low hills, high hills and mountains. In addition, 1:50,000 scale basic and thematic cartography was used to describe other relevant physical characteristics (rocks and soils) of the study area (INEGI 1975, 1996).

Photogrammetric restitution was carried out at the scale of the plani-altimetric base map (1:50,000) using a monoploting approach. This restitution procedure requires the coordinates of at least 9 control points in each photograph, the metric coordinates of the same points in the map (in this work were used 18 control points for each photography), and the altitude (obtained from a digital elevation model (DEM) (McCullough & Moore 1995). Geometric accuracy was set at 0.4 mm on the base map. Thus, the mosaics of land-cover and landforms were created and labelled. The thematic accuracy of the database, set at 95 %, was measured using conventional techniques (30 % of the polygons were field-verified; Bocco & Riemann 1997). A geographical information system (GIS) was used to digitize, correct, edit and analyze the geographic data and their attributes (Figure 2).

In order to know degradation processes it was constructed two dimensional table that allow grouping land cover categories transformation: deforestation, urbanization, water lake reduction, aquatic vegetation increase, erosion increase, forestation, shrub land increase, grassland increase, aother changes, no changes. The first five processes are included like land degradation. For example, the urbanization process is integrated by land use categories that in 1975 (time 1) belong to other category (forest, plantations, etc.) but in 2000 (time 2) were human settlements (Figure 3).

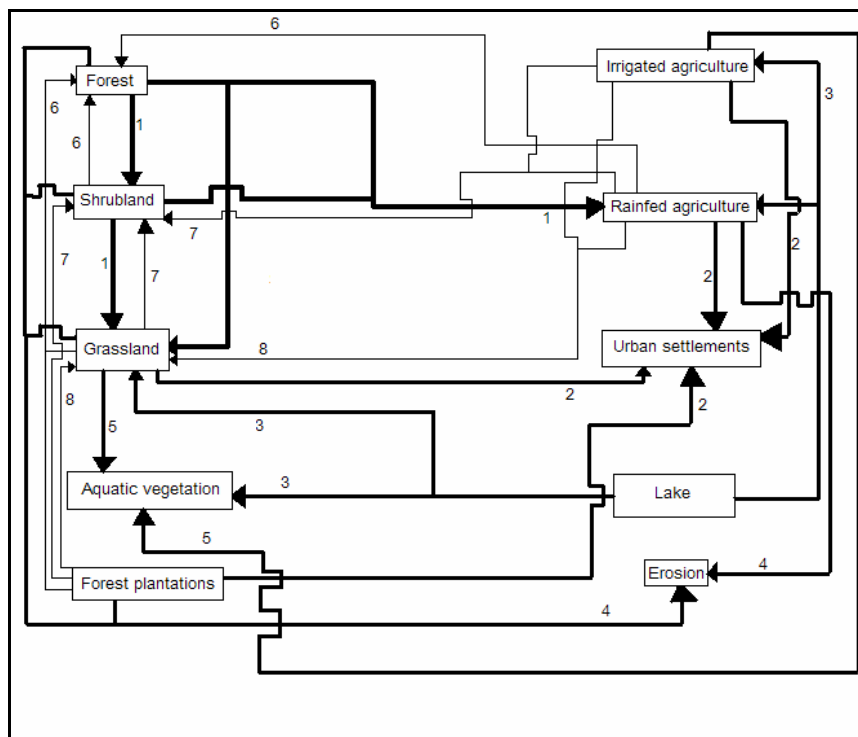


Figure 3. Land use change processes, the thickness lines are the picting processes related with land degradation. 1) deforestation, 2) urbanization, 3) water lake reduction, 4) erosion increase, 5) aquatic vegetation increase, 6) forestation, 7) shrubland increase and, 8) grassland increase.

## Results

### *Land cover land use*

Main land-cover land use change processes between 1975 and 2000 are related with the regeneration and improve of the vegetal land cover in the study zone (Figure 4, Table 1). Shrubland increase was the more important in surface (11%), followed by forestation (7 %).

Table 1. Land cover and land use change processes in Cuitzeo lake basin.

Land cover change proceses	ha	%
Deforestation	25,792	6.5
Urbanization	12,180	3.0
Water lake reduction	7,236	1.8
Erosion increase	1,372	0.3
Aquatic vegetation increase	972	0.2
Forestation	27,313	6.8
Shrubland increase	43,445	10.9
Grassland increase	9,658	2.4
Other changes	17,452	4.4
No changes	254,658	63.7

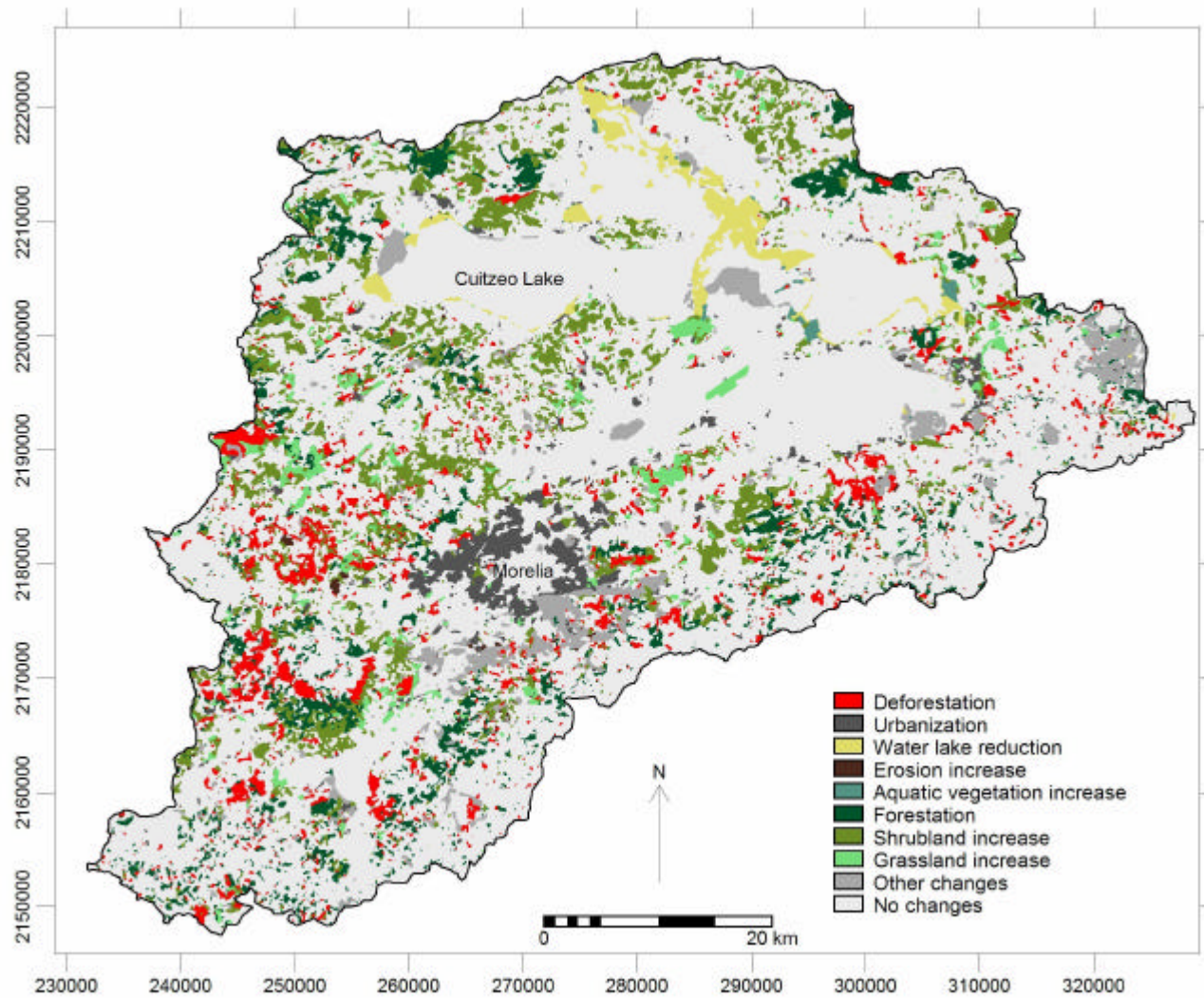
The main degradation processes is the deforestation, has been evaluated in 25,792 ha (6.5%) in the basin, is located on foot-slopes with mainly clayey soils on gradients below 6, and volcanic on gently sloping to moderately steep slopes with clayey soils (Luvisols and Acrisols) and sandy soils (Andosols) with slope gradients between 6 to 20°.

The second degradation processes is the urbanization (Figure 4, Table 1), for example; human settlements increased significantly its surface (129%). INEGI (population census of 1970) registered 391 localities (380,026 inhabitants). In 2000 (INEGI 2000), localities were 680 (879,763 inhabitants).

Acosta (2001), analysed the increase of urban settlements (US) in the watershed. US according to INEGI (2000) are those larger than 2,500 inhabitants (there were 27 such settlements in the watershed). In 1975 the surface occupied by US was 3,141 ha; in 2000 it increased to 10,939 ha. By contrast, population density diminished in all the US (Figure 5).

This density reduction in population means that land covers around US are on high pressure by the settlements growth (Figure 5). US have expanded over rain fed agriculture (8%), irrigated agriculture (4%), shrubland (4%), grassland (1%) and forest and forest plantation (1%). US expansion is an important driving force for land-use change and subsequent degradation of the resources around the city (water contamination for example).





1  
2

Figure 4. Land cover and land use change processes between 1975 and 2000.

3  
4

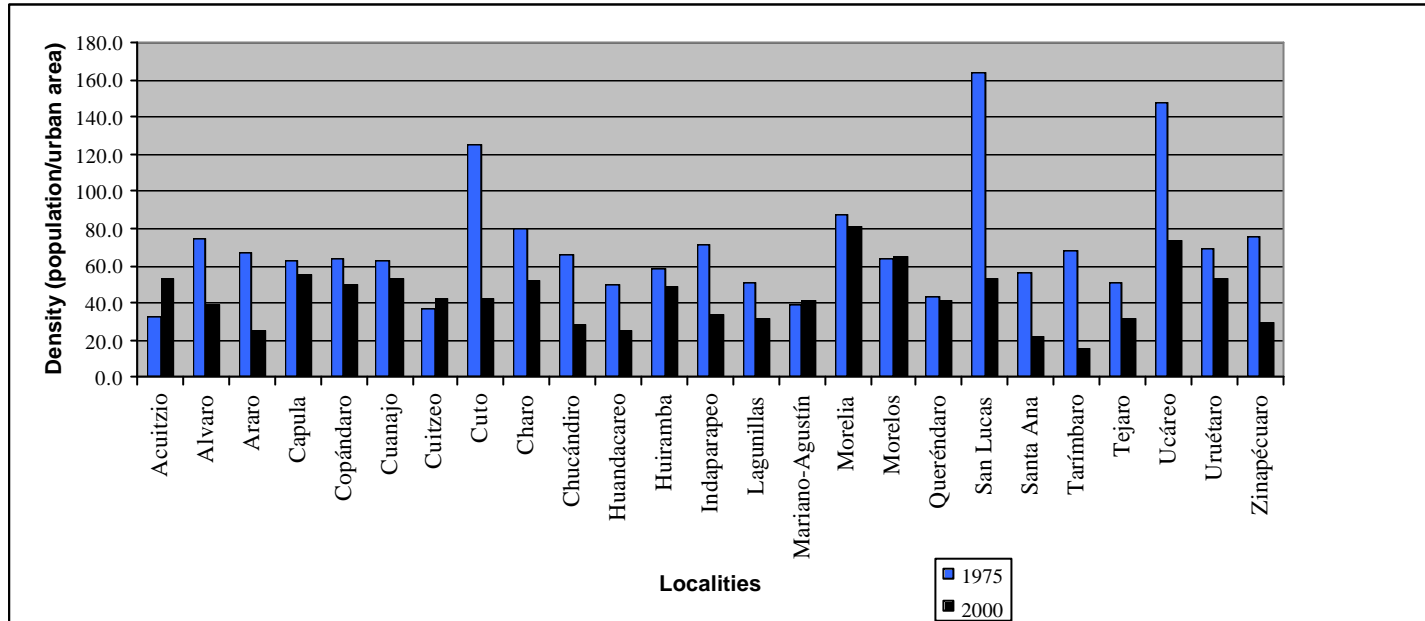


Figure 5. Urban population density in 1975 and 2000.

5  
6  
7

8 The Cuitzeo's lake has decreased in the study period (Table 2), the lake undergoes  
 9 desiccation process and is being covered by aquatic vegetation (Figure 4). Aquatic  
 10 vegetation covered 5% of the lake in 1975 and in 2000 its surface increase significantly to  
 11 until covered 15% of the lake surface; in consequence the surface of lake water body reduce  
 12 specially in the center of the lake, in this area, most of the agricultural drainages reach the  
 13 lake with a high content of chemical fertilizers; in consequence there is a substantial  
 14 reduction in the amount, quality and movement of water (Galindo, 2005; Atsu, 2006). As a  
 15 consequence of hypereutrophication processes started and subsequent species losses at  
 16 water body have been registered (Soto-Galera et al., 1999; Atsu, 2006), however Rojas and  
 17 Novelo (1995) registered a Cuitzeo's lake with a highest floristic diversity between others  
 18 lakes in Central Mexico (Chapala and Pátzcuaro).

19

20

Table 2. Percentages of LCLU categories for 1975 and 2000 in Cuitzeo lake basin.

Categories	1975 Cover (%)	2000 Cover (%)
Forest	16.7	19.6
Shrubland	18.6	23.7
Grassland	7.3	6.3
Rainfed-agriculture	29.3	18.5
Irrigated-agriculture	14.2	15.5
Plantations and Orchards	0.6	1.8
Aquatic vegetation	1.5	1.4
Lake	9.4	7.5
Reservoirs	0.3	0.4
Urban settlements	2.0	4.8
Badlands	0.2	0.4

21

22 The desiccation process is related strongly to the urban and agricultural consumption of  
 23 water (Table 3), two key indicators were evaluated. Firstly water consumption has  
 24 increased 183% in the last 25 years mainly for agricultural and urban uses (Acosta 2001).  
 25 Second, historical water piezoemetric levels registered since 1994 until 1998 from Morelia

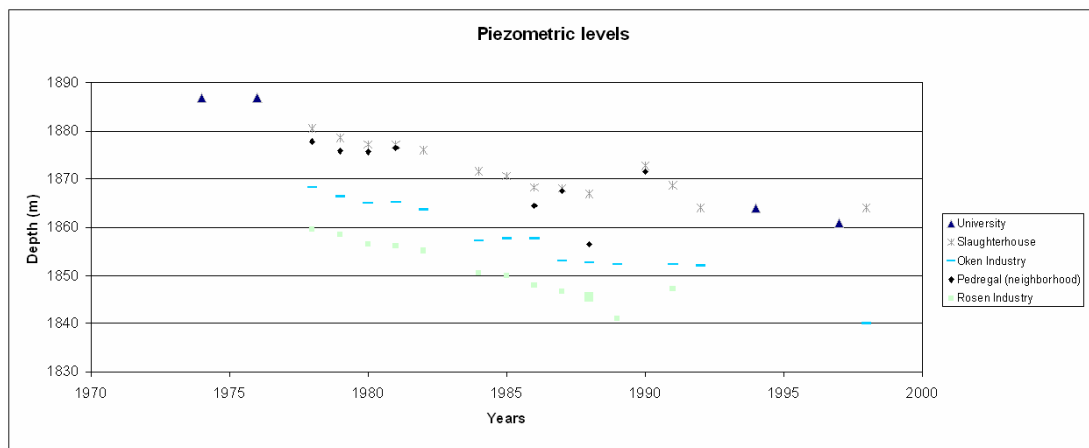
26 City indicate a clear groundwater depletion trend (Figure 6). The mean annual depletion is  
 27 1.16 m that means the total depletion in 21 years is around 22 m in 21 years.

28  
 29  
 30

Table 3. Water consumption in agriculture, public and cattle grazing (Acosta 2001).

Water consumption categories	Volume 1975	Volume 2000	Consumption growth
Irrigated-agriculture	213.0	342.8	129.8
Public	12.8	35.0	22.2
Cattle grazing	2.6	2.8	0.2

31  
 32  
 33



34  
 35  
 36  
 37

Figure 6 Times series of piezometric levels from Morelia City.

38 Severely eroded terrain (visible on the aerial photography) increased from 0.2% to 0.4% in  
 39 the studied period. In 1975 the entire gullied area encompassed 9 km<sup>2</sup> in 143 polygons (i.e.,  
 40 143 distinct features on the slopes), ranging in area between 0.005 to 0.5 km<sup>2</sup>. In 2000 the  
 41 gullied area was 13 km<sup>2</sup> encompassing 549 polygons ranging in area between 0.004 to 0.2  
 42 km<sup>2</sup>. Broadly (Figure 7), there was a tendency to the decrease of the larger badlands but to  
 43 an increase of the number of gullies.

44

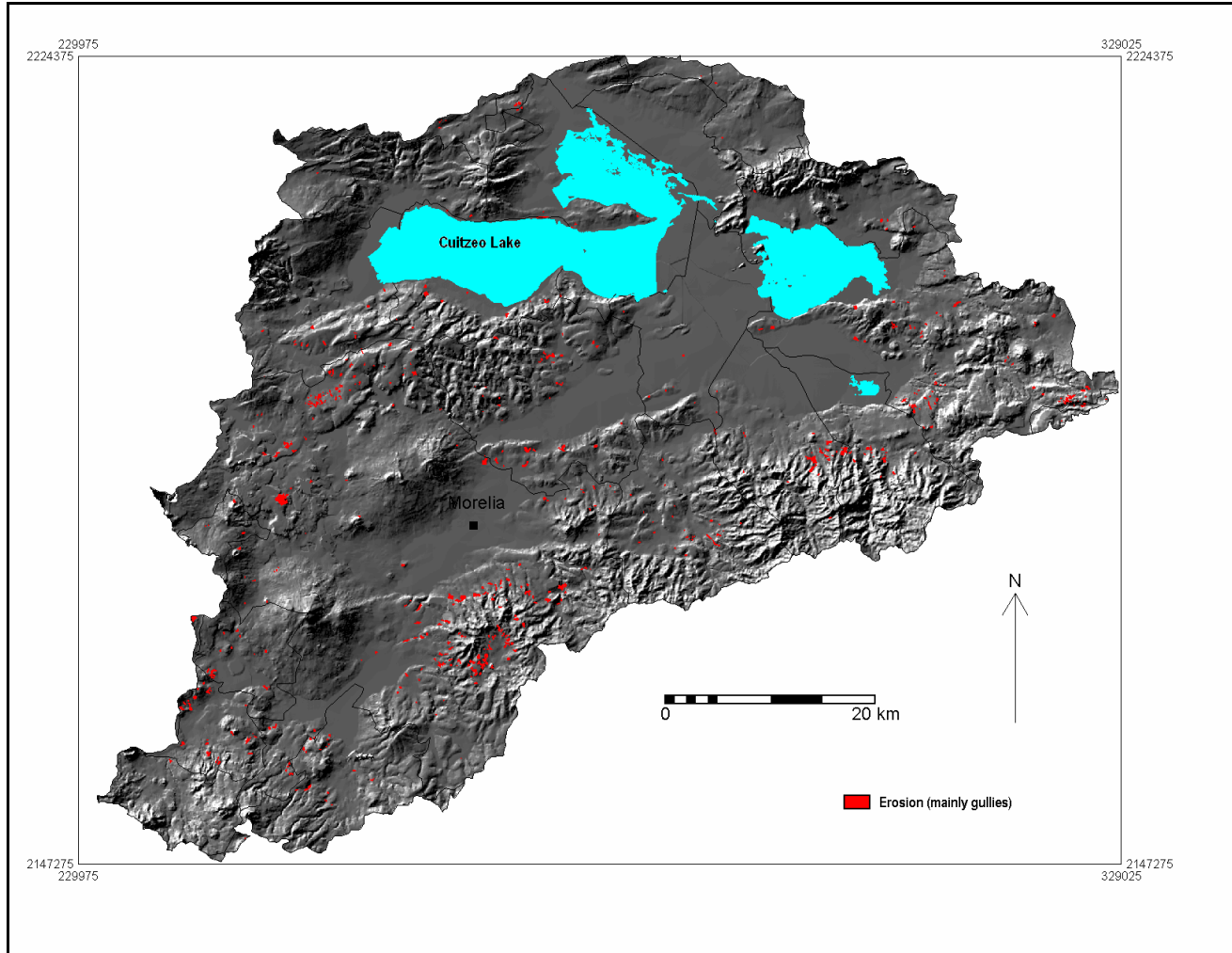


Figure 7. Gully erosion distribution in year 2000

45  
46  
47  
48

49

50 In 1975, 15 % of eroded areas were located on alluvial units with heavy-clayey soils, with a  
51 slope gradient below 3°; 30 % were located on very gently-sloping volcanic foot-slopes with  
52 clayey soils (3 to 6° gradient); 35 % occurred on gently sloping to moderately steep, convex  
53 to irregular volcanic slopes (6 to 10°). In other words, 80 % of the eroded areas were  
54 located on nearly flat to gently sloping (< 10°) convex to irregular slopes with clayey soils.  
55 This pattern prevailed, without significant change, in 2000 (figure 7). Moreover, in both  
56 dates, most gullies occurred either on grassland (50 %) or on rain-fed agricultural land  
57 (35%), usually farther than 0.5 km of human settlements and roads. The relationship  
58 between landforms and land-use matches that of similar erosion features in the nearby  
59 Tlalpujahua river basin (Bocco, 1993), under similar climatic, geomorphic and land  
60 management conditions.

61

62 The main land cover classes in study zone were shrub land, forest, rain-fed agriculture and  
63 irrigated agriculture, proportion change in each year (Table 2). Rain-fed agriculture  
64 occupied the largest area in 1975; nevertheless, in 2000 the predominant category was  
65 shrubland. Rainfed agriculture has diminished substantially in the study period due an  
66 increase in shrubland (8%) and grasslands (2%). The shrubland and rainfed agriculture are  
67 located mainly in hills with stony, shallow soils. The study area is characterised by the  
68 migration of the population to the capital of the state, the capital of the country and to the  
69 United States; thus the relatively unproductive fields are increasingly abandoned (López *et*  
70 *al.* 2006). These fields have undergone vegetal succession and are now covered by  
71 shrubland or forest. The tree plantations increased in the watershed, as a result of  
72 government efforts to control eroding areas.

73

## 74 **Discussion**

75

76 During this peace of research geographical patters of land degradation were recognized by  
77 visual interpretation of aerial photographs and subsequence analysis in a GIS environment  
78 carried out in this study. Land cover land use change can be use as a proxi for  
79 understanding land degradation process at basin level. This process can be linked to  
80 biological and chemical results got on previous works (see López-López and Dávalos-Lind,

81 1998; Soto-Galera *et al.*, 1999; Galindo, 2005; Atsu, 2006). The spatial approach can be  
82 useful to analyze at the basin level the effects of land-use change on land degradation.

83

84 Results depicted clearly that vegetal land cover has recovered (mainly in the categories of  
85 shrubland and forest); consequently rain fed agriculture has diminished its surface,  
86 reducing potential erosion in dry season when fallow is presented. It might explain why  
87 gully erosion is not a generalized problem at basin level. As a consequence, this research  
88 suggests that apparently, the land cover change (deforestation), erosion, and  
89 sedimentation model has been overused in this basin.

90

### 91 **Conclusions**

92 The evidence provided by this research suggests that the desiccation process is rather  
93 associated to the decrease in incoming water and the decrease in water quality rather than  
94 to sedimentation following erosion in the uplands. Low water quality is also cause of the  
95 increase of aquatic vegetation, especially water lily that is located near to the agricultural  
96 channels which spill out low quality water. This vegetation is diminishing water flows  
97 between the central and west zones of the lake. Water lily is a good indicator of stagnation,  
98 eutrophication, and reduction in light penetration, and decline in air concentration. At  
99 the same time this vegetation is playing a significant role, because it is a natural filter form  
100 salts and metals.

101

102 This means that the degradation of the basin, is a consequence of urban growth,  
103 specifically because of Morelia, which has increase its surface since 1960 until 2000 in  
104 5,560 ha, even with decreasing population density in the rest of the urban localities in  
105 basin, following a transformation in the irrigation and rainfed agriculture.

106

107 In addition of an increase in water consumption for agriculture and urban use which is the  
108 major cause of desiccation, regional climatic change has been recently refused (Mendoza,  
109 et al 2006). The population has increased in 220% between 1975 and 2000; this growth  
110 induced an increase in water consumption and an increase in urban sewage that flows  
111 untreated to the lake.

112

113 **Acknowledgements**

114 Results on which the paper was based were developed during the PhD thesis of the first  
115 author at the National Autonomous University of Mexico. We thank Vicente Salinas and  
116 Hergüin Cuevas for help during data capture, and Víctor Garduño and Víctor Medina for  
117 transferring depurated piezometric data. Research funds were granted by CONACyT  
118 (SIMORELOS Programme 2001: Ecological Zoning, Conservation of Natural Resources  
119 and Land Use Planning in the Cuitzeo's Watershed, Michoacán) and a PhD scholarship for  
120 the first author.

121

122

123 **References**

- 124 Atsu Tsagli, J, 2006 Spatial distribution of water quality and eutrophication levels of  
125 wetlands : a case study of lake Cuitzeo, Mexico. Enschede, ITC, 2006. 103 p
- 126 Awasthi, K., Sitaula, B., Singh, B. and Bajacharaya, R., 2002. Land-use change in two  
127 Nepalese watersheds: GIS and geomorphometric analysis.
- 128 Hudson P. and I. Alcántara-Ayala, 2006. Ancient and modern perspectives on land  
129 degradation. *Catena* 65: 102 – 106.
- 130  
131 Barbier, E. 2000. The economic linkages between rural poverty and land degradation:  
132 some evidence form Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 82(1-3):355-370.
- 133 Blaikie, P. M. and Brookfield, H. C.1987. *Land Degradation and Society*. London:  
134 Routledge.
- 135  
136 Bocco, G. 1990. Gully erosion analysis using remote sensing and GIS. A case in Central  
137 Mexico. Unpublished PhD thesis. University of Amsterdam.
- 138 Bocco, G. 1993. Gully initiation in Quaternary volcanic environments under temperate sub-  
139 humid seasonal climates. *Catena* 20(5):495-513.
- 140  
141 Bocco, G. and Riemann, H., 1997. Quality assessment of polygon labeling.  
142 *Photogrammetric Eng. Remote Sensing* 63 (4): 393 – 395.
- 143  
144 Braimoh, A., 2004. Seasonal migration and land-use change in Ghana. *Land Degradation*  
145 *and Development*, 15(1):37-47.
- 146  
147 Chikhaoui, M., F. Bonn, A.I, Bokoye and A. Merzouk, 2005. A spectral index for land  
148 degradation mapping using ASTER data: Application to a semi-arid Mediterranean  
149 catchment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*  
150 7:140–153.
- 151  
152 Coppus, R., Imeson, A. and Sevink, J. 2003. identification, distribution and characteristics



153 of erosion sensitive areas in three different Central Andean ecosystems. *Catena*, 51(3-  
154 4):315-328.

155  
156 Foster, D.R., Fluet M., and Boose, E.R., 1999. Human or natural disturbance: landscape –  
157 scale dynamics of the tropical forests of Puerto Rico. *Ecological Applications*, 9 (2): 555–  
158 572.

159  
160 Galindo De Obarrio, M. (2005) Water quality and its spatial variability in lake Cuitzeo,  
161 Mexico. MSc Thesis, ITC, Enschede, the Netherlands: 87 p.

162  
163 Hudson, P.F. & Alcántara-Ayala. I., 2006, Ancient and modern perspectives on land  
164 degradation. *Catena*, 65: 102-106.

165  
166 INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) 1975. Soil Map and  
167 Topographic Map, scale 1:50,000.

168  
169 INEGI, 1993, 1997. IX y XI Censo General de Población y Vivienda. Instituto Nacional de  
170 Estadística, Geografía e Informática. (Statistical Yearbooks with Population and Housing  
171 Census Data).

172  
173 Jokish, B., 2002. Migration and agricultural change: The case of smallholder agriculture in  
174 Highland Ecuador. *Human Ecology* 30 (4), 523-550.

175  
176 Kammerbauer, J., Cordoba, B., Escolan, R., Flores, S., Ramirez, V. and J. Zeledón. 2001.  
177 Identification of development indicators in tropical mountainous regions and some  
178 implications for natural policy designs: an integrated community case study. *Ecological  
179 Economics*, 36(1):45-60.

180  
181 Lal, R. 2001. Soil degradation by erosion. *Land Degradation and Development* 12(6):519-  
182 539.

183  
184 Lambin, E.F., 1994. “Modelling Deforestation Processes. A Review. Tropical Ecosystem  
185 Environment Observations by Satellites”. (TREES). TREES Series: Research Report No. 1.  
186 Luxemburgo: 113 pp.

187  
188 Lambin, E.F. and Geist, H. (eds) (2006) Land-use and land-cover change: local processes  
189 and global impacts. Springer: Berlin, Heidelberg, GE, 204 pp.

190  
191 López, E., Bocco, G., Mendoza M.E., Velázquez, A. and Aguirre, R. (2006). Peasant  
192 emigration and land-use change at the watershed level. A GIS-based approach in Central  
193 Mexico. *Agricultural Systems*.

194  
195 López Granados, E.M., Bocco, G., Mendoza, M.E. and Duahu E., 2001. Predicting land–  
196 cover and land–use change in the urban fringe. A case in Morelia city, Mexico. *Landscape  
197 and Urban Planning*, 55: 271– 285.

198  
199 López López E. and L. Dávalos-Lind 1998. Algal growth potential and nutrient limitation  
200 in a tropical river-reservoir system of the Central Plateau, Mexico *Aquatic Ecosystem  
201 Health and Management* 1 (3-4): 345-351.

202  
203 Mas, J.F., Velázquez, A., Palacio, J.L., Bocco, G., Peralta, A. and Prado, J., 2002. Assessing  
204 forest resources in Mexico: wall-to-wall land use/cover mapping. *Photogrammetric*  
205 *Engineering and Remote Sensing* 68(10), 966-968.  
206  
207 Mas J.F., Velázquez, A., Reyes Díaz-Gallegos J., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P.C.,  
208 Bocco G., Castro, R. T Fernández R. and Pérez-Vega, A. 2004. Assessing land use/cover  
209 changes: a nationwide multidecade spatial database for Mexico. *International Journal of*  
210 *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5 (4): 249-261.  
211  
212 McCullough, D. and Moore, K., 1995. Issues and methodologies in integrating aerial  
213 photography and digital base maps. *Geo. Info. Syst.* 5 (3): 46 – 48.  
214  
215 Mendoza, M.E., G. Bocco, M. Bravo, E. López-granados y W.R. Osterkamp, 2006.  
216 Predicting water surface fluctuation of continental lakes. A GIS and RS based approach in  
217 Central Mexico. *Water Resources Management* 20 (2): 291 – 311.  
218  
219 Meyer, W.B. and Turner, B.L. II, 1994. Global land - use and land - cover change: report of  
220 working group A. In: Meyer, W.B. y B.L. Turner II (eds.), 1994. *Changes in land use and*  
221 *land cover: a global perspective*. Cambridge University Press.  
222  
223 Nagle, G. 2002. The contribution of agricultural erosion to reservoir sedimentation in the  
224 Dominican Republic. *Water Policy*, 3(6): 491-505.  
225  
226 Nyssen, J., Poesen, J., Moeyersons, J., Deckers, J., Haile, M., and Lang., A. 2004. Human  
227 impact on the environment in the Ethiopian and Eritrean highlands –a state of the art.  
228 *Earth-Science Reviews*, 64(3-4):273.320.  
229  
230 Pasquarè, G., Ferrari, L., Garduño, V.H., Bibaldi, A. and Vezzoli, L., 1991. Geologic map of  
231 central sector of Mexican Volcanic Belt, State of Guanajuato and Michoacan, Mexico. Map  
232 and Chart Series MCH072. Geological Society of America.  
233  
234 Rao, K. and Pant, R. 2001. land-use dynamics and landscape change pattern in a typical  
235 watershed in the mid elevation zone of central Himalaya, India. *Agriculture, Ecosystems*  
236 *and Environment* 86:113-223.  
237  
238 Reid, R.S., Kruska, R.L., Muthui, N., Taye, A., Wotton, S., Wilson, C.J., and Mulatu, W.,  
239 2000. Land–use and land–cover dynamics in response to changes in climatic, biological  
240 and socio – political forces: the case of southwestern Ethiopia. *Landscape Ecology*, 15: 339  
241 – 355.  
242  
243 Schoorl, J. and Veldkamp, A. 2001. Linking land-use and landscape process modeling: a  
244 case study for the Alora region (south Spain). *Agriculture, Ecosystems and Environment*,  
245 85(1-3):281-292.  
246  
247 Soto-Galera E., J. Paulo-Maya, E. López-López, J. A. Serna-Hernández and J. Lyons, 1999.  
248 Change in Fish Fauna as Indication of Aquatic Ecosystem Condition in Río Grande de  
249 Morelia–Lago de Cuitzeo Basin, México. *Environmental Management* 24 (1): 133 – 140  
250

- 251 Tiwari, P. 2000. Land-use changes in Himalaya and their impact on the plains ecosystem:  
252 need for sustainable land use. *Land Use Policy*, 17(2):101-111.  
253
- 254 Van Rompaey, A., Govers, G. and Puttemans, C., 2002. Modelling land-use changes and  
255 their impact on soil erosion and sediment supply to rivers. *Earth Surface Processes and*  
256 *Landforms*, 27(5):481-494  
257
- 258 Vanacker, V., Govers, G., Poesen, J., Deckers, J., Dercon, J. and G. Loaiza, 2003. The  
259 impact of environmental change on the intensity and spatial pattern of water erosion in a  
260 semi-arid mountainous Andean environment. *Catena*, 51(3-4):329-347.  
261
- 262 Verburg, P.H., de Koning, G.H.J., Kok, K., Veldkamp, A., and Bouma, J., 1999. A spatial  
263 explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon  
264 actual land use. *Ecological Modelling*, 116: 45 – 61.  
265
- 266 Verstappen, H.T.H. and van Zuidam, R.A., 1991. The ITC System of Geomorphologic  
267 Survey. A basis for the evaluation on natural resources and hazards. ITC. Publicación No.  
268 10. Enschede, The Netherlands: 89 pp.  
269
- 270 Walling, D., and Fang, D., 2003. Recent trends in the suspended sediment loads of the  
271 world's rivers. *Global and Planetary Change*, 39(1-2):111-126.  
272
- 273 Wardell, D.A., Reenberg, A. and Tøttrup, C., 2003. Historical footprints in contemporary  
274 land use systems: forest cover changes in savannah woodlands in the Sudano-Sahelian  
275 zone. *Global Environmental Change*, 13(4):235-254.  
276

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

Agricultural Systems xxx (2005) xxx–xxx

AGRICULTURAL  
SYSTEMS[www.elsevier.com/locate/agsy](http://www.elsevier.com/locate/agsy)

## Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS-based approach in Central Mexico

Erna López <sup>a,\*</sup>, Gerardo Bocco <sup>a,b</sup>, Manuel Mendoza <sup>c</sup>,  
Alejandro Velásquez <sup>c</sup>, Juan R. Aguirre <sup>d</sup>

<sup>a</sup> *Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM, Antigua carr. a Patzcuaro 8701,  
Col. Ex Hacienda San José la Huerta, C.P. 58190, Morelia, Michoacán, Mexico*

<sup>b</sup> *Instituto Nacional de Ecología, Periférico Sur 5000, Col. Insurgentes – Cuicuilco, C.P. 04530,  
Delegación Coyoacán, Mexico, D.F., Mexico*

<sup>c</sup> *Unidad Académica Morelia del Instituto de Geografía, UNAM, Aquiles Serdán 382, Col. Centro,  
Morelia, Michoacán, C.P. 58000, Mexico*

<sup>d</sup> *Instituto de Investigaciones en Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí,  
Altair 200, Fracc. del Llano, San Luis Potosí, C.P. 78377, Mexico*

Received 22 September 2004; received in revised form 26 October 2005; accepted 7 November 2005

### Abstract

Demographic changes introduced by migration strongly affect economic activities and may thus trigger land-use changes. Migration has been usually overlooked in land use change modelling, even though it is recognized as a dominant demographic factor that influences land use. This paper analyzes to what extent migration patterns influence land-cover and land-use change at the watershed level. A RS-GIS and statistical approach was used to quantify and analyze both land-cover change and change in population per spatial unit. It was hypothesized that migration should exert a strong effect on land-cover change. The exercise was carried out in the Basin of Lake Cuitzeo, Michoacan, in Central Mexico, an area of high emigration to the USA, albeit showing a net increase in its total population. The expansion of scrubland areas at the expense of rain-fed agricultural land is associated with the abandonment of agricultural

\* Corresponding author. Tel.: +52 443 3 22 27 24/17 94 23; fax: +52 443 3 17 94 25.  
E-mail address: [erna@oikos.unam.mx](mailto:erna@oikos.unam.mx) (E. López).

28 land with poor soils. As a consequence, vegetal succession has been promoted and subtropical  
29 scrubland increased.

30 © 2005 Published by Elsevier Ltd.

31 *Keywords:* Land-cover change; Land-use change; Migration; Basins; GIS; Mexico

32

### 33 1. Introduction

34 Currently, notable displacements of people occur because of poverty, wars, and  
35 environmental degradation. In the world, more than 125 million human beings  
36 (one out of every 46 inhabitants) have left their countries of origin (Sin Fronteras,  
37 2002) in search of a better standard of living. Migration is a dynamic demographic  
38 phenomenon affecting the size, structure and spatial distribution of the population.  
39 Migratory movements have changed through time, from a rural to urban pattern with  
40 few destinations, to a more diversified movement pattern; thus urban to urban, rural  
41 to international, and urban to international displacements are now common. Migra-  
42 tion strongly affects economic activities and may trigger land-use changes. Migration  
43 is usually overlooked in land use change models (Stéphenne and Lambin, 2001; Ver-  
44 burg et al., 1999) even though it is often recognized as the dominant demographic fac-  
45 tor influencing land use (Henry et al., 2003). In Mexico, as in other developing  
46 countries, national and international migration is the result of economic, social, polit-  
47 ical and environmental processes. Migration, particularly the rural to urban pattern,  
48 is an intrinsic and substantial aspect of development (Xu and Tan, 2002).

49 The causes and consequences of land use and land cover change (LUCC) on the  
50 physical and social environment are the object of current research (Veldkamp and  
51 Verburg, 2004). Major research goals are to develop spatially explicit models, to pro-  
52 ject alternative pathways into the future, to conduct experiments that test our under-  
53 standing of key processes, and to describe the latter in quantitative terms (Lambin  
54 et al., 2000; Lambin et al., 2001; Veldkamp and Lambin, 2001). However, despite  
55 its importance, accurate statistics on LUCC are not available for many tropical  
56 countries, and detailed GIS studies describing the dynamics of LUCC are still lack-  
57 ing (Mas et al., 2004).

58 Ever since it has been possible to detect and analyze urban growth, deforestation,  
59 or expansion of the agricultural frontier through remote sensing (RS) and geograph-  
60 ical information systems (GISs) (among others, Rindfuss and Stern, 1998), social sci-  
61 ence has become more involved in unraveling the causes of land-use change and the  
62 effects of migration on land-use cover. Abandonment of crop land, especially in mar-  
63 ginal and less productive areas, has become the most important trend in LUCC in  
64 most industrialized societies (Ramankutty and Foley, 1999; Quetier et al., 2005)  
65 and, increasingly, in developing countries (Veldkamp and Fresco, 1997; De Jong  
66 et al., 2002; Reid et al., 2000; Aide and Grau, 2004; Zak et al., 2004; Kalacska  
67 et al., 2004). Abandonment of agricultural lands following migration seems to facil-  
68 itate ecosystem recovery (Aide and Grau, 2004). Statistical analysis of the relation-  
69 ship between migration and vegetation recovery is lacking (Henry et al., 2003), but

70 there are several studies on the related subject of forest recovery and forest transition  
71 (Rudel et al., 2002; Klooster, 2000, 2002, 2003). The last author reported research  
72 results for a lacustrine basin in Central Mexico; the analysis was a qualitative one,  
73 based on aerial photography inspection.

74 In Mexico, international migration, especially to the United States (USA), has  
75 increased dramatically in the last decades (CONAPO, 2003) (CONAPO holds for  
76 the National Population Council). Between 1965 and 1985, migration involved mostly  
77 small-rural-town farmers traveling frequently to the USA (Massey, 1985; Massey et al.,  
78 2002). During the last decade, Mexican migration has become very complex: there are  
79 more population-expelling regions, urban migration has increased, female and indig-  
80 enous people are part of this migratory process, and the stay of migrants has become  
81 longer and their legal status very fragile (Durand and Massey, 2003).

82 According to the Bank of Mexico (Guémez García, 2005), the main reasons to  
83 encourage Mexican migration to the United States are rigidities in the labor market  
84 and weaknesses in the formal-sector (absence of jobs, lack of health benefits and low  
85 salaries, among other) are the main incentives of migration to the USA. Neverthe-  
86 less, government policies are posited as the primary independent variables driving  
87 Mexican migration patterns (Massey et al., 2002).

88 International migration is considerable in Central Mexico, where most of the pop-  
89 ulation is settled and most of the gross national product is generated. Migration  
90 intensities per municipality are as follows: Aguascalientes (73%), Durango (59%),  
91 Guanajuato (59%), Jalisco (65%), Michoacan (63%) and Zacatecas (75%) (CON-  
92 APO, 2003). Together with Colima and Nayarit, these states constitute a popula-  
93 tion-expelling region (Levine et al., 1985). Excluding capital cities, the region  
94 exhibits a negative migratory balance, exporting manpower to other regions in Mex-  
95 ico and the USA (CONAPO, 1996). Michoacan is one of the areas experiencing  
96 severe emigration, a process started at the end of XIX century (Gamio, 1930). More  
97 than half of migrants go abroad (mainly to the USA). Domestic migrants head  
98 mostly towards urban areas in Jalisco or the State of Mexico (CONAPO, 2003).

99 This paper analyzes the association of migration and land-use changes at the  
100 watershed level. A RS-GIS approach and statistical analyses are used to quantify  
101 and analyze land-use and population changes per spatial unit. The watershed is  
102 the spatial framework because of its relevance in understanding of environmental  
103 effects of human pressure on natural resources. It is hypothesized that migration  
104 should exert a strong effect on LUCC (Jokish, 2002). The exercise is carried out in  
105 the Basin of Lake Cuitzeo, Michoacan, in Central Mexico, an area of high emigra-  
106 tion to the USA, albeit showing a net increase in its total population.

### 107 1.1. The study area

108 The endorreic Basin of Lake Cuitzeo encompasses roughly 4000 km<sup>2</sup> (Fig. 1). The  
109 basin includes Morelia, the capital of Michoacan, which expanded sixfold between  
110 1975 and 2000 (López et al., 2001). Lake Cuitzeo is the second largest in the country  
111 (a wetland of about 300 km<sup>2</sup>). Several indigenous cultures settled in this wetland dur-  
112 ing pre-colonial and colonial periods. The lake is currently used for irrigation and

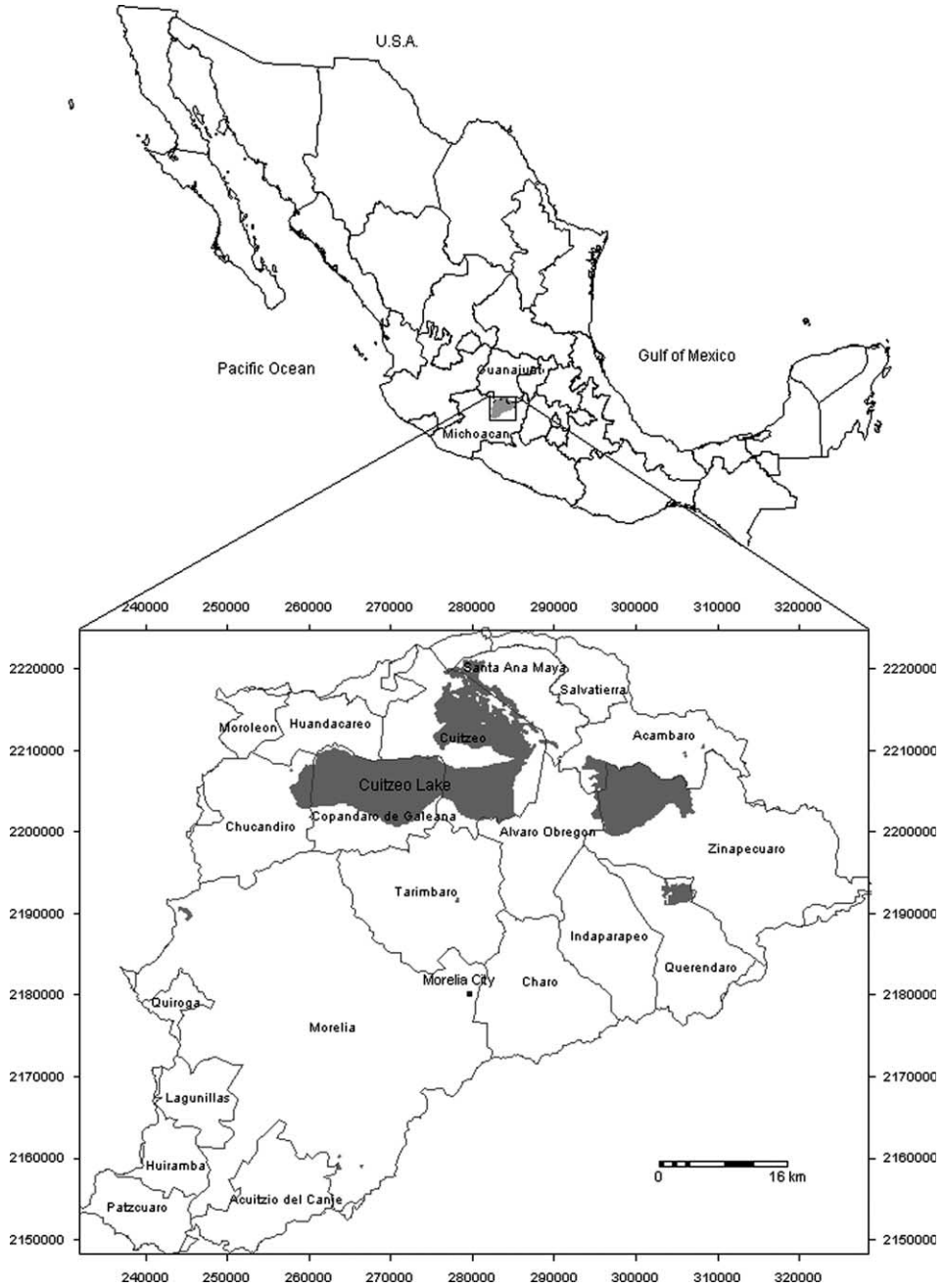


Fig. 1. Location of study area and municipalities within the basin.

Table 1  
Population in Cuitzeo's Basin (municipal level, 1970 and 2000)

Municipalities	Total population			Rural population			Urban population		
	1970	2000	Difference (%)	1970	2000	Difference (%)	1970	2000	Difference (%)
Acambaro	8494	10,609	24.9	4194	4377	23.7	4300	6232	44.9
Acuitzio	6640	9356	40.9	3517	3590	2.1	3123	5766	2.08
Alvaro Obregon	9528	19,502	104.7	5936	11,591	95.3	3592	7911	95.3
Copandaro	6758	9151	35.4	3738	5743	53.6	3020	3408	53.6
Cuitzeo	19,016	26,254	38.1	14,141	11,192	-20.9	4875	15,062	-20.9
Charo	8223	16,650	102.5	5682	12,082	112.6	2541	4568	112.6
Chucandiro	8702	7463	-14.2	8702	7463	-14.2	0	0	0
Hidalgo	150	145	-3.3	150	145	-3.3	0	0	-3.3
Huandacareo	9813	11,808	20.3	3861	5108	32.3	5952	6700	12.6
Huiramba	3938	6561	66.6	3938	3931	-0.2	0	2630	-0.18
<i>Huaniqueo</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>40.2</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
Indaparapeo	8291	16,187	95.2	4634	6622	42.9	3657	9565	161.6
Lagunillas	4152	5136	23.7	4152	5136	23.7	0	0	0
<i>Madero</i>	<i>0</i>	<i>46</i>	<i>-</i>	<i>0</i>	<i>46</i>	<i>-</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
Morelia	202,855	616,948	204.1	41,815	48,350	15.6	161,040	568,598	15.6
Morelos	4421	3876	-12.3	4421	3876	-12.3	0	0	0
Moroleon	2769	2552	-7.8	2769	2552	-7.8	0	0	0
Patzcuaro	3474	7155	5.6	516	2177	321.9	2958	4978	322.0
Querendaro	9183	12,942	40.9	3373	4398	30.4	5810	8544	30.4
Quiroga	457	448	11.0	457	448	-2.0	0	0	-2.0
Salvatierra	4390	2587	-41.1	4390	2587	-41.1	0	0	0
Santa Ana Maya	11,147	13,952	25.2	6921	7117	2.8	4226	6835	2.8
<i>Tacambaro</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
Tarimbaro	19,430	39,408	102.8	16,776	23,765	41.7	2654	15,643	489.4
<i>Tzintzuntzan</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
Uriangato	3336	3043	-8.8	3336	3043	-8.8	0	0	-8.8
Yuriria	1054	964	-8.5	1054	964	-8.5	0	0	0
Zinapécuaro	23,805	37,020	55.5	13,887	17,315	24.7	9918	19,705	24.7

Elaborated from DGE (1970) and INEGI (2002). The *italic* rows show the municipalities that will not be included in the statistical analysis because of their small size and, in most cases, the lack of inhabitants in the area.



113 subsistence fisheries. The basin is representative of environmental and socioeco-  
114 nomic conditions of central Mexico. It is located in the Transmexican Volcanic Belt,  
115 a large Quaternary volcanic physiographic province occupying most of central Mex-  
116 ico. The climate is temperate with seasonal (summer) rainfall; the average annual  
117 temperature is 17 °C, and annual rainfall is about 800 mm. The soils and landforms  
118 developed in most of the basin have been derived from volcanic materials (both lavas  
119 and pyroclasts). Between 1975 and 2000, the population increased 130%; in 2000, the  
120 basin was inhabited by 879,763 people who lived in 682 urban and rural settlements  
121 (INEGI, 2001) (INEGI holds for the National Mapping Agency and Bureau of the  
122 Census). Twenty-eight municipalities (Fig. 1, Table 1) are partially or totally  
123 included in the study area; nearly 80% of them exhibit high and very high migratory  
124 intensities (Tuirán et al., 2002).

## 125 2. Method

126 Panchromatic black and white aerial photographs at an approximate scale of  
127 1:50,000 for 1975 (161 photos, acquired by INEGI), and 1:37,000 for 2000 (283 pho-  
128 tos, deliberately acquired for this exercise) were used to delineate LUCC patterns,  
129 and to understand the geographic distribution of relief and soil material. Aerial pho-  
130 tography at these scales insures appropriate detection of land-cover categories in a  
131 cost-effective way as compared to very high-resolution satellite imagery (not avail-  
132 able for 1975). In addition, conventional aerial photography allowed the stereo-  
133 scopic interpretation of relief – soil patterns.

134 Ancillary cartographic material consisted of 1:50,000 topographic and thematic  
135 (rock and soil types) maps generated by INEGI. The demographic and socioeco-  
136 nomic data at municipality level were obtained from the censuses generated by  
137 DGE (1970) (DGE stands for the former Bureau of the Census), INEGI (2001)  
138 and CONAPO (2003). The latter data were linked to GIS databases in a relational  
139 manner to understand the spatial distribution of population and its change in the  
140 watershed, as well as its relation with the geographic distribution of land-use  
141 change.

142 Land-use and relief were photo-interpreted on the basis of standard photographic  
143 keys (tone, texture, pattern, shape, and size) using a mirror stereoscope. The map-  
144 ping legend included the following categories: temperate mixed (pine-oak) forest,  
145 scrubland, grassland, rain-fed agricultural land, irrigated agricultural land, forest  
146 plantations, aquatic vegetation, lake, water reservoirs, human settlements, and  
147 eroded areas (Table 2). Thirty percent of interpreted polygons were labeled in the  
148 field and used as ground truth for photo-identification. The expected labeling accu-  
149 racy for the entire mosaic was set at 95%. Images of both dates were manually dig-  
150 itized and geometrically corrected using a mono-restitution procedure (McCullough  
151 and Moore, 1995) in the GIS; the location error accepted at control points (12 per  
152 photo on the average) was set at 0.4 mm (or better) on the 1:50,000 base map.  
153 The databases corresponding to both dates were spatially overlain in the GIS and  
154 the land-use change computed, in hectares, per category.

Table 2  
Land-cover categories for Cuitzeo's Basin

Generalized cover	Description
Forest	Arboreal associations. In the area they are represented by pine forest, oak forest, fir forest and mixed coniferous-broadleaf forest.
Scrubland	Scrub-like anthropic vegetation, with branching from the base of the stem. Generally its height is less than 4 m. In the area they are mainly represented by subtropical deciduous scrubland.
Grassland	It is formed by herbaceous non-woody vegetation considered dominant in terms of cover percentage (> to 75%).
Rain-fed agricultural land	Land dedicated to annual crops in which humidity comes from seasonal rainfall.
Irrigated agricultural land	Land dedicated to crops irrigated by dripping, sprinkling or canals, etc.
Forest plantations	Areas with arboreal elements planted by humans, such as eucalyptus and coniferous plantations, which present a well-defined spatial array. Fruit orchards are considered separately.
Orchards	Fruit plantations, namely avocado.
Aquatic vegetation	Those vegetal associations located in or adjacent to water bodies. They are mainly represented by tule (American Bulrush) colonies, fields of reeds, and water hyacinth.
Lake	It represents Cuitzeo's Lake, including its flooding areas.
Water reservoirs	Small man-built reservoirs used for irrigation or as watering places.
Human settlements	Encompasses housing and service constructions as well as vacant lands.
Eroded areas	Areas with severe water erosion features (gullies).

155 Further, four steps were followed to quantitatively assess the relationship between  
156 migration and land-use change. First, an emigration rate (1970–2000) was computed  
157 per municipality, using data provided by INEGI. To this end we estimated the total  
158 potential population (TPP) that would inhabit at each municipality (Eq. (1))

$$161 \quad \hat{T}_{n+1} = T_n + (T_n(R_n - R_m)) \quad (1)$$

162 where  $\hat{T}_{n+1}$  is the total population estimated from one year to the next,  $T_n$  is the total  
163 initial population (in this case 1970),  $R_n$  is the mean birth rate (1970–2000), and  $R_m$  is  
164 the mean mortality rate (1970–2000). The TPP was then compared to the actual pop-  
165 ulation as given by INEGI for 2000; the difference between both was regarded as the  
166 number of people that emigrated within the study period. Finally, the emigration  
167 rate was computed by comparing the TPP and the actual population using the fol-  
168 lowing equation:

$$170 \quad \delta_n = \left( \frac{\text{TPP}}{\text{AP}} \right)^{1/n} - 1, \quad (2)$$

171 where  $\delta_n$  is the emigration rate, TPP is the total potential population, AP is actual  
172 population, and  $n$  is the number of years corresponding to the study period.

173 The second step involved the calculation of a land-use change rate per municipal-  
174 ity. Since field evidence and preliminary data inspections indicated that scrubland  
175 experienced the most conspicuous land-use change process, we computed a conver-  
176 sion rate for scrubland by quantitatively comparing its surface in 1975 and 2000, as  
177 obtained from the GIS (Eq. (3))

8

*E. López et al. / Agricultural Systems xxx (2005) xxx–xxx*

178

$$\hat{t} = \left(1 - \frac{S_1 - S_2}{S_1}\right)^{1/n} - 1 \quad (3)$$

180

181 where  $\hat{t}$  is the conversion rate for scrubland,  $S_1$  is the surface under scrubland in  
 182 1975,  $S_2$  is the surface under scrubland in 2000, and  $n$  is the number of years of  
 183 the study period.

184 The third step was a comparison between the emigration rate and the scrubland  
 185 conversion rate per municipality. Additionally, the Spearman non-parametric statis-  
 186 tical (Rank Order Correlation Coefficient; Zar, 1996) was used to test the following  
 187 hypothesis:

188 Ho: the population change percentage and the scrubland cover change percent-  
 189 age are mutually independent.

190 Ha: the population change percentage and the scrubland cover change percent-  
 191 age are mutually dependent.

192 Finally, to explore whether any pattern encountered exhibited a macro-regional  
 193 significance, we assessed LUCC at state level for other areas in central Mexico.  
 194 To this purpose, we compared land-use data provided by INEGI for 1975 and that  
 195 of the National Forest Inventory (Mas et al., 2002) for 2000.

### 196 3. Results and discussion

#### 197 3.1. Population dynamics

198 In 1970, 57.3% of the population in the study area lives in urban settlements (USt)  
 199 i.e., >2500 inhabitants (INEGI, 2001). In 2000, 78% of the population lived in USt  
 200 and particularly in large towns. In 1970 there were 15 USt, while in 2000 the number  
 201 increased to 26. The ratio urban-to-rural population for the basin (i.e., percentage of  
 202 the population living in USts) was higher than the national average, estimated as  
 203 60% (INEGI, 2001). The municipalities with the highest percentage of population  
 204 growth were Morelia, Patzcuaro, Alvaro Obregon, Tarimbaro and Charo (Table  
 205 1). In turn, eight municipalities in the basin lost population in the study period (Chu-  
 206 candiro, Hidalgo, Morelos, Moroleon, Quiroga, Salvatierra, Uriangato, and Yuri-  
 207 ria). In these municipalities, population losses occurred in their rural settlement  
 208 (RUS) (i.e., <2500 inhabitants, INEGI, 2001). Birth and mortality rates per se

Table 3  
 Birth and mortality rates at both states represented in the basin

State	Birth rate		Mortality rate	
	1970	2000	1970	2000
Guanajuato	45.2	31.6	8.6	4.3
Michoacán	47.3	34.9	8.6	4.7

The rates show the number of births or deaths for every 1000 inhabitants.

Source: INEGI (2001).

209 (Table 3) do not explain the strong population dynamics in the region. Data suggest  
 210 that the rural population loss ought to be explained through another important fac-  
 211 tor, emigration. This is supported by Tuirán et al. (2002), who computed a migratory  
 212 intensity index (MII) for every municipality in Mexico for 2000. MII takes into  
 213 account demographic and socioeconomic dimensions of international migration  
 214 and associates migratory intensity to the USA and monetary remittances to munic-  
 215 ipalities (Tuirán et al., 2002). Seventy-nine percent of all municipalities located in  
 216 Cuitzeo Basin exhibited high or very high MII values in 2004. Michoacan was the  
 217 largest recipient of monetary remittances from United States to Mexico (Guémez  
 218 García, 2005). The only municipality with a low MII is Morelia, a strong popula-  
 219 tion-attracting centre (López et al., 2001).

### 220 3.2. Land-cover and land-use change

221 In 1975, in a downward ranking, rain-fed agricultural land, scrubland, forests,  
 222 and irrigated agricultural land (Table 4, Fig. 2) constituted 79% of the study area.  
 223 In 2000, the best represented categories were the same as in 1975, encompassing  
 224 77% of the basin; however, scrubland moved to the first place, followed by forest  
 225 (that increased modestly), rain-fed agricultural land, and irrigated agricultural land  
 226 (Table 4, Fig. 3). In the study period, rain-fed agricultural land diminished by nearly  
 227 11%. Inspection of relief and soil characteristics on the aerial photography and on  
 228 thematic maps, as well as field evidence, indicate that both scrubland and non-irri-  
 229 gated agricultural land are largely located on relatively steep, stony slopes with shal-  
 230 low soils. This results in hard tilling work and low cropping yield (mainly for maize  
 231 and beans). Field inquiries indicated that low productivity agricultural land is being  
 232 abandoned; lower use pressure on slopes has positive environmental implications.  
 233 Abandoned land (for up to 25 years) has seen the establishment of subtropical scrub-

Table 4  
 Land cover and land use in Cuitzeo's Basin (1975 and 2000)

Cover/use	1975		2000	
	ha	%	ha	%
Forest	67,071	16.7	78,544	19.6
Scrubland	74,554	18.6	94,956	23.7
Grassland	29,232	7.3	25,268	6.3
Rain-fed agricultural land	117,396	29.3	74,385	18.5
Irrigated agricultural land	56,794	14.2	62,313	15.5
Forest plantations	899	0.2	4246	1.1
Orchards	1672	0.4	2935	0.7
Aquatic vegetation	5879	1.5	5720	1.4
Lake	37,667	9.4	30,162	7.5
Embankments	1206	0.3	1782	0.4
Human settlements	8208	2.0	19,416	4.8
Eroded areas	666	0.2	1517	0.4

The category "lake" involves the water body and the flooding areas. In 1975, 22.3% of the aquatic vegetation corresponded to that surrounding the Cuitzeo lake, while in 2000 the proportion raised to 95%.

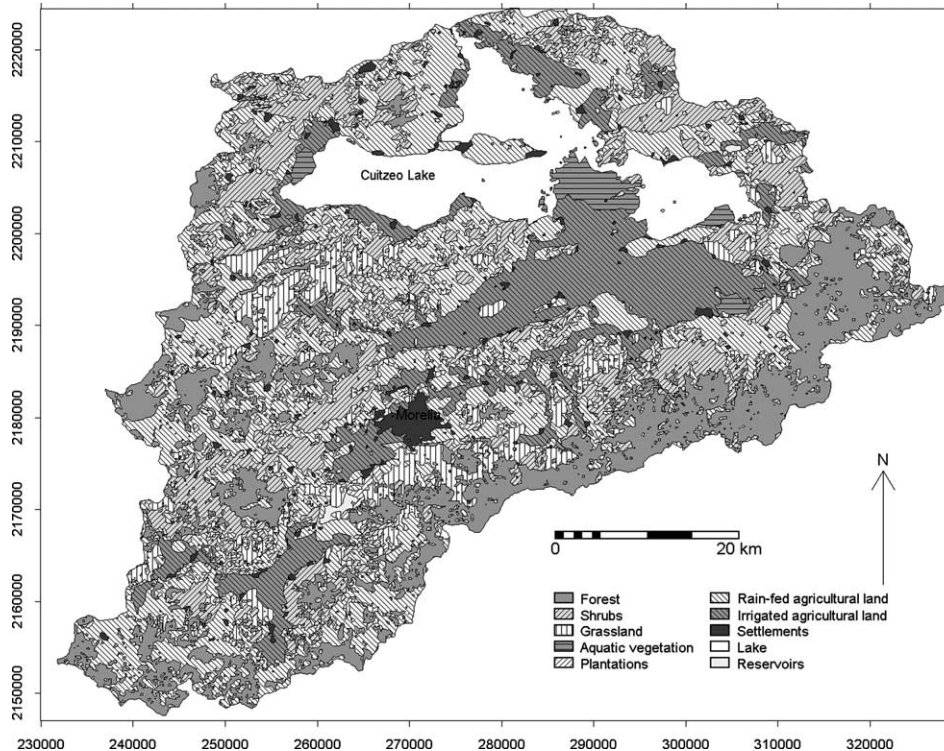


Fig. 2. Land cover and use in the study basin (1975).

234 land through plant succession. Rzedowski and Rzedowski (1987) define subtropical  
 235 scrubland as a relatively stable phase succeeding the degradation of the tropical  
 236 deciduous forest that existed in the study area prior to human intervention.

237 Abandonment of rain-fed land has been documented (for small areas) elsewhere  
 238 in the region (Klooster, 2002). Land hoarding by transnational migrants has resulted  
 239 in the abandonment of productive land elsewhere (López Castro, 1986). In recent  
 240 years, relatively unproductive land is being abandoned. This is land that must be  
 241 cleared of stones for tillage. *Despedreo* (literally, removing stones) has been practiced  
 242 since pre-colonial times in this and similar areas. The aforementioned situation,  
 243 together with a weak rural development government policy during the last decades,  
 244 has prompted peasants to migrate to urban areas and abroad in the search for a bet-  
 245 ter life. This has additionally diminished use pressure in forest located in the upper  
 246 portions of the basin, which is suitable for timber and resin extraction.

### 247 3.3. Land-cover conversion and emigration relationship

248 Municipalities with the highest percentage of scrubland in 1975 and 2000 were  
 249 Huandacareo, Morelos, Acambaro, Salvatierra, Yuriria, Uriangato and Chucandiro

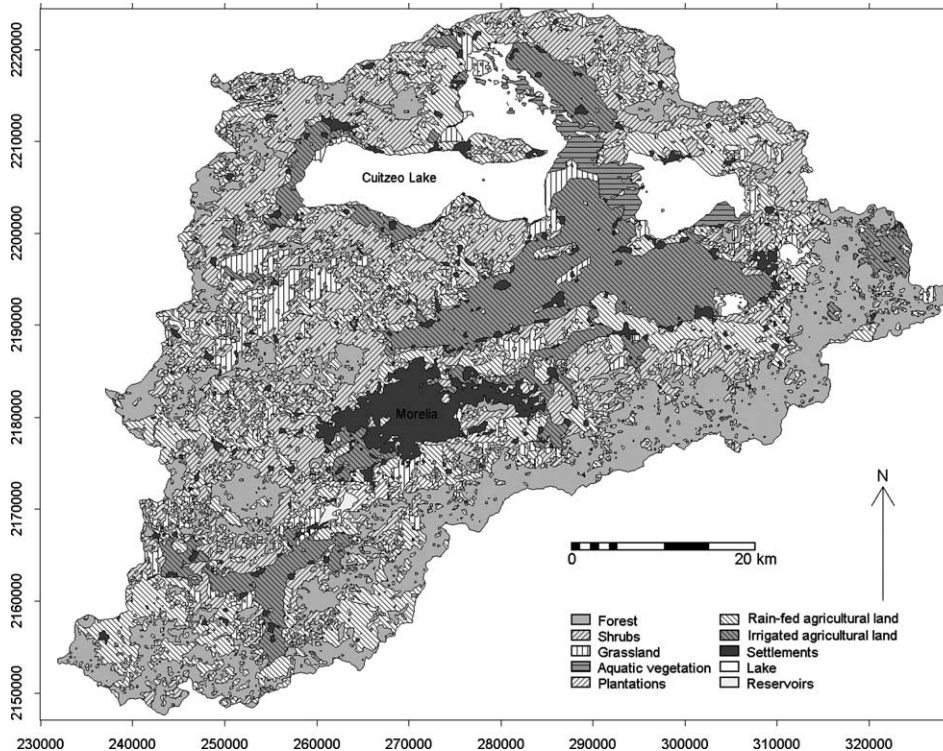


Fig. 3. Land cover and use in the study basin (2000).

250 (Fig. 4). Population in these municipalities, the poorest in the basin (INEGI, 2002),  
 251 was reduced through migration during the study period (Table 1). Differences among  
 252 municipalities seem to be explained by contrasting relief and soil conditions, as well  
 253 as by population and economic activities.

254 The rates of change in association of migration and scrubland area follows four  
 255 main patterns (Fig. 5). The Morelia municipality (which includes the City of Mor-  
 256 elia, the major population attractor in the basin) experienced increases in both pop-  
 257 ulation and scrubland cover. The urban population in the municipality  
 258 (concentrated in the City of Morelia) jumped from 79% in 1970 to 92% in 2000; both  
 259 figures are far above the national average (INEGI, 2004).

260 A significant correlation between population loss and scrubland cover was  
 261 observed in the municipalities of Patzcuaro, Copandaro, Cuitzeo, Quiroga, Hidalgo,  
 262 Yuriria, Uriangato and Salvatierra. This is the most typical pattern in the basin. As  
 263 already stated, agricultural land is abandoned in areas of low productive, shallow  
 264 soils with a high labour demand.

265 The third pattern includes municipalities showing high emigration and loss of  
 266 scrubland cover (Indaparapeo, Acuitzio, and Lagunillas). Here, at least 50% of  
 267 the land is flat or almost flat, under highly productive irrigated agriculture. The rest

12

*E. López et al. / Agricultural Systems xxx (2005) xxx–xxx*

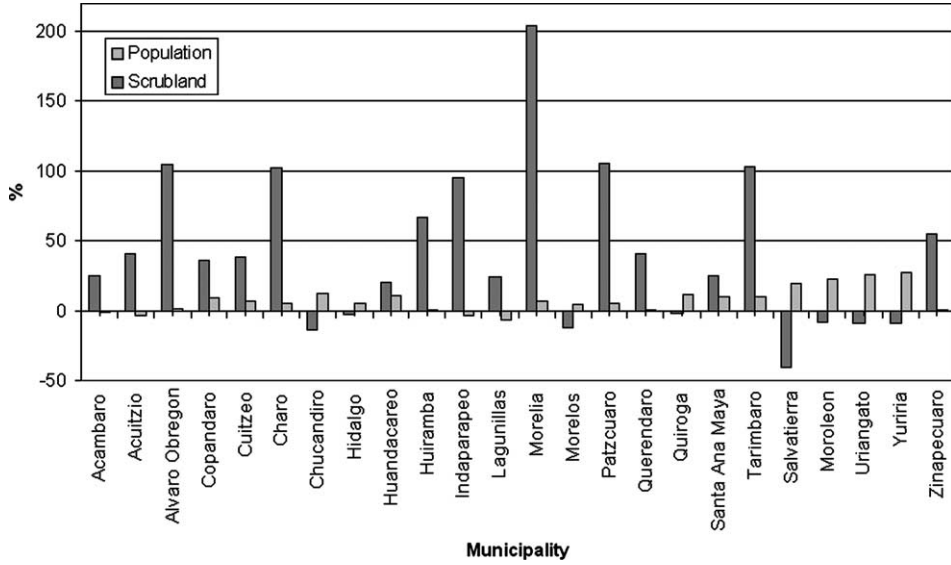


Fig. 4. Population change and change in scrubland area, per municipality (1975–2000).

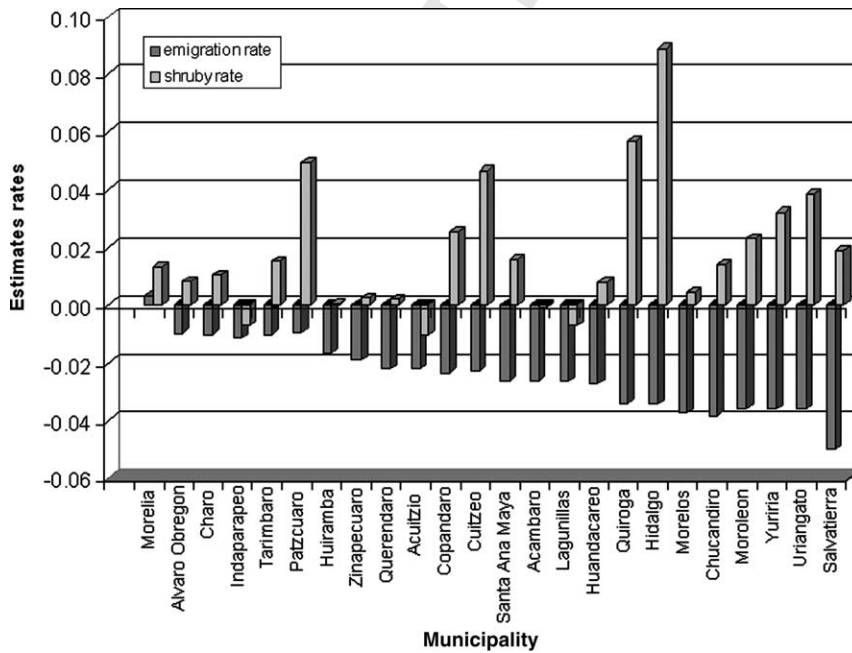


Fig. 5. Emigration rate and rate of change of scrubland area per municipality (1975–2000).

268 of the area corresponds to hill-land, where forest recovery processes occurred, prob-  
269 ably associated to a decrease in the misuse of this resource.

270 The fourth pattern involves municipalities experiencing no drastic changes in emi-  
271 gration or scrubland cover (e.g., Zinapécuaro and Querendaro). Here, orchards have  
272 replaced rain-fed agriculture, allowing peasants to perform a variety of economic  
273 activities, such as home-made jellies and liquors, providing their families with rela-  
274 tively higher incomes.

275 A significant inverse correlation between population and scrubland area (Spear-  
276 man Rank Order Correlation Coefficient  $r_s = -0.51$  ( $\alpha = 0.05$ ), with a critical value  
277 ( $r_s^*$ ) of 0.3435) rejects the null hypothesis in favor of the alternative.

#### 278 3.4. Land-cover conversion within a macro-regional context

279 The association of migration and abandonment of rain-fed land in nearby states  
280 was studied using data from INEGI and the National Forest Inventory (Mas et al.,  
281 2002). As already stated, these states experience strong migration to the USA. In  
282 most states there was a decline in rain-fed agricultural land (Fig. 6); Jalisco shows  
283 the most important relative decrease. On the other hand, the states of Michoacan  
284 and Nayarit experienced a modest increase in the rain-fed land within the error mar-  
285 gin of National Forest Inventory (Mas et al., 2002).

286 Migratory movements within the Cuitzeo Basin are also reflected in the growth of  
287 its settlements (Fig. 7). The extension of the urban and rural settlements in the  
288 research area, augmented by almost 350% in the last 25 years. RUS increased in  
289 258%, while USt did in 293%. This pattern is in agreement with the increase of the  
290 scrubland at the expense of rain-fed agricultural land. In 1975, most of the settlements

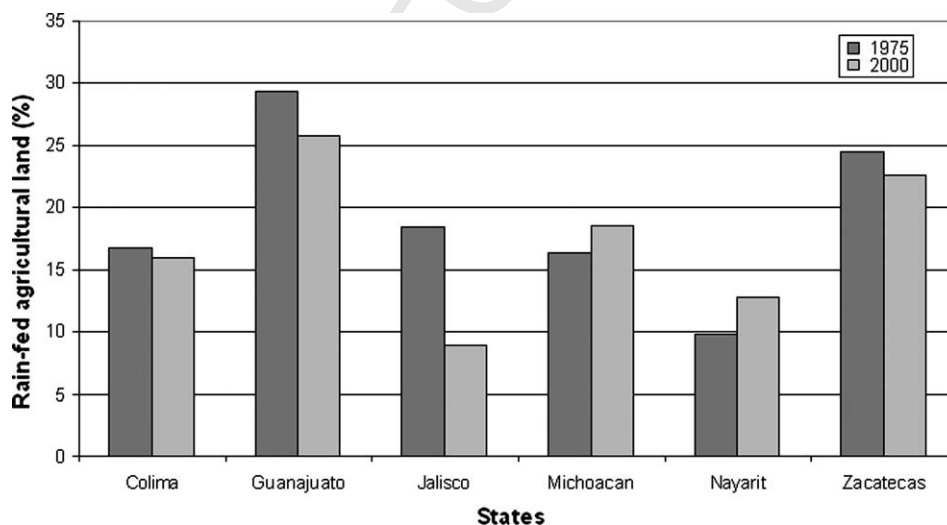


Fig. 6. Change in rain-fed agricultural land at state level in Central Mexico.



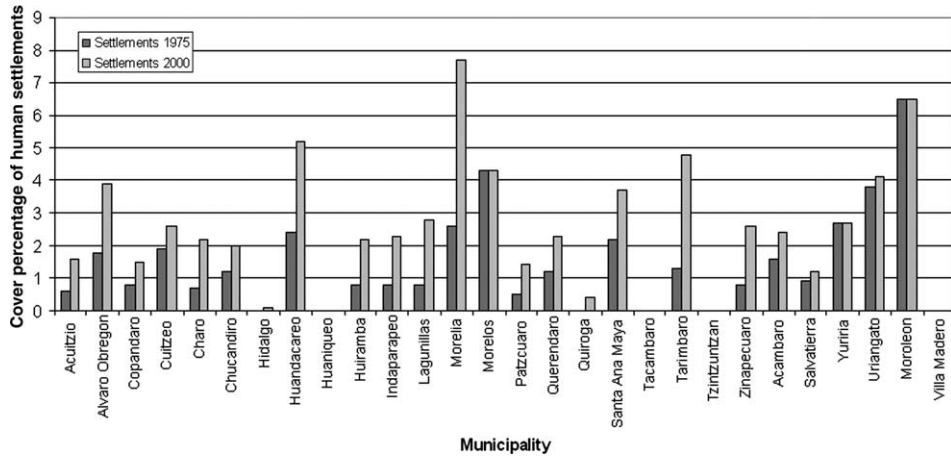


Fig. 7. Area covered by human settlements, as a percentage of total municipality area.

291 were located on hill-lands; in the last 25 years, however, the growth of localities, both  
 292 in number and surface, has occurred in flat or almost flat areas, resulting in the loss of  
 293 soils of high agricultural quality agricultural. Human settlement over agricultural  
 294 land is occurring across Mexico (SEDESOL, 1994). In general, the growth of human  
 295 settlements in the study basin is larger than that of population; in 1975, the popula-  
 296 tion density in USt was higher than in 2000. The surface area of some human settle-  
 297 ments has expanded in spite of the decrease in their population; this can be explained  
 298 by the construction of houses by international emigrants, a fact considered as both an  
 299 investment and a living place after retirement (López Castro, 1986).

#### 300 4. Conclusions

301 Land cover and land use change patterns were quantified for a fairly large area  
 302 (4000 km<sup>2</sup>) using detailed image interpretation and subsequent analyses. These pat-  
 303 terns had previously been studied in relatively small areas (Klooster, 2002). Remote  
 304 sensing, statistical analyses and GIS coupled to a landscape-basin perspective have  
 305 thus proved suitable for regional appraisals.

306 In the study area, the total population and that inhabiting urban settlements  
 307 exhibited positive growth rates. As opposed, the rural population presented lower  
 308 growth rates and, in some municipalities, it decreased during the study period. This  
 309 process has influenced LUCC. Expansion of scrubland areas at the expense of rain-  
 310 fed land is due largely to abandonment of poor quality soils. This has had a benefi-  
 311 cial side-effect on environmental conditions in the watershed. Scrubland provides a  
 312 more protective cover against rainfall than annual crops. Water infiltration in soils  
 313 and eventually in subsurface water bodies is enhanced; water erosion, fluvial trans-  
 314 port and sedimentation in the lake is reduced. This fact is supported by the (modest)  
 315 increase in forest cover.

### 316 Acknowledgements

317 Research was funded by the National Council for Science through a Ph.D. grant  
 318 to the first author. We thank Dr. George Dyer and two anonymous reviewers for  
 319 constructive comments on an early version of the manuscript. We also thank Gabri-  
 320 ela Cuevas for technical support.

### 321 References

- 322 Aide, T.M., Grau, H.R., 2004. Globalization, migration, and Latin American ecosystems. *Science* 305,  
 323 1915–1916.
- 324 CONAPO, 1996. Situación Demográfica del Estado de Michoacán. Consejo Nacional de Población,  
 325 México.
- 326 CONAPO, 2003. Migración Internacional. Available from: <<http://www.conapo.gob.mx>>..
- 327 De Jong, B.H.J., Ochoa-Gaona, S., Castillo-Santiago, M.A., Ramírez-Marcial, N., Cairns, M.A., 2002.  
 328 Carbon flux and patterns of land-use/land-cover change in the Selva Lacandona, Mexico. *Ambio* 29,  
 329 504–511.
- 330 DGE, 1970. IX Censo General de Población 1970, Estado de Michoacán. Dirección General de  
 331 Estadística, México.
- 332 Durand, J., Massey, D.S., 2003. *Clandestinos. Migración México-Estados Unidos en los albores del siglo*  
 333 *XXI*. Universidad Nacional Autónoma de Zacatecas..
- 334 Gamio, M., 1930. Número, procedencia y distribución geográfica de los inmigrantes mexicanos en Estados  
 335 Unidos. In: Durand, J. (Comp.), 1991. *Migración México-Estados Unidos. Años Veinte*. Consejo  
 336 Nacional para la Cultura y las Artes, México, pp. 19–31.
- 337 Guémez García, G., 2005. Remittances and development: the case of Mexico. International Forum on  
 338 Remittances IDB Headquarters, Washington, DC. Available from: <<http://www.iadb.org>>.
- 339 Henry, S., Boyle, P., Lambin, E.F., 2003. Modelling inter-provincial migration in Burkina Faso, West  
 340 Africa: the role of sociodemographic and environmental factors. *Applied Geography* 23, 115–136.
- 341 INEGI, 2001. Anuario Estadístico, Michoacán de Ocampo. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e  
 342 Informática, Aguascalientes.
- 343 INEGI, 2002. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Available from: <<http://www.inegi.gob.mx>>.
- 344 INEGI, 2004. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Available from: <<http://www.inegi.gob.mx>>.
- 345 Jokish, B., 2002. Migration and agricultural change: the case of smallholder agriculture in Highland  
 346 Ecuador. *Human Ecology* 30, 523–550.
- 349 Kalacska, M., Sánchez-Azofeifa, G.A., Calvo-Alvarado, J.C., Quesada, M., Rivard, B., Janzen, D.H.,  
 350 2004. Species composition, similarity and diversity in three successional stages of a seasonally dry  
 351 tropical forest. *Forest Ecology and Management* 200, 227–247.
- 352 Klooster, D., 2000. Beyond deforestation: the social context of forest change in two indigenous  
 353 communities in Highland Mexico. Yearbook, Conference of Latin Americanist Geographers Journal  
 354 of Latin American Geography 26, 47–59.
- 355 Klooster, D., 2002. Toward adaptive community forest management: integrating local forest knowledge  
 356 with scientific forestry. *Economic Geography* 78, 43–70.
- 357 Klooster, D., 2003. Regional forest transitions in Highland Mexico? The importance of local institutions  
 358 in a globalized countryside. *Professional Geographer* 55, 227–327.
- 359 Lambin, E.F., Rounsevell, M., Geist, H., 2000. Are current agricultural land use models able to predict  
 360 changes in land use intensity?. *Agriculture Ecosystems & Environment* 1653 1–11.
- 361 Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., Coomes, O.T., Dirzo,  
 362 R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran,  
 363 E.F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G.D.,

- 364 Svedin, Veldkamp, T.A., Vogel, C., Xu, J., 2001. The causes of land-use and land-cover change:  
365 moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11, 261–269.
- 366 Levine, D.B., Hill, K., Warren, R., 1985. *Immigration Statistics: A Story of Neglect*. National Academy  
367 Press, Washington, DC.
- 368 López Castro, G., 1986. *La Casa Dividida. Un Estudio de Caso Sobre la Migración a Estados Unidos en*  
369 *un Pueblo Michoacano*. El Colegio de Michoacán, Zamora.
- 370 López, E., Bocco, G., Mendoza, M., Duhau, E., 2001. Predicting land-cover and land-use change  
371 in the urban fringe. A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning* 55, 271–  
372 285.
- 373 Mas, J.F., Velázquez, A., Palacio, J.L., Bocco, G., Peralta, A., Prado, J., 2002. Assessing forest resources  
374 in Mexico: wall-to-wall land use/cover mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*  
375 68, 966–968.
- 376 Mas, J.F., Velázquez, A., Reyes Díaz-Gallegos, J., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, C., Bocco, G.,  
377 Castro, R., Fernández, T., Pérez-Vega, A., 2004. Assessing land use/cover changes: a nationwide  
378 multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and*  
379 *Geoinformation* 5, 249–261.
- 380 Massey, D.S., 1985. The settlement process among Mexican migrants to the United States: new methods  
381 and findings. In: Levine, D.B., Hill, K., Warren, R. (Eds.), *Immigration Statistics: A Story of Neglect*.  
382 National Academy Press, Washington, DC, pp. 255–292.
- 383 Massey, D.S., Duran, J., Malone, N.J., 2002. *Beyond Smoke and Mirrors: Mexican Immigration*. Russell  
384 Sage Foundation, New York.
- 385 McCullough, D., Moore, K., 1995. Issues and methodologies in integrating aerial photography and digital  
386 base maps. *Geo Info Systems* 5, 46–48.
- 387 Quetier, F., Marty, P., Lepart, J., 2005. Farmers-management strategies and land use in an agropastoral  
388 landscape: roquefort cheese production rules as a driver of change. *Agricultural Systems* 84, 171–  
389 193.
- 390 Ramankutty, N., Foley, J.A., 1999. Estimating historical changes in land cover: North American  
391 croplands from 1850 to 1992. *Global Ecology & Biogeography* 8, 381–396.
- 392 Reid, R.S., Kruska, R.L., Muthui, N., Taye, A., Wotton, S., Wilson, C.J., Mulatu, W., 2000. Land-use  
393 and land-cover dynamics in response to change in climatic, biological and socio-political forces: the  
394 case of southwestern Ethiopia. *Landscape Ecology* 15, 339–355.
- 395 Rindfuss, R.R., Stern, P.C., 1998. Linking remote sensing and social science: the need and challenges. In:  
396 Liverman, D., Moran, E.F., Rindfuss, R.R., Stern, P.C. (Eds.), *People and Pixels, Linking Remote*  
397 *Sensing and Social Science*. National Research Council, pp. 1–27.
- 398 Rudel, T.K., Bates, D., Machinguiashi, R., 2002. A tropical forest transition? Agricultural change, out  
399 migration, and secondary forests in the Ecuadorian Amazon. *Annals of the Association of American*  
400 *Geographers* 92, 87–102.
- 401 Rzedowski, J., Rzedowski, G.C., 1987. El bosque tropical caducifolio de la región mexicana del Bajío.  
402 *Trace* 12, 12–21.
- 403 SEDESOL, 1994. *Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al*  
404 *Ambiente 1993–1994*. Secretaría de Desarrollo Social, Mexico.
- 405 Sin Fronteras, 2002. *Migración y refugio*. Available from: <<http://www.sinfronteras.org.mx>>.
- 406 Stéphenne, N., Lambin, E.F., 2001. A dynamic simulation model of land-use changes in Sudano-sahelian  
407 countries of Africa (SALU). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 85, 145–161.
- 408 Tuirán, R., Fuentes, C., Ávila, J.L., 2002. *Índice de Intensidad Migratoria México – Estados Unidos,*  
409 *2000*. Consejo Nacional de Población, México.
- 410 Veldkamp, A., Fresco, L.O., 1997. Reconstructing land use drivers and their spatial scale dependence for  
411 Costa Rica (1973 and 1984). *Agricultural Systems* 55, 19–43.
- 412 Veldkamp, A., Lambin, E.F., 2001. Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*  
413 85, 1–6.
- 414 Veldkamp, A., Verburg, P.H., 2004. Modelling land use change and environmental impact. *Journal of*  
415 *Environmental Management* 72, 1–3.

- 416 Verburg, P.H., Veldkamp, A., Fresco, L.O., 1999. Simulation of changes in the spatial pattern of land use  
417 in China. *Applied Geography* 19, 211–233.
- 418 Xu, W., Tan, K.C., 2002. Impact of reform and economic restructuring on rural systems in China: a case  
419 study of Yuhang, Zhejiang. *Journal of Rural Studies* 18, 65–81.
- 420 Zak, M.R., Cabido, M., Hodgson, J.G., 2004. Do subtropical seasonal forests in the Gran Chaco,  
421 Argentina, have a future?. *Biological Conservation* 120 589–598.
- 422 Zar, J.H., 1996. *Biostatistical Analysis*. Prentice May, New Jersey.
- 423

UNCORRECTED PROOF

## Crecimiento urbano y sus consecuencias a nivel regional en la cuenca del lago de Cuitzeo, México\*

---

### Resumen

En años recientes, las actividades humanas han sido reconocidas como la mayor fuerza modeladora de la biosfera y son aún más responsables que las fuerzas naturales por la mayoría de los cambios contemporáneos en los flujos y estados de la biosfera.

Los cambios en la cobertura y uso del suelo son resultado de una compleja interacción entre el ser humano y el medio biofísico. Estos cambios actúan sobre un amplio rango de escalas espaciales y temporales y su comprensión, así como la de las fuerzas sociales que los manejan son un tema de crucial importancia para entender, modelar y predecir el cambio del ambiente local, regional y global, con el fin de responder a este cambio.

En el presente capítulo se estudia el crecimiento de las localidades urbanas (mayores de 2.500 habitantes) ubicadas dentro de la cuenca del lago de Cuitzeo, lugar considerado como un sitio de preservación y estudio por diferentes organismos internacionales.

Este trabajo se basa en el uso intensivo de fotografías aéreas correspondientes a los años de 1975 y 2000, así como también en el uso de Sistemas de Información Geográfica. El estudio concluye que la población en la cuenca es predominantemente urbana y tiende a concentrarse en los 26 asentamientos urbanos que existen en la zona, principalmente en la Ciudad de Morelia, capital del estado de Michoacán y que en los últimos años ha tenido un crecimiento superior al 600% en el tamaño de la mancha urbana.

Los principales problemas que existen en la zona son la falta de planeación del crecimiento urbano de todas las ciudades ubicadas en la cuenca, el aumento del consumo de agua por parte de la población y los cultivos de riego (62%) y la falta de plantas de tratamiento de las aguas residuales.

---

\* López, E., Mendoza, M.E., Bocco, G. y Acosta, A., (en prensa). Crecimiento urbano y sus consecuencias a nivel regional en la cuenca del lago de Cuitzeo, México. En: Sánchez, R. (Coordinador), (en prensa). Urbanización y cambios globales en el ambiente en América Latina. Retos y oportunidades para el desarrollo en el siglo XXI. Interamerican Institute (IAI) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Existirán versiones del libro en idioma español e inglés.

El agua que recibe el lago de Cuitzeo proviene de las aguas residuales de la ciudad de Morelia y de las aguas de riego de los campos de cultivo que lo rodean, lo que ha ocasionado el crecimiento desmedido de la vegetación presente en el cuerpo de agua y la desecación anual de una parte del lago (el cual ocupa el segundo lugar en extensión en México).

## **Introducción**

Los cambios inducidos en el paisaje y los ecosistemas a causa de la actividad humana, suelen tener tal relevancia que, aun a escala global, afectan de forma significativa aspectos claves del funcionamiento de los sistemas terrestres (Lambin, *et al.* 2001), porque pueden contribuir al cambio climático local y regional, así como al calentamiento global (Houghton, *et al.* 1999). En particular, muchos de los cambios son la fuente primaria de la degradación de los suelos (Tolba, *et al.* 1992). Al alterar los servicios de los ecosistemas, su capacidad aportar a la satisfacción de las necesidades humanas, aún a las más básicas, comienza a verse comprometida (Vitousek, *et al.* 1997). Cada cambio también determina, en parte, la vulnerabilidad de los lugares y las personas a las perturbaciones climáticas, económicas y socio-políticas (Kasperson, *et al.* 1995).

Los factores que producen el cambio de cobertura y uso del terreno (CCUT), así como las consecuencias del mismo, se encuentran conformados por variables socioeconómicas y ambientales. Sin embargo, no existen suficientes análisis cuantitativos sobre la importancia relativa de estos elementos con el CCUT, ya que interpretaciones de cómo estos factores interactúan para estimular el cambio varían ampliamente de una región a otra (Skole, *et al.* 1994; Kummer y Turner II, 1994). De esta manera, el impacto potencial del CCUT en el ambiente físico y social ha estimulado la investigación de sus principales causas y efectos (Veldkamp y Verburg, 2004).

Las transformaciones de los sistemas naturales realizadas por el ser humano son propias de la aparición del hombre como especie dominante. Tradicionalmente ha existido una tendencia a presuponer que el progreso social y económico se encuentra invariablemente asociado con el incremento de la urbanización y el rol ascendente de las ciudades en el proceso de desarrollo (Juppenlatz, 1990). Ahora, como una increíble paradoja, algunos de los logros realizados con base en el desarrollo científico y tecnológico con la intención de mejorar las condiciones de vida, se presentan como una amenaza para el planeta que habitamos y para el equilibrio de los ecosistemas.

De acuerdo con Grübler (1994), la proporción que ocupan los asentamientos urbanos en el planeta es menos del 2%; sin embargo, la población que habita en ellos requiere de infinitud de recursos para subsistir, y son los principales causantes de la degradación de bosques, tierras de cultivo, pastizales y áreas rurales, en donde la huella ecológica de la población urbana es crítica para evaluar los cambios que ocurren en la superficie terrestre.

En la actualidad, una forma de delimitar espacialmente y analizar el crecimiento de los asentamientos humanos es por medio de la percepción remota (PR) y los sistemas de información geográfica (SIG).

En este trabajo se analiza el cambio de cobertura vegetal y uso del terreno en los asentamientos urbanos ubicados en la cuenca de Cuitzeo, durante el periodo comprendido entre 1975 y 2000.

#### Área de estudio

La cuenca cerrada del lago de Cuitzeo comprende alrededor de 4.000 Km<sup>2</sup>, se localiza en la parte norte del estado de Michoacán de Ocampo, entre los 19°30' y los 20°05' de latitud norte y los 101°35' y los 101°30' de longitud oeste. Se ubica dentro de la provincia fisiográfica del Sistema Volcánico Transversal. Los principales tipos de suelo que existen en la zona de estudio son los Vertisoles, Luvisoles y Andosoles. La cuenca está conformada por colinas, lomeríos altos y planicies desarrolladas sobre materiales volcánicos de composición intermedia a básica y sedimentos lacustres que van del Mioceno al Reciente (Mendoza, 2002; Pasquarè, *et al* 1991).

El lago de Cuitzeo, tiene una extensión aproximada de 300 km<sup>2</sup>. La importancia de la cuenca radica en que este lago es el humedal continental más grande del país, con presencia de cientos de aves migratorias cada año. Se localiza en una altiplanicie a casi 2000 m.s.n.m. Es somero, salobre y está afectado por procesos de degradación derivados de actividades antrópicas.

La precipitación se incrementa desde el norte hacia el sur, mientras que la temperatura asciende desde el sur hacia el norte. La distribución espacial de estos parámetros indica

que el área de estudio se ubica en una zona transicional, entre los climas templado-secos a los templado-húmedos.

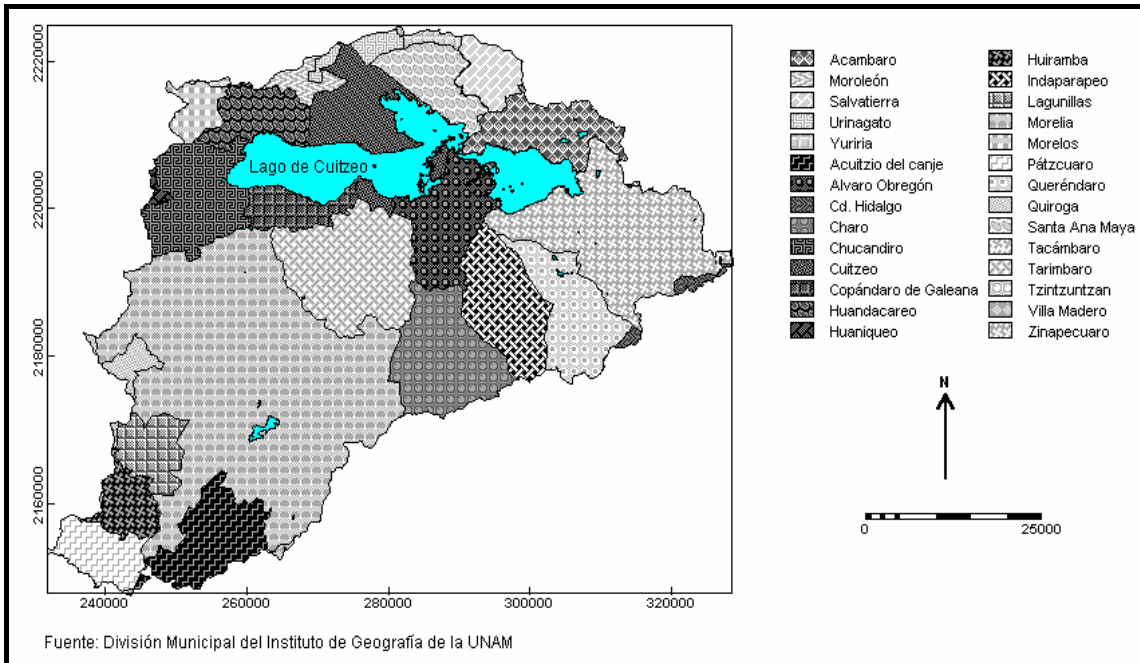


Figura 1. Mapa de municipios que se localizan en la cuenca del lago de Cuitzeo.

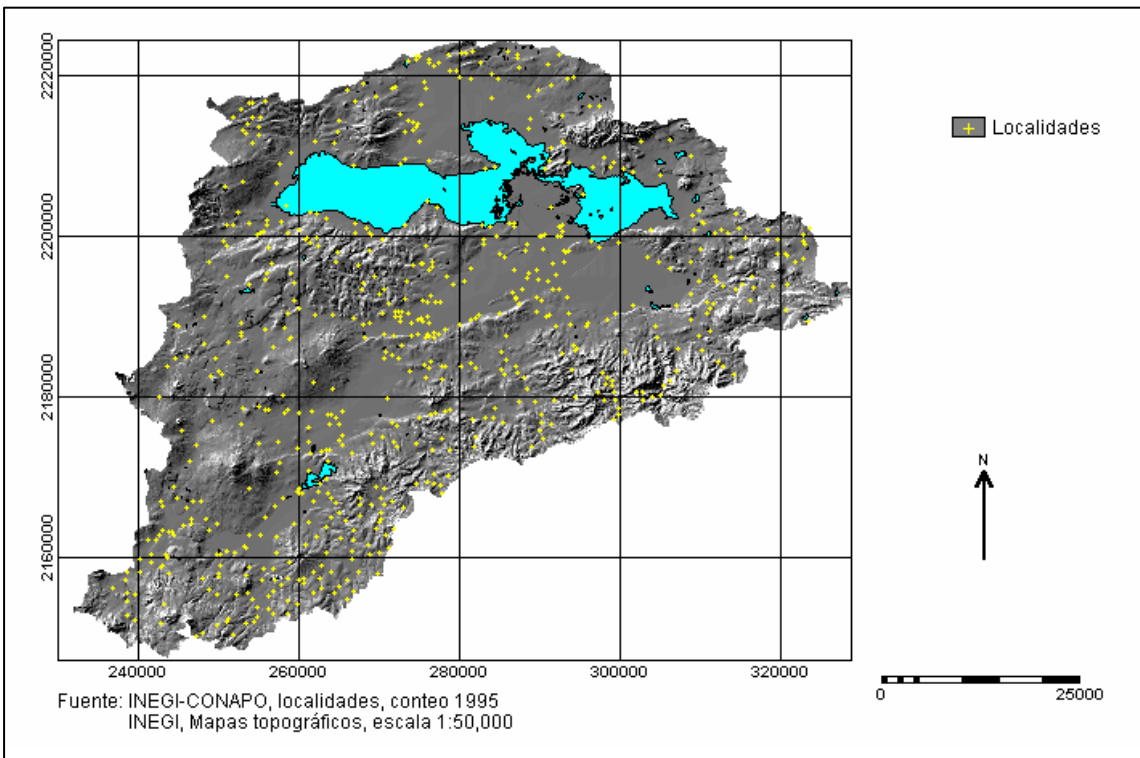


Figura 2. Distribución de los asentamientos humanos en la cuenca de Cuitzeo.



La cuenca está conformada por 28 municipios (figura 1), en los cuales en el año de 1970 existían 392 asentamientos humanos y en el año 2000 eran 687 localidades (INEGI, 2000) (figura 2, cuadro2). La población de la cuenca en el año de 1970 era de 380.787 habitantes (16.4% de la población estatal) y en el año 2000 era de 837.773 habitantes (21.6% de la población estatal).

Las principales actividades económicas que se desarrollaban en la zona de estudio en 1975 eran principalmente agropecuarias con cultivo de granos y producción de animales (en promedio el 88% de la población económicamente activa se dedicaba a realizar actividades primarias). En el año 2000 únicamente el 30% de la población económicamente activa se mantenía en el sector primario y el resto se dedicaba a actividades secundarias y terciarias (INEGI 1970, 2000).

Cuadro 1. Número de asentamientos humanos por municipio en la cuenca de Cuitzeo.

Municipio	No. de localidades Rurales		No. de localidades urbanas	
	1970	2000	1970	2000
Acámbaro	9	13	1	1
Acuitzio	20	34	1	1
Álvaro Obregón	20	42	1	1
Copándaro	11	14	1	1
Cuitzeo	15	19	1	3
Charo	17	37	1	1
Chucándiro	20	20	0	0
Hidalgo	1	2	0	0
Huandacareo	6	7	1	1
Huaniqueo	0	0	0	0
Huiramba	11	7	0	1
Indaparapeo	15	34	1	2
Lagunillas	8	14	0	0
Madero	0	1	0	0
Morelia	101	216	1	4
Morelos	11	14	0	0
Moroleón	4	5	0	0
Pátzcuaro	3	9	1	1
Queréndaro	14	15	1	1
Quiroga	1	1	0	0
Salvatierra	8	8	0	0
Santa Ana Maya	15	17	1	1
Tacámbaro	0	0	0	0
Tarímbaro	32	61	1	4
Tzintzuntzan	0	0	0	0
Uriangato	7	12	0	0
Yuriria	2	4	0	0
Zinapécuaro	25	47	2	4

Fuente: elaborado a partir de INEGI (1970 y 2001).

## Métodos

El presente trabajo se basa en la comparación secuencial de fotos aéreas pancromáticas blanco y negro de INEGI (figura 3). La escala aproximada fue de 1:50.000 para el año de 1975 y de 1:37.000 para el año 2000. La escala final de los mapas fue 1:50.000. La interpretación de las fotografías aéreas se realizó utilizando un estereoscopio de espejos.

Los criterios que este análisis aporta, permiten reconocer los elementos a identificar (tamaño, forma, tono, textura y patrón) de acuerdo con la leyenda de cobertura/uso del terreno generada en este trabajo. Las categorías de cobertura vegetal y uso de terreno representan a los bosques abiertos y semiabiertos, bosques cerrados, matorrales y pastizales, plantaciones, cultivo de riego, cultivos de temporal, asentamientos humanos, terrenos baldíos, cuerpos de agua y erosión.

La exactitud de la interpretación se evaluó con una matriz de confusión, y además con el objeto de validar la calidad espacial de la base de datos, se realizó la verificación de polígonos siguiendo la técnica descrita por Bocco y Riemmann (1997),

El material cartográfico necesario para la elaboración de la investigación consistió en las cartas topográficas (1:50.000) y de suelos (1:50.000) de INEGI, así como la geomorfología de Mendoza *et al* (2001). La generación y manipulación de la información espacial se realizó con el programa ILWIS (*Integrated Land and Water Information System*) versiones 1.41 (ILWIS 1990) y 2.23 (ILWIS 1998).

Una vez realizada la fotointerpretación de la cobertura vegetal y del uso del terreno, así como su validación en campo, se procedió a su digitalización en un modelo vectorial dentro del SIG. Posteriormente, los arcos digitalizados se restituyeron automatizadamente dentro del sistema, a fin de generar las bases de datos de los mapas de cobertura de 1975 y 2000.

Finalmente se realizó la sobreposición espacial de las bases de datos de cobertura vegetal y uso del terreno, a fin de reconocer cuáles eran los principales procesos de cambio que ocurrieron en la cuenca en el periodo de estudio.

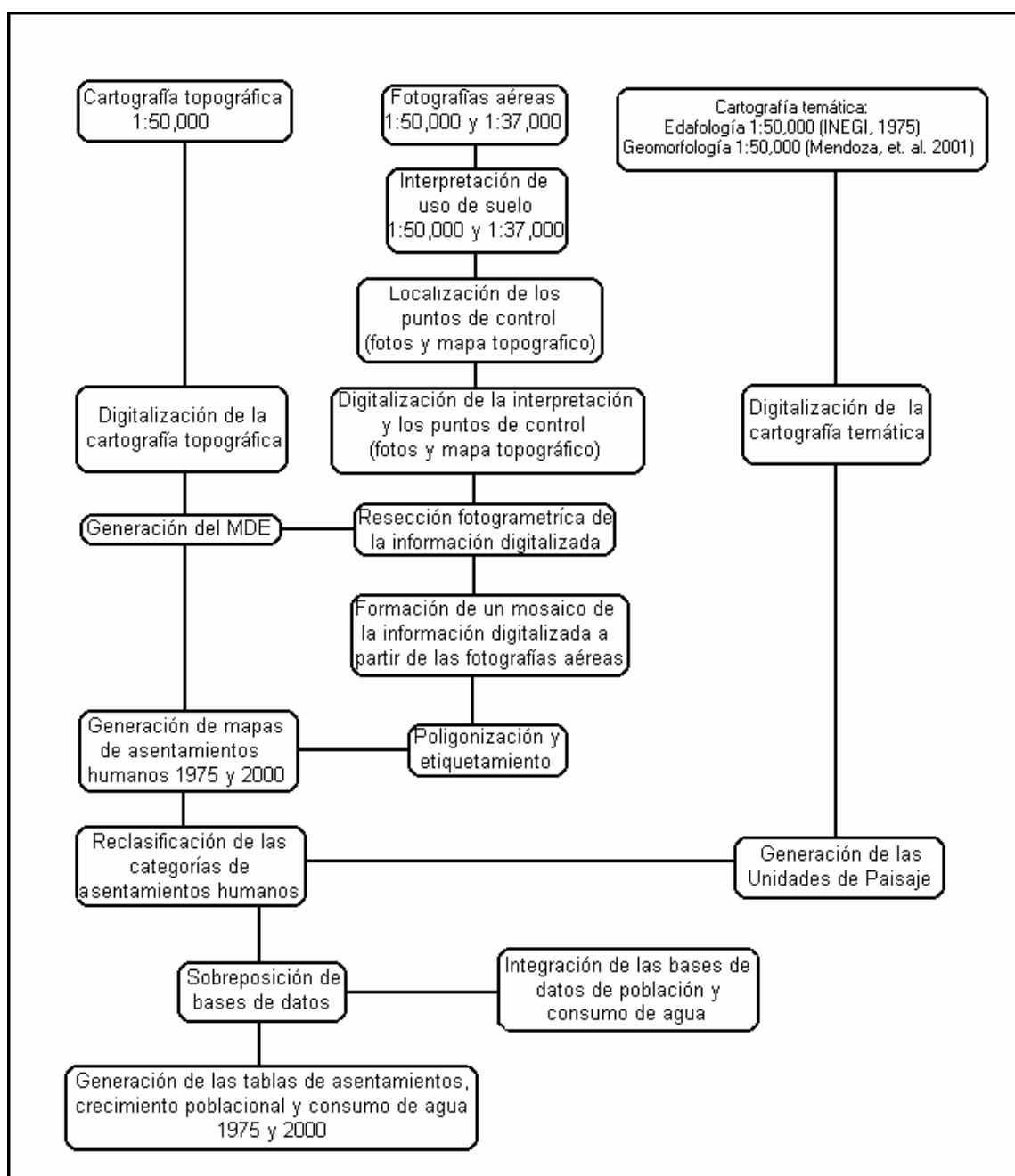


Figura 3. Diagrama del procedimiento utilizado en la investigación.

## Resultados

### Calidad de la base de datos

De acuerdo con la matriz de confusión todas las categorías se encuentran por arriba del valor mínimo de exactitud (90%). La exactitud obtenida es alta debido a que durante las

salidas a campo se etiquetó, al menos, el 30% de los polígonos de cada clase de la interpretación de las fotografías aéreas.

La confiabilidad de la corrección geométrica de la fotointerpretación se localiza dentro del error aceptable para la escala del trabajo (menos de un mm en el papel - 50 m en el terreno). Con relación al nivel de confianza de la base de datos digital (Sensu Bocco y Riemann, 1997) se puede indicar que los muestreos realizados para los años 1975 y 2000, presentaron valores de confianza mayores a 97.

#### Cobertura vegetal y uso del terreno

En el cuadro 2 se observa claramente que las coberturas predominantes por superficie, en orden decreciente, para el año 1975, fueron cultivos de temporal, matorrales, bosques y cultivos de riego; mientras que en el año 2000 fueron matorrales, bosques, cultivos de temporal y cultivos de riego. Proporcionalmente, los asentamientos humanos crecieron al doble, lo que indica una alta tasa de transformación de otras coberturas hacia asentamientos humanos.

La distribución espacial de las coberturas vegetales y usos del terreno para cada año se presenta en las figuras 4 y 5. En ellas se aprecia claramente que la cobertura de bosques templados se localiza en la porción sur de la cuenca, mientras que la cobertura de matorrales se presenta principalmente en la porción centro y norte de la misma. El asentamiento urbano más importante dentro de la cuenca, la ciudad de Morelia, está localizada en la sección central de la zona de estudio.

Cuadro 2. Superficie en hectáreas (ha) y % que ocupan cada clase de cobertura y uso de terreno en la cuenca del Lago de Cuitzeo, en los años 1975 y 2000.

Categorías de cobertura	1975		2000	
	Área (ha)	Porcentaje de cobertura (%)	Área (ha)	Porcentaje de cobertura (%)
Bosque	67.485	16.9	80.390	20.1
Matorrales	74.475	18.6	94.073	23.5
Pastizales	33.743	8.4	27.062	6.8
Cultivos de temporal	117.603	29.4	68.344	17.1
Cultivos de riego	56.794	14.2	64.313	16.1
Plantaciones	897	0.2	3.165	0.8
Vegetación acuática	1.999	0.5	5.718	1.4
Lago	37.685	9.4	32.258	8.1
Bordo	1.225	0.3	1.638	0.4
Asentamientos humanos	8.115	2.0	23.060	5.8

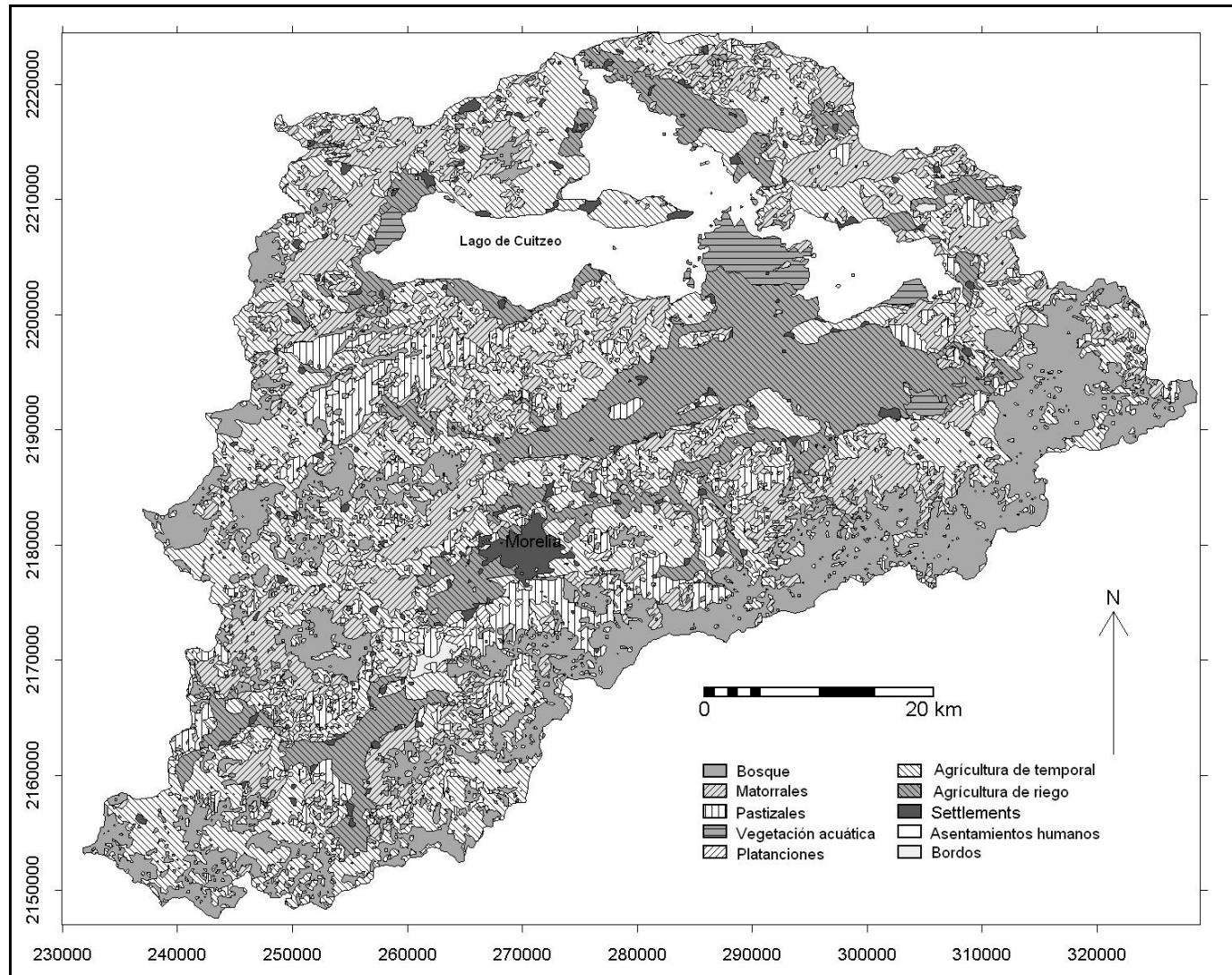


Figura 3. Distribución espacial de la cobertura vegetal y uso del terreno en la cuenca del lago de Cuitzeo en 1975.

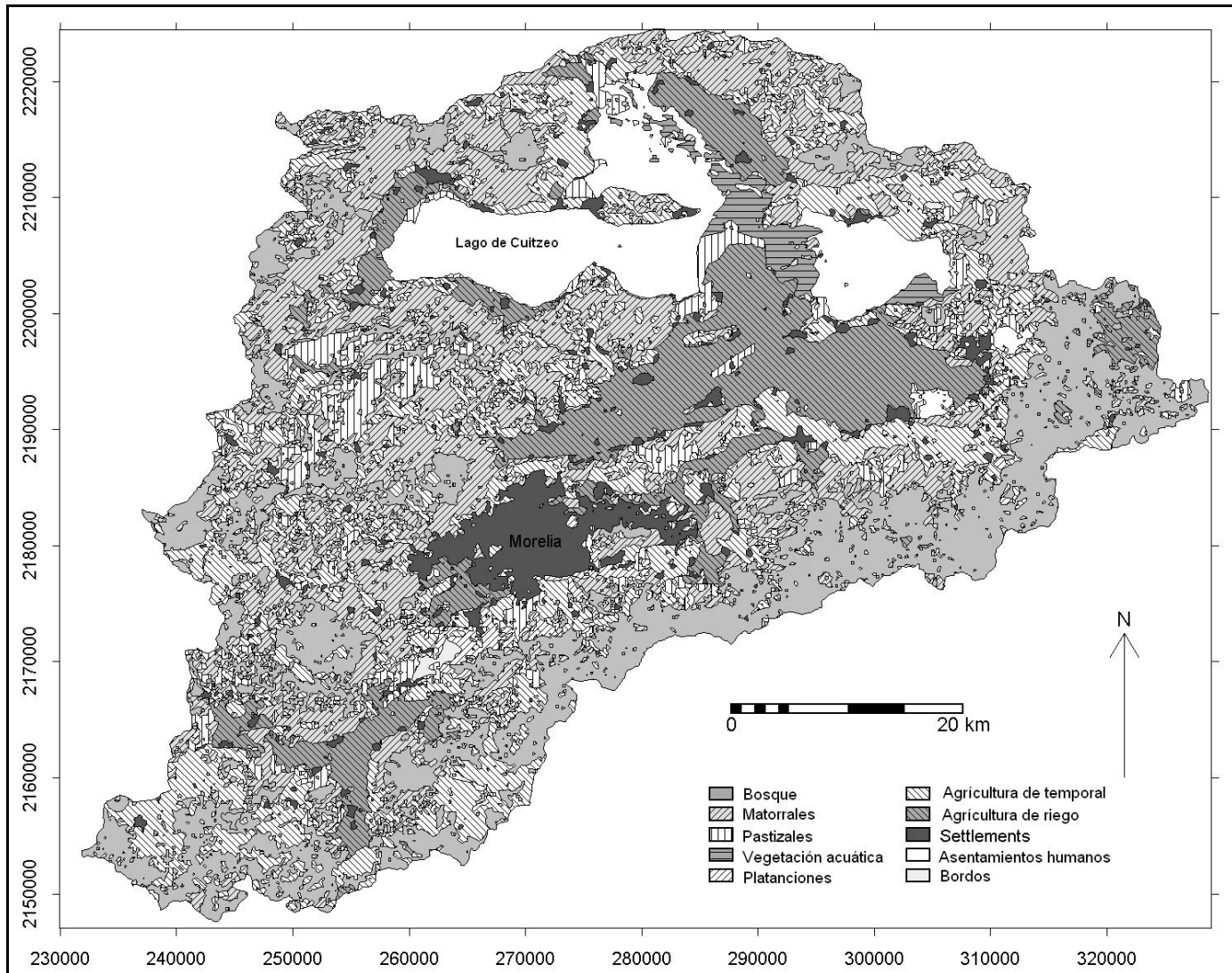


Figura 4. Distribución espacial de la cobertura vegetal y uso del terreno en la cuenca del lago de Cuitzeo en 2000.

### Análisis de cambio de la cobertura vegetal y uso del terreno

El análisis anterior permitió generar un mapa de procesos de cambio predominantes en la cuenca (figura 5) y calcular las superficies de estos cambios (figura 6). Los procesos con mayor distribución corresponden a la matorralización y recuperación del bosque, cada uno de ellos con alrededor del 10 % de superficie en relación con la cuenca; la deforestación (6 %) y la degradación de las coberturas boscosas (2 %), así como la urbanización (4 %) y la reducción de la cobertura del lago (1 %) son los procesos que siguen en importancia relativa en la cuenca. Estos procesos pueden ser vistos como indicadores del estado en el que se encuentra la cuenca.

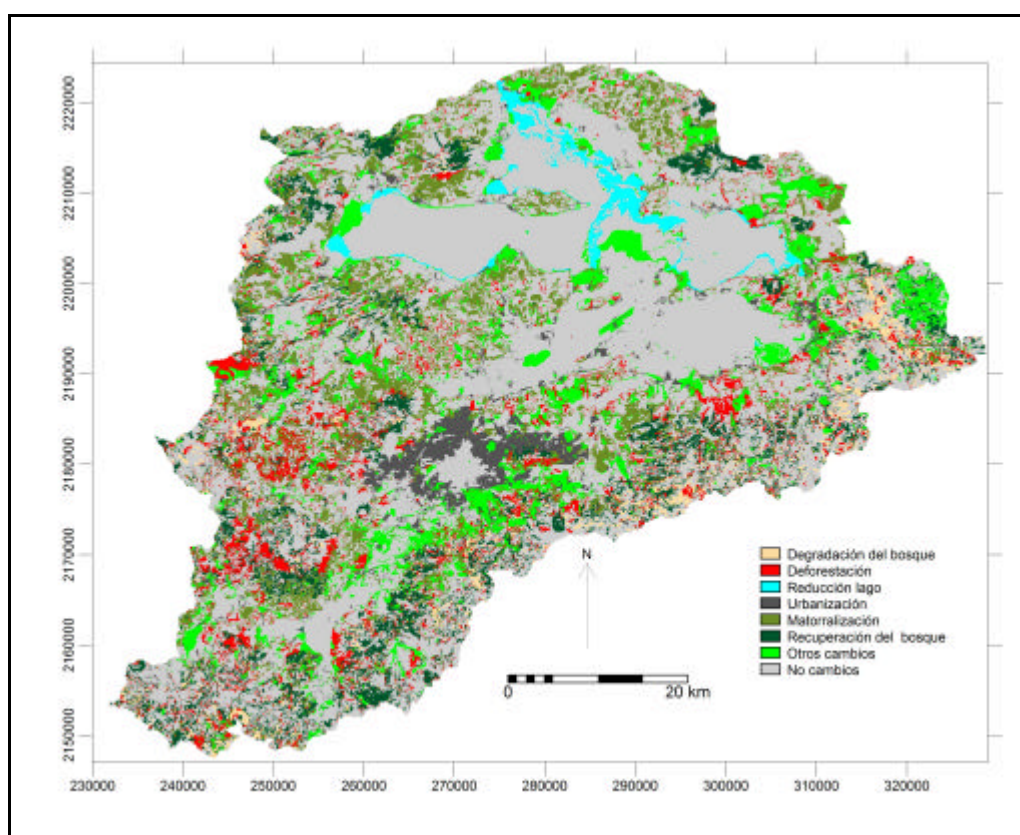


Figura 5. Mapa de procesos de cambio entre 1975 y 2000.

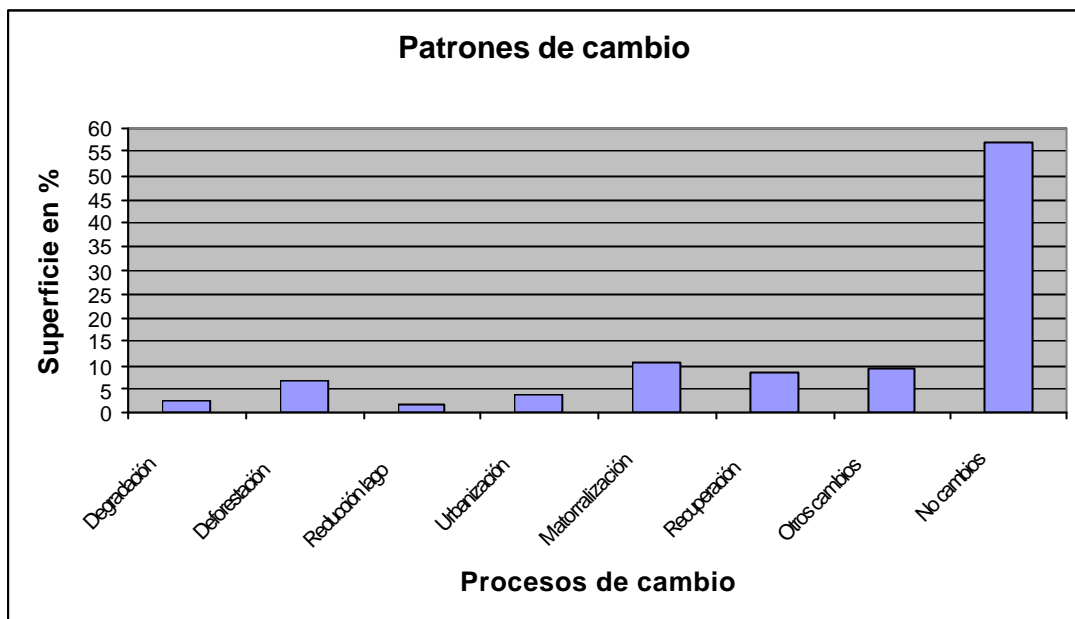


Figura 6. Superficies porcentuales de los principales procesos de cambio en la cuenca de Cuitzeo entre 1975 y 2000.

#### Análisis de cambio en las áreas urbanas

En la cuenca de Cuitzeo se localizaban 392 asentamientos humanos en el año de 1970 y 687 en el año 2000; en ambos casos el 4% del total de los asentamientos eran urbanos (Cuadro 3). Es decir, a pesar de que el número total de asentamientos (urbanos y rurales) creció el 70% entre 1970 y 2000, la relación entre el número de asentamientos rurales y urbanos se mantuvo. En el presente trabajo se estudiaron únicamente 26 asentamientos urbanos, es decir; aquellos con más de 2.500 habitantes.

Es importante resaltar que la distribución de los asentamientos humanos no es totalmente al azar. Una revisión de los mapas de cobertura (en conjunto con el resto de las bases de datos temáticas) permite reconocer que ellos están alineados este-oeste y suroeste-noreste. Esta alineación se debe a que están ubicados en zonas relativamente altas y ligeramente inclinadas.

En primera instancia este patrón obedece a la necesidad de aprovechar las tierras bajas y planas con mejores suelos para la actividad agrícola (distrito de riego Morelia-Queréndaro), además de alejarse de las tierras inundables. Las zonas elevadas e inclinadas están estrechamente asociadas a las características geológicas de la región. En especial, las áreas alineadas con las direcciones mencionadas corresponden a planos de fallas geológicas con algún nivel de actividad.



La ciudad de Morelia es un caso excepcional dentro de la cuenca porque se está expandiendo hacia zonas fuertemente inclinadas (escarpes de falla activos) y zonas inundables. Este patrón de expansión está incrementando el nivel de riesgo y, consecuentemente, la vulnerabilidad de la población de la ciudad ante las amenazas naturales.

Cuadro 3. Superficie de los diferentes asentamientos urbanos en los años de 1975 y 2000.

Asentamientos urbanos	Superficie (Ha)		Crecimiento 1975-2000	
	1975	2000	Ha	%
Acuitzio del Canje	95	103	8	8
Álvaro Obregón	48	199	151	315
Bocaneo	9	47	38	422
Capula	39	72	33	85
Charo	32	87	55	172
Copándaro de Galeana	47	72	25	53
Cuanajo	47	89	42	89
Cuitzeo del Porvenir	130	209	79	61
Cuto del Porvenir	12	76	64	533
Huandacareo	120	285	165	138
Huiramba	27	52	25	93
Indaparapeo	51	207	156	306
Iramuco	85	139	54	64
Jesús del Monte	10	28	18	180
Mariano E. y San Agustín	91	139	48	53
Morelia	1.830	6.304	4.474	244
Queréndaro	132	215	83	63
San Lucas Pío	6	51	45	750
Santa Ana Maya	75	294	219	292
Tarímbaro	39	316	277	710
Téjaro de los Izquierdo	44	133	89	202
Tenencia Morelos	34	163	129	379
Uruétaro	23	54	31	135
Ucareo	15	37	22	147
Zinapécuaro	97	493	396	408
Total	3.244	10.083	6.839	211

Las ciudades con mayor crecimiento relativo fueron Bocaneo, Cuto del Porvenir, San Lucas Pío, Tarímbaro y Zinapécuaro; sin embargo, 16 de las ciudades consideradas crecieron en superficie más del 100% desde 1975 hasta el 2000 (cuadro 3).

El crecimiento de estas ciudades se debe a que atraen a gran cantidad de población, tanto del interior del municipio como del estado, y originan una mayor demanda de terreno para el establecimiento de fraccionamientos, comercios y escuelas dentro de las ciudades y en el perímetro de las mismas. La ciudad de Morelia, por ejemplo, es la ciudad más importante de la zona y ella sola representa el 66.5% de la superficie total de crecimiento urbano en la cuenca (4.474 ha), ya que alberga al 79% de la población urbana que vive en ella.

La población urbana en la cuenca tuvo un incremento de 215,2% en el periodo de 1970-2000. En el Cuadro 4 se observa que seis asentamientos urbanos tuvieron un crecimiento poblacional mayor al 100% en el periodo del estudio. Las localidades urbanas de Jesús del Monte y Tenencia Morelos obtuvieron los porcentajes más altos de crecimiento poblacional, lo que es provocado por su cercanía a la ciudad de Morelia; en el caso de Jesús del Monte; este asentamiento se encuentra actualmente conurbano a Morelia (Acosta Villegas, 2001).

Cuadro 4. Población correspondiente a los asentamientos urbanos que existen en la cuenca de Cuitzeo en los años de 1950, 1960, 1970, 1980, 1995 y 2000.

Asentamientos Urbanos	Población por año					
	1950	1960	1970	1980	1995	2000
Acuitzio del Canje	2.965	3.436	3.123	3.059	5.460	5.766
Álvaro Obregón	1.904	2.923	3.592	5.520	7.887	7.911
Bocaneo	1.130	1.457	1.766	1.177	2.307	2.578
Capúla	1.961	2.308	2.449	3.355	3.960	4.558
Charo	2.190	2.725	2.541	3.384	4.566	4.568
C. de Galeana	1.448	2.611	3.020	3.223	3.834	3.408
Cuanajo	1.913	1.653	2.958	3.761	4.703	4.978
Cuitzeo del Porvenir	3.493	4.485	4.875	7.036	8.760	8.824
Cuto del Porvenir	1.131	1.544	1.504	1.804	3.256	3.608
Huandacareo	4.121	5.483	5.952	6.723	7.032	6.700
Huiramba	-	1.418	1.588	1.913	2.559	2.630
Indaparapéo	3.059	3.383	3.657	5.795	7.044	6.729
Iramuco	-	-	4.300	5.015	6.368	6.232
Jesús del Monte	510	775	877	803	2.375	2.665
M. Escobedo y Sn. Agustín P.	1.953	2.703	3.548	4.288	5.783	6.238
Morelia	63.245	100.828	161.040	297.544	512.169	549.996
Querendaro	5.474	5.897	5.810	8.065	8.992	8.544
San Lucas Pío	881	993	979	1.554	2.704	6.835
Santa Ana Maya	3.066	3.784	4.226	5.375	6.371	6.835
Tarímbaro	1.415	1.660	2.654	3.888	5.012	5.006
Téjaro de los Izquierdo	1.530	2.134	2.259	2.404	4.197	4.208
Tenencia Morelos	1.173	1.533	2.184	2.467	10.581	11.379
Ucáreo	1.615	1.846	2.208	2.490	2.718	2.580
Uruétaro	945	1.410	1.599	2.011	2.871	2.821
Zinapécuaro de Figueroa	3.095	5.719	7.382	9.481	14.640	14.547
Población total	114.135	169.095	242.655	398.730	652.513	696.243

Elaborada a partir de DGE (1950, 1960, 1970), INEGI (1980, 1995, 2000).

Una característica de los asentamientos que se ubican en la zona de estudio es la carencia de planeación en el desarrollo urbano. Las ciudades que se ubican en la cuenca, especialmente Morelia, se encuentran sujetas a un crecimiento desproporcionado desde mediados

de la década de 1970, patrón que se repite en las ciudades grandes y medias de la República Mexicana.

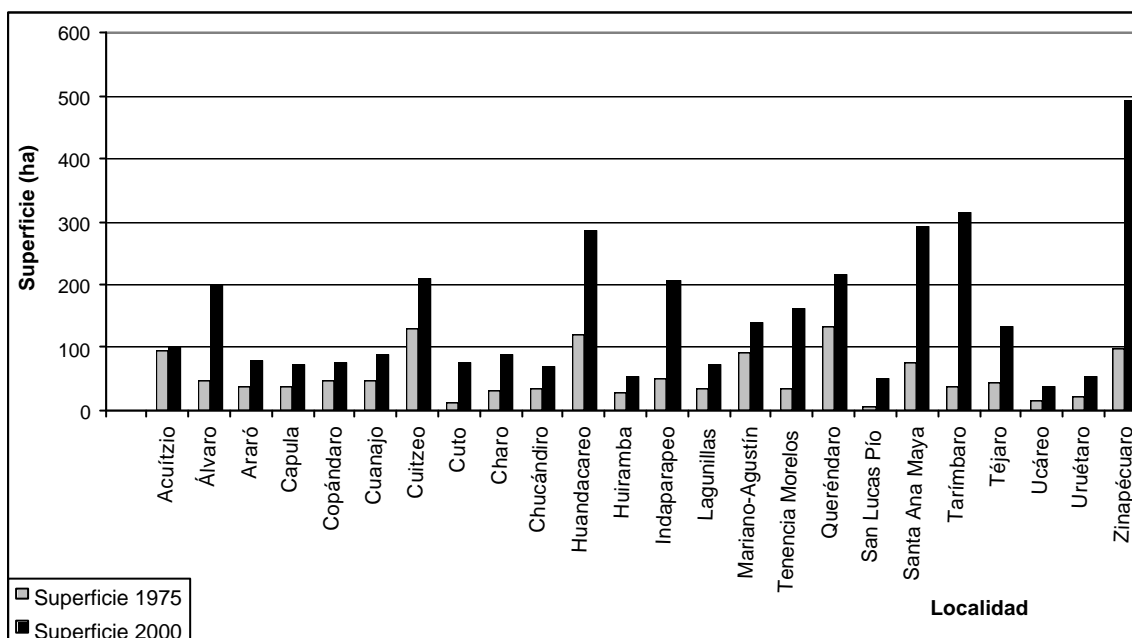


Figura 7. Superficie de los asentamientos urbanos en la cuenca entre 1975 y 2000.

\* No se grafica Morelia por presentar valores muy altos en relación a las otras ciudades.

Las clases de cobertura sobre las que más crecieron los asentamientos urbanos fueron los cultivos de temporal (72%), cultivos de riego (42%) y asentamientos rurales (21%) (cuadro 5). Es importante señalar que el crecimiento de las ciudades ocurre en suelos con capacidad agrícola. Además, las ciudades al crecer engloban otros asentamientos rurales que existen a su alrededor.

Cuadro 5. Superficie y porcentaje de las coberturas sobre las que crecieron los asentamientos urbanos.

Cobertura sobre la que crecieron los asentamientos urbanos	Superficie de cambio (ha)	% de la superficie sobre la que cambiaron los asentamientos
Cultivos de temporal	3389	72
Cultivos de riego	1958	42
Asentamientos rurales	987	21
Matorral	833	18
Pastizal	717	15
Bosques	81	2
Plantaciones	58	1
Lago	46	1

El incremento poblacional está ligado al incremento en el volumen de agua consumida y al volumen de aguas residuales producidas en los asentamientos humanos. El volumen de agua consumida por la población en el año de 1970 era de 21.49 miles de m<sup>3</sup> y en el año 2000 era de 77.8 miles de m<sup>3</sup>; es decir, el agua consumida por la población urbana aumentó el 16.8% en el periodo de estudio (cuadro 6).

La zona de investigación tiene tres plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales resultan insuficientes para sanear el agua que desemboca en el lago de Cuitzeo. Una vez que ésta sale de las ciudades, sin tratamiento de por medio, riega los campos agrícolas que se localizan alrededor del lago.

Cuadro 6. Consumo de agua poblacional en los diferentes asentamientos urbanos de la cuenca de Cuitzeo.

Localidad	Miles de m <sup>3</sup> 1970	Miles de m <sup>3</sup> 1995	Miles de m <sup>3</sup> 2000	Miles de m <sup>3</sup> 2010
Iramuco	0.20	0.30	0.30	0.35
Acúitzio del Canje	0.15	0.26	0.27	0.28
Álvaro Obregón	0.17	0.37	0.38	0.45
Charo	0.12	0.22	0.22	0.24
Chucándiro	0.11	0.10	0.10	0.09
Copándaro	0.14	0.18	0.16	0.20
Cuitzeo del Porvenir	0.23	0.42	0.42	0.48
Mariano Escobedo y Sn. Agustín	0.08	0.14	0.15	0.17
San Agustín del Pulque	0.07	0.14	0.14	0.16
Huandicareo	0.28	0.33	0.32	0.37
Huiramba	0.08	0.12	0.12	0.14
Indapárapeo	0.17	0.33	0.32	0.38
San Lucas Pío	0.05	0.13	0.32	0.26
Lagunillas	0.08	0.11	0.11	0.12
Cápula	0.12	0.11	0.22	0.23
Jesús del Monte	0.04	0.19	0.13	0.13
Morelia	17.63	56.08	60.22	70.04
Tenencia Morelos	0.10	0.50	0.54	0.59
Cuanajo	0.14	0.22	0.24	0.27
Queréndaro	0.28	0.43	0.41	0.46
Santa Ana Maya	0.20	0.30	0.32	0.36
Cuto del Porvenir	0.07	0.15	0.17	0.18
Tarímbaro	0.13	0.24	0.24	0.29
Téjaro de los Izquierdo	0.11	0.20	0.20	0.22
Úruétaro	0.08	0.14	0.13	0.16
Araró	0.12	0.09	0.09	0.10
Bocaneo	0.08	0.11	0.12	0.12
Ucáreo	0.10	0.13	0.12	0.14
Zinapécuaro	0.35	0.69	0.69	0.82
	21.49	62.74	67.16	77.80

La zona de riego cercana a la ciudad ocupaba una superficie de 56.794 ha en 1975 y creció a 64.313 ha en el año 2000, lo que representa un crecimiento porcentual de 13% (cuadro 1, figuras 3 y 4).

De acuerdo con la CNA (2001), en el año 1975 el agua que se utilizaba en los cultivos de riego correspondía a 190 millones de m<sup>3</sup>; en el año 2000 el volumen utilizado para la misma actividad era de 342.8 millones de m<sup>3</sup>. Al dividir la superficie de siembra entre el volumen de agua utilizado para los campos, se obtuvo que en 1975 se gastaban 3.750m<sup>3</sup>/ha y en el año 2000 se gastaban 5.330 m<sup>3</sup>/ha; es decir, se consumió mayor cantidad de agua por unidad de superficie en el año 2000 que en 1975.

Esta información ayuda a comprender la actual desecación que ocurre en el lago de Cuitzeo. Antiguamente (antes de la época colonial) el agua proveniente de los ríos Chico y Grande drenaba directamente al lago; actualmente se utiliza para satisfacer las demandas urbanas, industriales y agrícolas.

El agua que alcanza el lago de Cuitzeo se caracteriza por ser escasa y presentar niveles de contaminación, principalmente materia orgánica proveniente de los asentamientos humanos, fertilizantes y pesticidas de las áreas agrícolas de riego. El lago actualmente sufre un proceso de desecación recurrente (anual), por ser un sistema lacustre somero, con eventos extremos alrededor de cada 10 años (Mendoza, *et al.* en prensa ¿de qué medio y qué fecha?).

## **Conclusiones**

El utilizar herramientas basadas en la percepción remota y los sistemas de información geográfica permitió conocer el incremento de los asentamientos humanos, las superficies de riego agrícola y las zonas hacia donde los asentamientos urbanos están creciendo; ayudando a comprender los procesos que ocurrieron en la cuenca y relacionarlos con volúmenes de consumo de agua urbanos. Los procesos encontrados son similares a los que ocurren en varias ciudades medias y grandes de México.

El análisis de los principales procesos de cambio indica que la deforestación y degradación de bosques es compensada (en superficie) por los procesos de matorralización y regeneración del bosque. Sin embargo, los procesos de urbanización no están compensados, lo cual

permite inferir que los principales procesos de degradación a nivel de cuenca se relacionan con el rápido crecimiento de las ciudades y la consecuente salida de aguas negras al distrito agrícola de riego de Morelia-Queréndaro. Durante este trayecto las aguas negras riegan los campos agrícolas y son contaminadas por pesticidas, herbicidas y fertilizantes.

Los asentamientos humanos en la cuenca crecieron 14.945 ha (casi triplicando la superficie de 1975). El porcentaje en el incremento de consumo de agua en el periodo de estudio fue el siguiente: el uso público (64%), el consumo de agua para riego (45%).

Este análisis sugiere que las razones que favorecieron el desarrollo urbano original (suelos agrícolas y agua) actualmente se encuentran sujetas a fuerte presión. Las ciudades están creciendo sobre suelos agrícolas de alta productividad (Vertisoles) localizados en las planicies fluviolacustres alrededor de las ciudades, especialmente de Morelia. El incremento de la población implica el uso de aguas superficiales, mayor extracción de los mantos acuíferos, mayor desperdicio, pérdida y contaminación del agua.

**Agradecimientos:** Una parte de esta investigación fue apoyada por la Universidad de California través del *Inter-American-Institute for Global Change Research*, en el proyecto denominado *"The human dimension of global environmental change in urban areas of Latin America. A network approach"*.

Los autores reconocen el apoyo brindado por el Programa SIMORELOS (CONACyT) dentro del proyecto de investigación "Regionalización ecológica, conservación de recursos y ordenamiento territorial de la cuenca de Cuitzeo", investigación realizada en la UNAM-Campus Morelia. Los dos primeros autores recibieron becas de doctorado proporcionadas por el CONACyT y la UNAM.

### **Bibliografía**

Acosta Villegas, A., (2001) *Crecimiento de los asentamientos urbanos en la cuenca del lago de Cuitzeo y su consumo de agua, 1975, 2000*. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Biología, UMSNH.

Bocco, G. y H. Riemann, (1997) *Quality Assessment of Polygon Labeling. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 63 (4): 393-395.

CNA, (1997) *Diagnóstico estatal del recuso del agua. Comisión Nacional del Agua. Gerencia estatal de Michoacán*. Subgerencia Técnica. (Documento en revisión). México: 48 pp.

CNA. (2001) *Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento*. <http://www.cna.gob.mx/portal/switch.asp?param=4015> recuperada el dd/mm/aa

COMAPAS, (2000) *Agua potable y saneamiento ambiental en el Lago de Cuitzeo*. Comité de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Michoacán. México.

Grübler, A., (1994) *Technology*. In: Meyer, W.B., Turner, B.L. II (Eds.), *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective*. Univ. of Cambridge Press, Cambridge, pp. 287–328.

Houghton, R.A., Hackler, J.L., Lawrence, K.T., (1999) *The U.S. Carbon budget: contribution from land-use change*. *Science*, 285: 574-578.

ILWIS, *Integrated Land and Watershed Management Information System*, (1990) *User's Manual*. International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC), Eschede, The Netherlands.

ILWIS, *Integrated Land and Watershed Management Information System*, (1998) *User's Manual*. International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC), Eschede, The Netherlands.

INEGI, (1970) *IX Censo General de Población y Vivienda*, México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI (2000) *XII Censo General de Población y Vivienda*, México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

Juppenlatz, M., (1990) *The role of urban surveys in Third World Development*. *ITC Journal*, 4: 352-362.

Kasperson, J.X., Kasperson, R.E., Turner, B.L. II (Eds.), (1995) *Regions at Risk: Comparisons of Threatened Environments*. United Nations Univ. Press, Tokyo.

Kummer, D.M. y B.L. Turner II, (1994) *The human causes of deforestation in Southeast Asia*. *BioScience* 44, 5: 323-328.

Lambin E.F., Turner B.L., Geist H.J., Agbola S.B., Angelsen A., Bruce J.W., Coomes O.T., Dirzo R., Fischer G., Folke C., George P.S., Homewood K., Imbernon J., Leemans R., Li X., Moran E.F., Mortimore M., Ramakrishnan P.S., Richards J.F., Skanes H., Steffen W., Stone G.D., Svedin U., Veldkamp T.A., Vogel C. y Xu J., (2001) *The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths*. *Global Environmental Change*, 11: 261-269.

López, E., G. Bocco, M.E. Mendoza y E. Duhau, (2001) *Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe. A case in Morelia City, Mexico*. *Landscape and Urban Planning* 55 (4), 271-285.

Mendoza, M.E., (2002) *Implicaciones del cambio de cobertura vegetal y uso del suelo en el balance hídrico a nivel regional. El caso de la cuenca del lago de Cuitzeo*, Tesis Doctorado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, pp.188.

Mendoza, M.E., G. Bocco, M. Bravo, E. López-Granados y W.R. Osterkamp (en prensa nombre y fecha del medio ). *Predicting Water-Surface Fluctuation of Continental Lakes: A RS and GIS Based Approach in Central Mexico. Water Resources Management.*

Pasquarè, G., L. Ferrari, V.H. Garduño, A. Bibaldi y L. Vezzoli, (1991) *Geologic map of central sector of Mexican Volcanic Belt, State of Guanajuato and Michoacán, México. Map and Chart Series MCH072. Geological Society of America.*

Skole, D.L., H. Chomentowski, W.A. Salas y A.D. Nobre, (1994) *Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia, BioScience* 44, 5: 314-322.

Tolba, M.K. y El-Kholy, O.A. (Eds.), (1992) *The World Environment 1972–1992: Two Decades of Challenge.* Chapman & Hall, London.

Veldkamp, A. y P.H. Verburg, (2004) *Modelling land use change and environmental impact. Journal of Environmental Management*, 72: 1-3.

Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J. y Melillo, J.M., (1997). *Human domination of earth's ecosystems Science* 277, pp. 494–499.





## CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL Y USO DE TERRENO EN LA CIUDAD DE MORELIA Y SUS ALREDEDORES

Erna López<sup>1</sup>, Manuel Mendoza<sup>2</sup>, Gerardo Bocco.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Geoecología, Centro de investigaciones en Ecosistemas, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>2</sup>Instituto de Geografía de la UNAM, Depto Ordenamiento Territorial, Unidad Morelia.

<sup>3</sup>Dirección General de Investigación en Ordenamiento Ecológico y Conservación de los Ecosistemas, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT.

---

### RESUMEN

En este trabajo se analiza el cambio de cobertura vegetal y uso del terreno (CCUT) en la ciudad de Morelia y sus alrededores (se cubre aproximadamente el 80% del municipio de Morelia) en el periodo comprendido entre los años de 1975 y 2000. Se utilizaron fotografías aéreas que cubrían el área de estudio en los años de 1975 y 2000 (escala 1:50 000 y 1:37 000, respectivamente) la cartografía final se encuentra representada a escala 1:50,000. Los cultivos de riego y de temporal han reducido drásticamente sus áreas de cobertura, los primeros para transformarse en asentamientos humanos y lotes baldíos; y los segundos (cultivos de temporal) han sido abandonados por sus dueños y actualmente se encuentran con procesos de sucesión vegetal importantes. La deforestación afecta al 12% de la zona de estudio, viéndose reducidos principalmente los bosques cerrados. Los asentamientos humanos en la región han tenido un crecimiento del 313% siendo la ciudad de Morelia el asentamiento de más rápido crecimiento (600% de 1960 a 1997). En este estudio quedan patentes los diferentes cambios de la cobertura vegetal y uso del terreno que ocurren en el área de trabajo, estos cambios ocurren sin tener una planificación del territorio, por lo que es necesaria la realización del ordenamiento territorial de la zona, a fin de reducir los conflictos causados por los CCUT.

Palabras clave: cambio de cobertura y uso del terreno, ciudad de Morelia, percepción remota, sistemas de información geográfica.

### ABSTRACT

In this work were analyzed the change of land cover and land use change in Morelia City and their surroundings (80% of the municipality of Morelia) between 1975 and 2000 years. We used aerial photographs scale 1:50,000 (1975) and 1:37,000 (2000), the final cartography is represented at the 1:50,000. The irrigation and rainfed agriculture have reduced drastically their covering surface, the first one change to human settlements and lots; and the second one (rainfed agriculture) have been abandoned by their owners and the land has vegetable succession processes. The deforestation affects to 12% of the study area, being reduced mainly the closed forests. The human settlements in the area have had a growth of 313%, being Morelia city the quicker growth settlement (600% of 1960 at 1997). It is necessary the realization of the landscape survey, in order to reduce the conflicts caused by the change of vegetable covering and use of the land.

Keywords: land cover land use change, Morelia City, remote sensing, geographic information system.

## INTRODUCCIÓN

La conversión humana de los hábitats naturales es la causa más grande de pérdida de diversidad biológica, de las funciones ecológicas, así como de alteraciones del ciclo hidrológico. El balance entre hábitat natural y el paisaje humano podría determinar el futuro de la conservación de la diversidad biológica en grandes áreas del planeta. Por lo tanto es importante mapear y cuantificar el grado de conversión humana del hábitat natural al perturbado o dominado por el hombre (Lee, *et al.*, 1995).

Los factores que producen el cambio de cobertura y uso del terreno (CCUT), así como las consecuencias del mismo se encuentran conformados por variables socioeconómicas y ambientales. Sin embargo, no existen análisis cuantitativos sobre la importancia relativa de estos elementos con el CCUT, ya que interpretaciones de cómo estos factores interactúan para estimular el cambio varían ampliamente de una región a otra (Skole *et al.*, 1994; Kummer y Turner II, 1994).

La delimitación espacial y análisis de la cobertura vegetal y el uso del suelo se realizan con ayuda de la percepción remota (PR) y los sistemas de información geográfica (SIG). La percepción remota nos permite obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de los datos adquiridos por un instrumento que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación (Lillesand y Kiefer, 1987). Un SIG es un sistema computarizado que permite la entrada, almacenamiento, representación, análisis de datos; así como la salida eficiente de información espacial (mapas) y atributos (tabulares) (Burrough, 1986 y Valenzuela, 1989), de acuerdo a especificaciones y

En este trabajo se analiza el cambio de cobertura vegetal y uso del terreno en la ciudad de Morelia y sus alrededores (se comprende el 79.9% de la superficie total del municipio de Morelia) en el periodo comprendido entre 1975 y 2000.

## ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Morelia se localiza en la parte norte del Estado de Michoacán, entre los paralelos 19°27'06" y 19°50'12" de latitud norte, y los meridianos 101°01'43" y 101°30'32" de longitud oeste aproximadamente, a una altitud de 1,920 m.s.n.m. La extensión del municipio es de 1,335.9 km<sup>2</sup>; y abarca el 2.2% de la superficie estatal. Limita con 14 municipios (Cuadro 1). Como se mencionó anteriormente, en este trabajo se representa el 80% del municipio de Morelia; es decir, una superficie de 105,740.8 has (Figura 1).

El municipio de Morelia incluye a 236 localidades, siendo consideradas cuatro de ellas como asentamientos urbanos (mayores de 2,500 habitantes): Morelia (549,996 habitantes), Morelos (11,379 habitantes), Capula (4,558 habitantes) y Jesús del Monte (2,665 habitantes) (INEGI, 2000).

El 91.6% de la población que se encuentra en el municipio de Morelia habita en asentamientos considerados como urbanos, lo cual supera la media nacional (74.7%) (INEGI, 2000). En el municipio, el total de la población rural ha disminuido drásticamente durante las últimas décadas, a favor de las localidades urbanas (Cuadro 2). Las principales formas de relieve que se localizan en la zona de estudio son las laderas muy suaves a suaves (29.9%), laderas inclinadas y escarpadas (18.5%) y piedemontes medios (13.8%), lo que nos indica variación en las formas de relieve (Mendoza, *et al.*, 2001). Los principales tipos de suelos son: Luvisoles (26.1%), Vertisoles (18.9%), Andosoles (16.6%) y Acrisoles (15.3%), los cuales son en general de textura fina (Mendoza, *et al.*, 2001).

## MATERIALES Y MÉTODOS

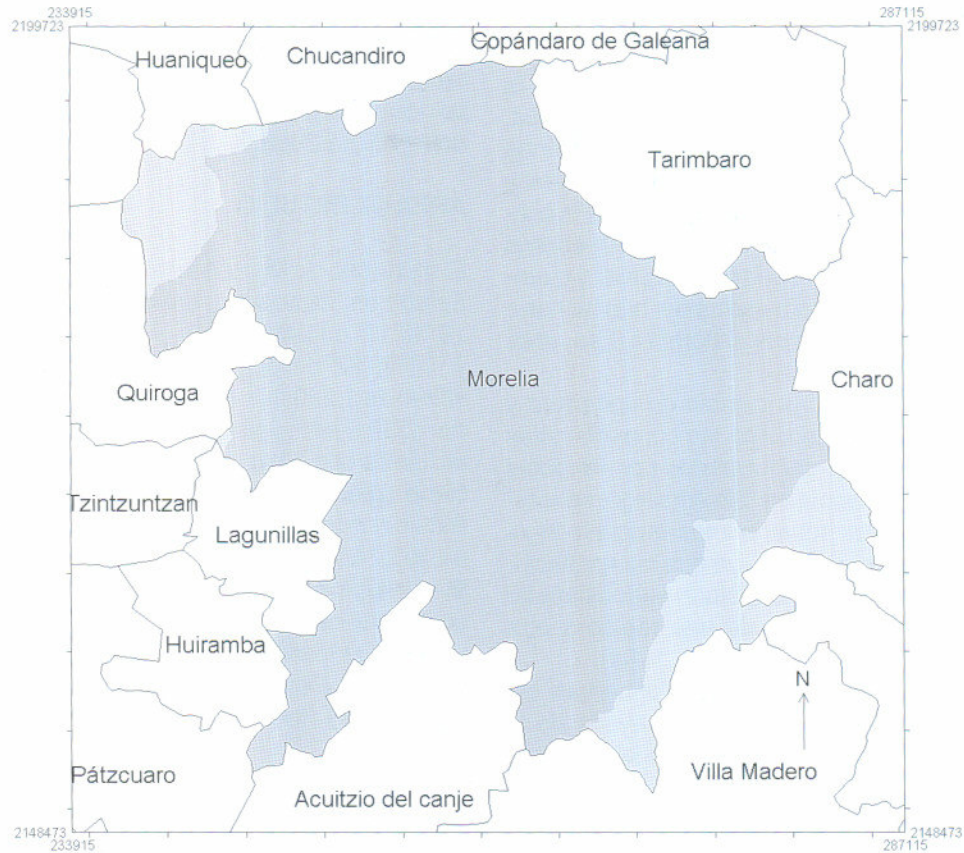
El presente trabajo se basa en la comparación secuencial de fotos aéreas pancromáticas blanco y negro de INEGI. La escala aproximada fue de 1:50,000 para el año de 1975 y de 1:37,000 para el año 2000. Los mapas finales fueron restituidos a escala 1:50,000. La interpretación de las fotografías aéreas se realizó utilizando un estereoscopio de espejos; así como los criterios que permiten reconocer los elementos a identificar (tamaño, forma, tono, textura y patrón) de acuerdo a la leyenda de cobertura/uso generada en este trabajo. Las categorías de cobertura vegetal y uso de terreno representan a los bosques abiertos y semiabiertos, bosques cerrados, matorrales y pastizales, plantaciones, cultivo de riego, cultivos de temporal, asentamientos humanos, terrenos baldíos, cuerpos de agua y erosión.

	Municipio
Norte	Tarímbaro
	Chucándiro
	Copándaro
	Huaniqueo
Este	Charo
	Tzitzio
Sudeste	Madero
	Acuitzio
Sudoeste	Huiramba
	Pátzcuaro
	Lagunillas
Oeste	Tzintzuntzan
	Quiroga
	Coeneo

Fuente: INEGI (1994).

**Cuadro 1.** Municipios que limitan con el municipio de Morelia.

requerimientos concretos del usuario. En un SIG la descripción de los datos se encuentran en términos de su dimensión espacial (posición, forma, localización absoluta y relativa), de atributos (características de los objetos) y temporal (tiempo de duración, resolución temporal y frecuencia temporal).



**Figura 1.** Zona de estudio (gris oscuro zona de estudio, gris claro área del municipio de Morelia que no se considera en este estudio).

La exactitud de la interpretación se evaluó con una matriz de confusión, además con objeto de validar la calidad espacial de la base de datos se realizó la verificación de polígonos siguiendo la técnica descrita por Bocco y Riemann (1997).

El material cartográfico necesario para la elaboración de la investigación consistió en las cartas topográficas (1:50,000) y de suelos (1:50,000) de INEGI, así como la geomorfología de Mendoza et al. (2001). La generación y manipulación de la información espacial se realizó con el programa ILWIS (Integrated Land and Water Information System) versiones 1.41 (ILWIS, 1990) y 2.23 (ILWIS, 1997).

Una vez realizada la fotointerpretación de la cobertura y uso del suelo, así como su validación en campo, se

procedió a su digitalización en un modelo vectorial dentro del SIG. Posteriormente, los arcos digitalizados se restituyeron automatizadamente dentro del sistema, a fin de generar las bases de datos de los mapas digitales de cobertura de 1975 y 2000 (Figura 2).

El análisis de CCUT se realizó a partir de la elaboración de matrices de Markov; las cuales son tablas con arreglos simétricos que contienen las categorías de cobertura/uso para los dos tiempos del estudio. De esta forma, cada una de las celdas de la diagonal principal de la matriz representa la superficie de cada categoría de cobertura/uso que permaneció en la misma categoría en el periodo de tiempo considerado. Mientras que el resto de las celdas estiman la superficie de una determinada cobertura o tipo de uso de terreno que cambió a

Tipo de Localidad	1970		1980		1990		2000	
	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
Mpio. Morelia	218 083	100.0	353 055	100.0	492 901	100.0	620 532	100.0
Localidades urbanas	166 735	76.5	304 006	86.1	439 608	89.2	568 598	91.6
Localidades rurales	51 348	23.5	49 049	13.9	53 293	10.8	51 934	8.4

**Cuadro 2.** Número de habitantes urbanos y rurales en el municipio de Morelia

otra categoría, permitiendo entender la dinámica de cambio en la zona.

## RESULTADOS

La matriz de confusión indicó que todas las categorías se encuentran por encima del valor mínimo de exactitud (80%). El grado de error que presentan los datos es muy bajo, debido a que el 30% de los polígonos interpretados en las fotografías aéreas fueron etiquetados en campo, y el resto con ayuda de los mapas de cobertura y uso de suelo realizados por INEGI (escala 1:250,000) lo que ayudó a minimizar el grado de incertidumbre durante el etiquetamiento.

El análisis espacial de la información examina el comportamiento de las categorías de cobertura/uso, considerando el área y el porcentaje de cobertura de las clases generalizadas para cada tiempo (Cuadro 3, Figura 3).

Las categorías que cubrieron la mayor parte de la zona de estudio en el año de 1975, fueron los matorrales y pastizales, cultivos de temporal y los bosques cerrados. En el año 2000 siguieron dominando las categorías de matorrales y pastizales, cultivos de temporal; sin embargo, la tercera categoría fueron los bosques abiertos y semiabiertos (Cuadro 3, Figura 3).

La distribución espacial de la cobertura vegetal y uso del suelo de la zona de estudio para cada año se presentan en las Figuras 4 y 5. A continuación se explicarán cada una de las categorías que definen la cobertura vegetal y uso de suelo de la zona.

## BOSQUES CERRADOS, SEMICERRADOS Y ABIERTOS

Si agrupamos las categorías de bosques (cerrados, semiabiertos y abiertos) y las plantaciones, podemos

notar que ocuparon el 23.8% de la zona de estudio en 1975 y el 26.4% en el año 2000; es decir, aumentaron su superficie en el transcurso de 25 años. Los bosques que existían en la zona de estudio en el año de 1975 eran principalmente bosques cerrados; sin embargo, en el año 2000 eran principalmente abiertos y semiabiertos (Cuadro 3, Figura 4 y 5), lo que significa que los bosques cerrados han disminuido su superficie. El crecimiento en general de la categoría bosques, se debe principalmente a que los matorrales y pastizales de la zona se encuentran bajo procesos de regeneración hacia la categoría de bosques. La recuperación de áreas boscosas es ocasionada por situaciones especiales, que permitieron al bosque recuperarse en algunas zonas del área de estudio. Por ejemplo, cerca de la localidad de San José del Monte el bosque fue talado alrededor de los años sesenta. En la interpretación de las fotografías correspondiente a 1975, se observa que existe un matorral cerrado en ese lugar, que para el año 2000 se ha convertido en un bosque formado principalmente por encinos, árbol que de acuerdo a la bibliografía, es conocido por su capacidad de regeneración a partir de los tocones que quedan en el suelo (Zavala, 1990).

### Matorrales y Pastizales

Los matorrales y pastizales extendieron su área de 1975 al 2000 en 3,464.2 ha., esta categoría se ha desarrollado a partir de zonas de cultivos (cuamiles) de temporal (en cuyo caso han evolucionado hacia matorrales subtropicales) y a partir de la categoría de bosques en donde son zonas desmontadas y que se encuentran en proceso de regeneración (acahuales).

El desarrollo de la categoría arbustos a partir de las zonas de cultivos se debe principalmente al abandono de terrenos agrícolas. Esto se relaciona con el fenómeno de migración a nivel nacional e internacional, lo que

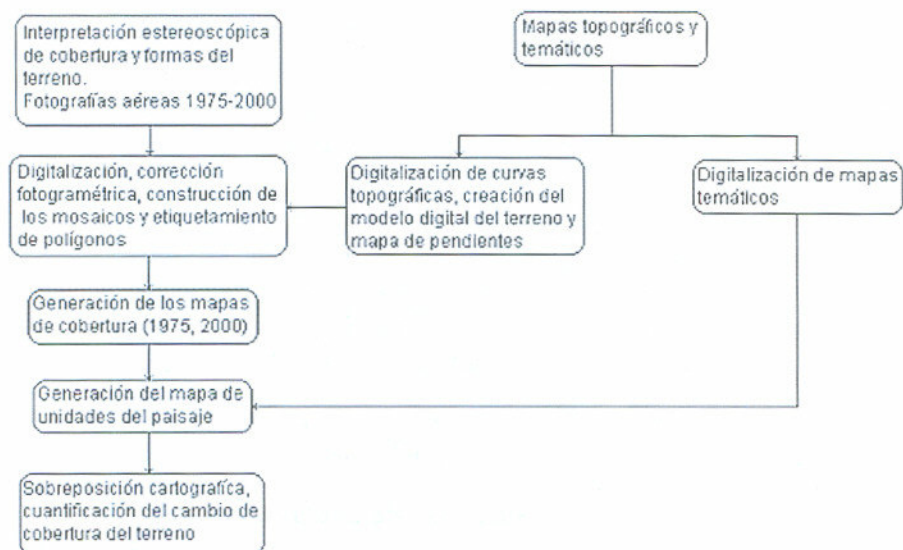


Figura 2. Diagrama metodológico.

Categorías de cobertura/uso	1975		2000	
	Hectáreas	%	Hectáreas	%
Bosque semiabierto y abierto	9,887.7	9.3	16,733.5	15.8
Bosque cerrado	14,478.0	13.7	8,231.4	7.8
Matorral y pastizal	33,910.1	32.1	37,374.3	35.3
Plantaciones	858.7	0.8	2,959.8	2.8
Cultivos de riego	7,903.5	7.5	5,623.1	5.3
Cultivos de temporal	33,841.9	32.0	20,901.7	19.8
Asentamientos humanos	2,710.5	2.6	8,485.2	8.0
Lotes baldíos	1,161.0	1.1	3,525.2	3.3
Cuerpos de agua	676.3	0.6	1,138.6	1.1
Erosión	313.0	0.3	768.1	0.7
Total	105,740.8	100	105,740.8	100

**Cuadro 3.** Cobertura vegetal y uso del terreno en 1975 y 2000 en la zona de estudio

ha permitido que enormes áreas regeneren hacia arbustos secundarios. Las zonas que se encuentran cubiertas por matorrales y pastizales son utilizadas principalmente como lugares de pastoreo de ganado bovino, caprino y algunas veces lanar.

**CULTIVOS DE RIEGO Y TEMPORAL**

El área de estudio, por las características geomorfológicas y edáficas que presenta, se ha dedicado por un largo periodo a la agricultura de temporal y de riego; por esta razón, los cultivos son las categorías mejor representadas en todo el municipio. Los cultivos de riego y de temporal representaban en forma conjunta el 39.5% de la cobertura de la región en

1975; sin embargo, en el año 2000 sólo cubrían el 25.1% de la zona, por lo que son las categorías que presentaron un cambio más radical en su superficie, ya que esta disminuyó en 15,220.6 ha.

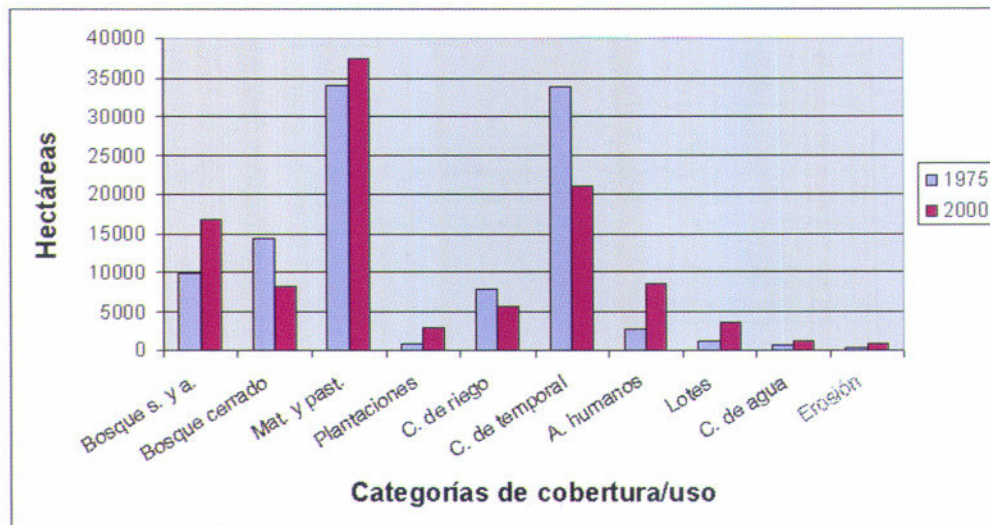
Los cultivos de temporal son los que más han disminuido su área en los últimos años (Cuadro 3, Figuras 4 y 5), principalmente por el abandono de las tierras por parte de los campesinos que las sembraban; estas tierras han evolucionado hacia zonas de matorrales secundarios que se dedican en la actualidad a la ganadería. En cambio, los cultivos de riego han cambiado hacia las categorías de asentamientos urbanos y lotes baldíos (ver Matrices de Markov), ya que se encuentran cercanas a la Ciudad de Morelia.

**ASENTAMIENTOS URBANOS Y LOTES BALDIOS**

Los asentamientos humanos crecieron 5,774.7 ha en el periodo 1975 - 2000, lo que significa, que el área de los asentamientos creció en 313%, teniendo la ciudad de Morelia el mayor crecimiento urbano de la región. Los lotes baldíos incrementaron su superficie en 303%, sin embargo la probabilidad de que permanezcan en la misma categoría a través del tiempo es muy baja, ya que tienen más del 70% de probabilidad de transformarse en asentamientos humanos (ver matrices de Markov).

Existe un estudio realizado por López *et al.* (2001) donde se analiza el crecimiento de la ciudad desde el año de 1960 hasta 1997. En este estudio se menciona que el incremento en la superficie de la ciudad de Morelia de 1960 a 1975 es del 71%, y de 1975 a 1990 (Cuadro 4).

En 1960 la ciudad de Morelia se encontraba ubicada principalmente sobre laderas suaves y redondeadas (57.2%) y sobre parte de la planicie aluvial (40.5%). En 1975, al crecer la mancha urbana los valores cambian,



**Figura 3.** Distribución de las superficies de las categorías de cobertura vegetal y uso del terreno por año.

Año	Área total de la Cd. de Morelia ha	Área de crecimiento Ha	Porcentaje de crecimiento-%
1960	1 004		
1975	1 713	709	70.6
1990	5 081	3 368	196.6
1997	5 972	891	17.5

**Cuadro 4.** Área y porcentaje de crecimiento de la ciudad de Morelia en los años 1960, 1975, 1990 y 1997.

siendo en este caso la planicie aluvial en donde se ubicaba la mayor parte de la ciudad (53.9%), y en segundo lugar en laderas suaves redondeadas (38.6%) (Cuadro 5) (López *et al.*, 2001).

En 1990, casi la mitad de la categoría "clase urbana" se asentaba en la planicie aluvial (46%); el porcentaje de ocupación de las laderas suaves redondeadas es de 25%, y la ciudad comienza a asentarse en elevaciones suaves e irregulares (12.5%) y en piedemontes (10%) (López *et al.*, 2001).

A pesar de que en años anteriores existían asentamientos en laderas inclinadas rectilíneas (1960), superficie cumbre (a partir de 1975) y valles acumulativos (a partir de 1960), las superficies de asentamientos urbanos en estas unidades de relieve crecieron en forma considerable para 1997 (Cuadro 5).

Considerando, de manera general, tanto las características de los suelos como los procesos geomorfológicos, el crecimiento de la ciudad hacia la planicie tiene en consecuencia la pérdida de suelos con alta calidad para la actividad agrícola, los cuales se encuentran en la planicie aluvial y en los valles acumulativos. En general, el patrón de crecimiento de las zonas urbanas sobre terrenos agrícolas es similar al reportado para la mayoría de las ciudades en México (SEDESOL, 1992). Además, se incrementa el riesgo natural por la ocupación de laderas inclinadas en las cuales los procesos geomorfológicos exógenos pueden aumentar y accele-

rarse. Las condiciones tectónicas presentes en la zona, han ocasionado pérdidas materiales por la demolición de construcciones realizadas sobre fallas geológicas, algunas de ellas sobre este tipo de laderas (Garduño *et al.*, 1998). Estructuras similares han sido reportadas por Garduño *et al.* (1998) en laderas suaves y redondeadas; así como en piedemontes volcánicos ubicados en las inmediaciones de la ciudad de Morelia.

#### MATRICES DE MARKOV

Se elaboró una matriz de Markov de primer orden, para conocer la probabilidad de cambio para el periodo del estudio. En la matriz de Markov, las categorías que tienen mayor probabilidad de permanecer en el tiempo son, en orden descendente: Asentamientos humanos (100%), Plantaciones (70.5%), cultivos de riego (61.6%) y matorrales y pastizales (60.0%). El resto de las categorías tiene menos del 50% de probabilidad de permanecer en el tiempo.

Cualquier tipo de cobertura y uso de terreno que se convierte a la clase urbana, queda permanentemente en esta clase, sin probabilidad de transformarse en otro tipo de cobertura (Lambin 1997). La clase lotes baldíos es una clase dinámica, que continuamente se transforma en asentamientos urbanos, en consecuencia su probabilidad de permanencia en el tiempo es baja (28.5%).

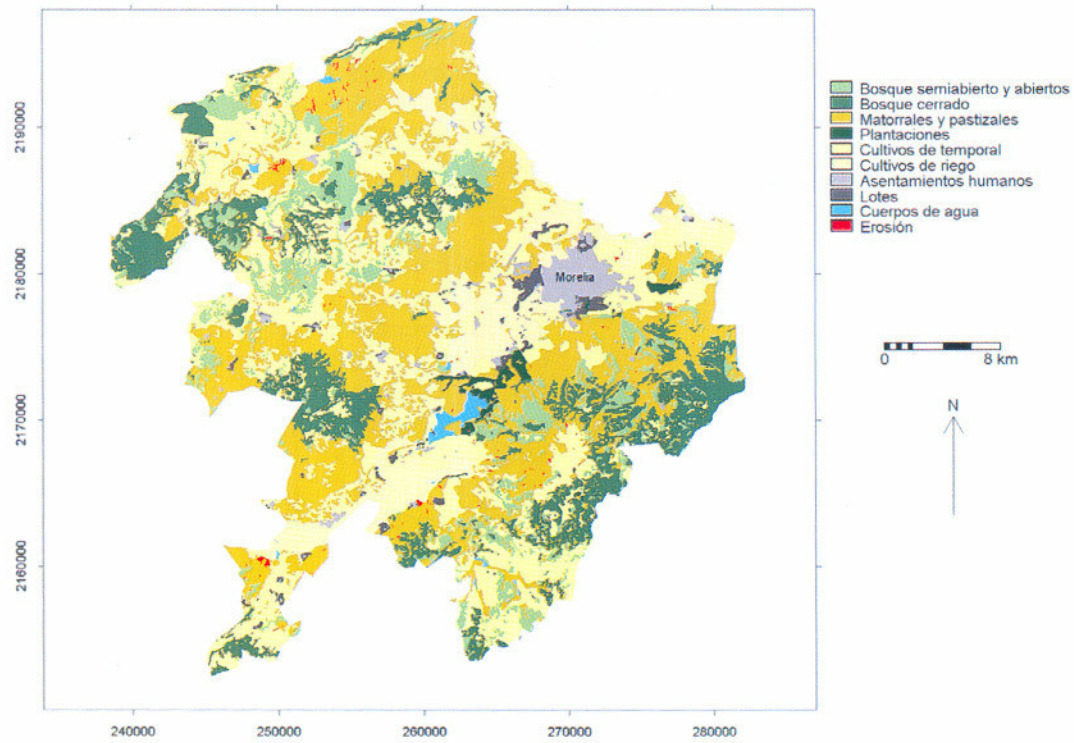
Como se puede observar en la matriz de transición (Cuadro 6), los cultivos de riego tienen una alta probabilidad de cambiar a asentamientos humanos (17.6%) y lotes baldíos (11.9%), lo que se traduce en la pérdida de buenas tierras para el cultivo.

Las clases que tienen una alta probabilidad de cambiar a otro tipo de categorías son la erosión (28%), los lotes baldíos y los bosques cerrados (29.8%). En el caso de los bosques cerrados, estos se encuentran cambiando a bosques semiabiertos y abiertos (44.1%)

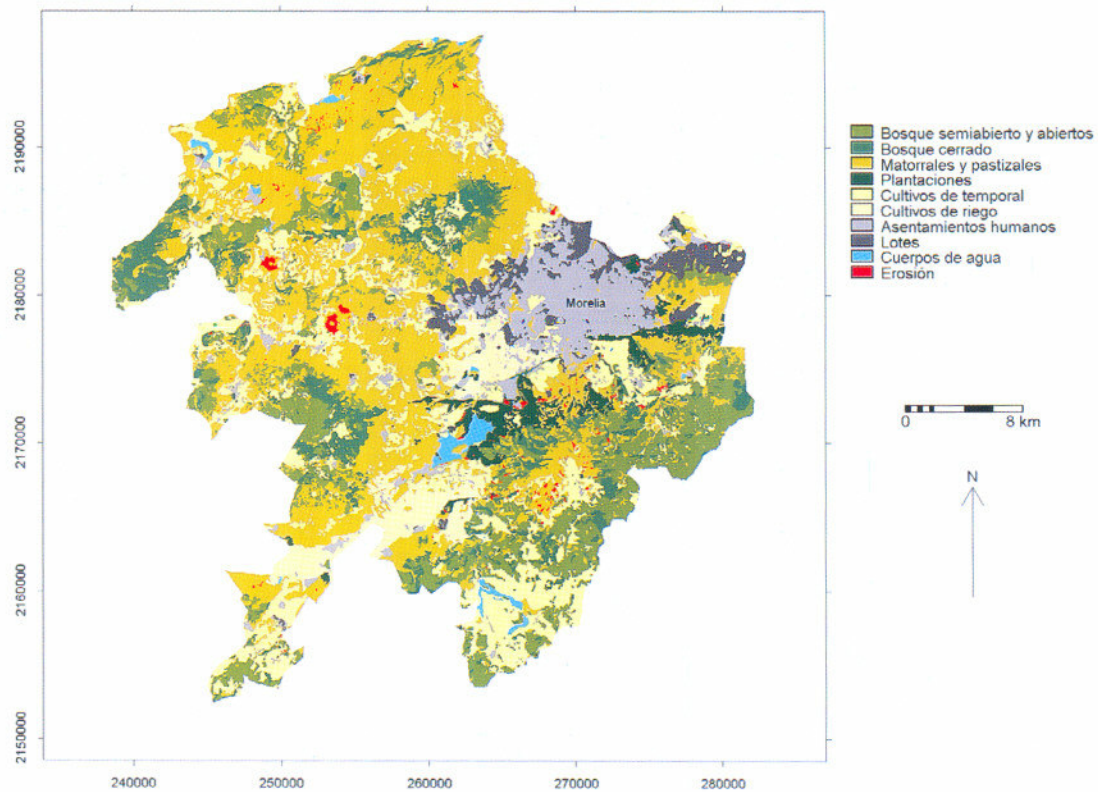
Relieve	1960		1975		1990		1997	
	ha	%	ha	%	ha	%	Ha	%
Laderas inclinadas rectilíneas	5	0.4	22	1.3	125	2.5	157	2.6
Laderas suaves redondeadas	574	57.2	661	38.6	1 375	27.1	1728	28.9
Elevaciones suaves e irregulares	0	0.0	79	4.6	634	12.5	635	10.6
Piedemontes	0	0.0	0	0.0	529	10.2	644	10.8
Planicie Aluvial	407	40.5	923	53.9	2 314	45.5	2 656	44.5
Superficie cumbre	0	0.0	8	0.5	66	1.3	100	1.7
Valle acumulativo	19	1.9	20	1.2	38	0.8	51	0.9
Total	1 004	100.0	1 713	100.0	5 081	100.0	5 972	100.0

**Cuadro 5.** Distribución del relieve en la mancha urbana de Morelia.

Fuente: López *et al.* (2001).



*Figura 4. Mapa de cobertura vegetal y uso del terreno en el año de 1975.*



*Figura 5. Mapa de cobertura vegetal y uso del terreno en el año 2000.*

	Bosque Semiabierto y abierto	Bosque Cerrado	Matorrales y pastizales	Plantaciones	Cultivos de riego	Cultivos de temporal	Asentamientos Humanos	Lotes baldíos	Cuerpos de agua	Erosión
Bosque semiabierto y abiertos	40.6	17.4	28.2	5.1	0.0	8.0	0.3	0.1	0.1	0.3
Bosque cerrado	44.1	29.8	17.3	1.4	0.0	6.2	0.1	0.1	0.6	0.2
Matorrales y pastizales	12.4	4.0	60.0	3.6	0.6	12.3	3.2	2.0	0.6	1.3
Plantaciones	1.4	1.3	11.1	70.5	0.2	2.8	7.8	1.4	1.6	1.8
Cultivos de riego	0.0	0.0	7.5	1.0	61.6	0.0	17.6	11.9	0.3	0.1
Cultivos de temporal	6.2	2.4	32.2	1.0	1.5	44.4	6.9	4.5	0.3	0.5
Asentamientos humanos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Lotes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71.3	28.5	0.0	0.2
Cuerpos de agua	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
Erosión	6.8	1.5	42.2	5.4	4.2	3.9	5.6	1.2	1.1	28.0

Cuadro 6. Matriz de Markov (1975 – 2000)

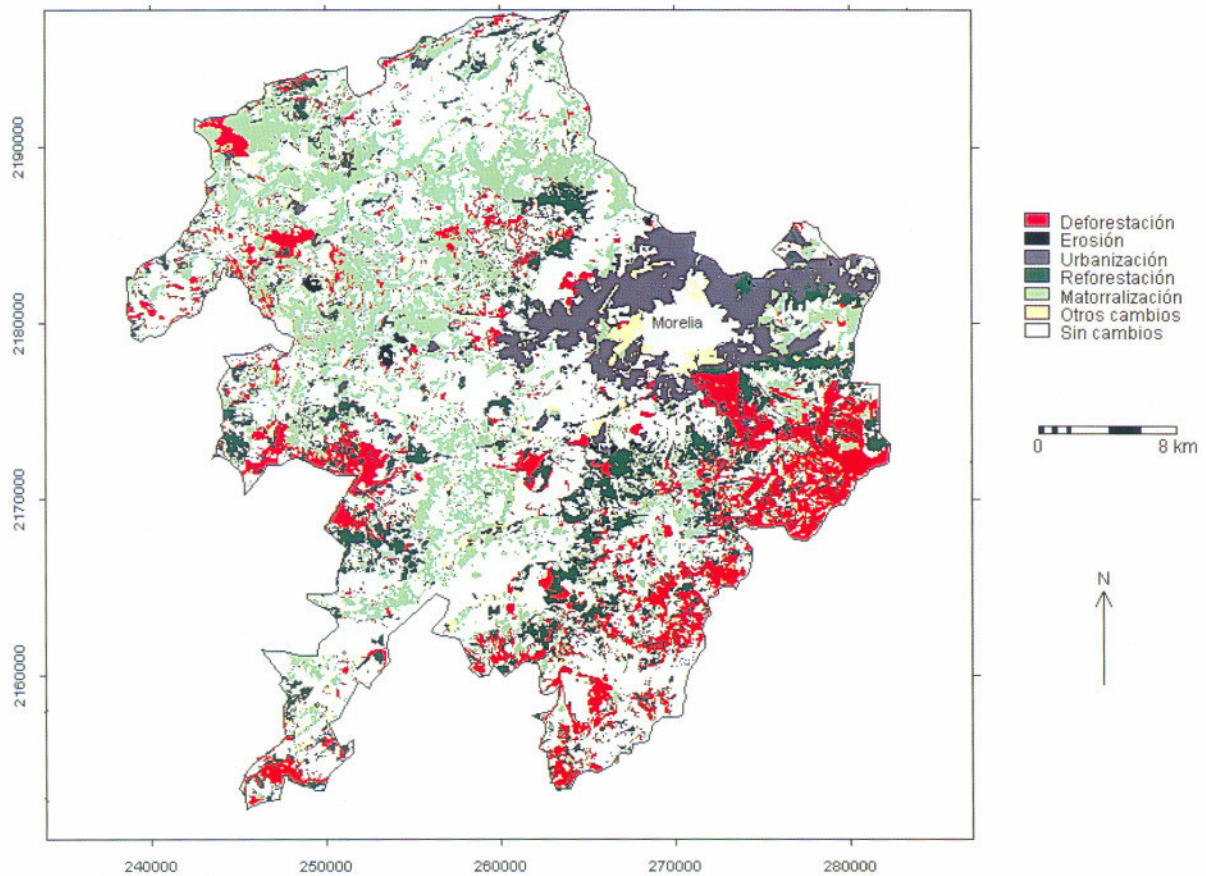


Figura 6. Mapa de los principales procesos de cambio en la zona de estudio.



Procesos de cambio	ha	%
Reforestación	12625	11.9
Matorralización	17017	16.1
Deforestación	12809	12.1
Erosión	678	0.6
Urbanización	8141	7.7
Otros cambios	1618	1.5
Sin cambios	52853	50.0

**Cuadro 7.** *Procesos de cambio ocurridos en la zona de estudio de 1975 al año 2000.*

y matorrales y pastizales (17.3%); lo que nos indica la pérdida de cobertura forestal cerrada.

Con el fin de cuantificar los procesos de cambio en la zona de estudio, se realizó una reclasificación de las categorías con ayuda de una matriz de doble entrada, resultando la información del Cuadro 7 y la Figura 6. El 50% de área de estudio permaneció sin cambios de cobertura/uso; sin embargo, los procesos que tuvieron los porcentajes más altos de cobertura fueron: matorralización y deforestación. El proceso de matorralización se presentó en el 16% de la zona, apoyando lo mencionado anteriormente respecto al cambio de cultivos de temporal por zonas de matorrales y pastizales. El proceso de deforestación existió en el 12.1 % del área de trabajo; se entiende por deforestación aquellos bosques (cerrados, semiabiertos y abiertos) que cambiaron su cobertura a favor de otras categorías; este proceso; sin embargo, el proceso de reforestación (que comprende el cambio de las diferentes categorías de cobertura vegetal a bosques cerrados, semiabiertos y abiertos) ocurre en la misma superficie de la zona (11.9%).

## CONCLUSIONES

El cambio de uso de suelo más importante ocurrido en la zona en estudio es la disminución de 15,220.6 ha de la superficie de los cultivos de riego y de temporal. Estas clases pierden su cobertura a favor de los asentamientos humanos, lotes baldíos y matorrales y pastizales; siendo ocasionado este último fenómeno por la migración de campesinos a la ciudad de Morelia o Estados Unidos.

La deforestación afecta al 12% del área de estudio; sin embargo, los procesos de reforestación en la zona casi equiparan a los procesos de deforestación. La urbanización afectaba en el año 2000 al 11.3% del área de estudio; este proceso es influenciado principalmente por el crecimiento de la ciudad de Morelia (capital del estado de Michoacán) la cual ha crecido 600% de 1960 al

año 2000. Es necesaria la realización de un plan de ordenamiento territorial que permita evitar el crecimiento de las zonas urbanas en terrenos agrícolas de buena calidad, que impida la desaparición de los bosques cerrados de la región y permita un crecimiento más apropiado y seguro de la ciudad de Morelia.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos agradecer a los Doctores Isabel Israde y Victor Garduño su invitación a contribuir en esta obra y por los valiosos comentarios realizados al manuscrito original. Este trabajo deriva del Proyecto "Regionalización Ecológica, Conservación de Recursos y Ordenamiento Territorial de la Cuenca de Cuitzeo", el cual fue apoyado por el Programa SIMORELOS – CONACYT. Se agradece la colaboración de los Biólogos Vicente Salinas, Alejandra Acosta, Hergüin Cuevas y del M. en I. Heberto Ferreira.

## BIBLIOGRAFÍA

Bocco, G. y H. Riemann, 1997. «Quality Assessment of Polygon Labeling». *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 63, No. 4: 393-395.

Burrough, P.A., 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Clarendon Press. Oxford: 194 pp.

Garduño, V.H., E. Arreygue, S. Chiesa, I. Israde, G. Rodríguez y J.M. Ayala, 1998. "Las fallas geológicas y sísmicas de la ciudad de Morelia y su influencia en la planificación de su territorio". *Ingeniería Civil*. Vol I, No. 5, Facultad de Ingeniería Civil. UMSNH, Morelia, México: 4-12.

ILWIS, Integrated Land and Watershed Management Information System, 1990. *User's Manual*. International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC), Enschede, The Netherlands.

ILWIS, Integrated Land and Watershed Management Information System, 1997. *User's Manual*. International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC), Enschede, The Netherlands.

INEGI, 1990. *Morelia Perfil Sociodemográfico*. Cuaderno Estadístico Municipal. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México: 97 pp.

INEGI, 1994. *Anuario Estadístico del Estado de Michoacán*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y Gobierno del Estado de Michoacán. México: 393 pp.

- INEGI, 2000. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (<http://www.inegi.gob.mx>).
- Kummer, D.M. y B.L. Turner II, 1994. The human causes of deforestation in Southeast Asia. *BioScience* 44, 5: 323 – 328.
- Lambin, E.F., 1997. Modelling and monitoring land – cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 21, 3: 375 – 393.
- Lee, H., J.L. Carr y A. Lankerani, 1995. Human disturbance and natural habitat: a biome level análisis of a global data set. *Biodiversity and Conservation* 4: 128 – 155.
- Lillesand, T.M., y R.W. Kiefer, 1987. "Remote Sensing and Image Interpretation". John Wiley and Son. New York.
- López, E., G. Bocco, M. Mendoza y E. Duhau, 2001. Predicting land – cover and land – use change in the urban fringe. A case in Morelia City, Mexico. *Landscape and Urban Plannig*, 55: 271 – 286.
- Mendoza, M., E. López-Granados y G. Bocco, 2001. Regionalización ecológica, conservación de recursos y ordenamiento territorial de la cuenca de Cuitzeo. Informe Final presentado al Programa SIMORELOS – CONACyT. Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, UNAM: 266 pp.
- Skole, D.L., H. Chomentowski, W.A. Salas y A.D. Nobre, 1994. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *BioScience* 44, 5: 314 – 322.
- SEDESOL, 1992. Programa de 100 Ciudades. Secretaría de Desarrollo Social, México, D.F.: 33 pp.
- Valenzuela, C.R., 1989. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC), Enschede, The Netherlands: 45 pp.
- Zavala, F., 1990. Los encinos mexicanos: un recurso desaprovechado. *Ciencia y Desarrollo* XVI, 95. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología: 43 – 52.

## Conclusiones Generales

---

La cuenca del lago de Cuitzeo es una unidad de casi 4,000 Km<sup>2</sup>. La generación de datos de cobertura vegetal y uso de suelo a través de la interpretación de fotografías aéreas de vuelo bajo (1:50,000 y 1:37,000), aunado a la verificación en campo, permitió diferenciar con mayor precisión las clases cartográficas. En consecuencia, se obtuvieron altos niveles de confianza en las bases de datos generadas (superior al 95%). La interpretación con este nivel de detalle con otro tipo de productos estándar de percepción remota (Landsat ETM) hubiera sido difícil o imposible.

Las principales coberturas y usos del terreno registrados en el año 1975 fueron: agricultura de secano (temporal) (29.3%), matorrales (18.6%), bosque (16.7%) y agricultura de riego (14.2%). En el año 2000, predominaron las mismas categorías, pero sus porcentajes de cobertura cambiaron: matorrales (23.7%), bosque (19.6%), agricultura de secano (18.5%) y agricultura de riego (15.5%).

Los procesos de cambio predominantes en la cuenca corresponden al crecimiento de las áreas con matorral subtropical y a la recuperación de la superficie del bosque, cada uno de estos procesos con alrededor del 10% del área de la cuenca. La deforestación (6%), la degradación de las cobertura boscosas (2%), así como la urbanización (4%) y la reducción de la cobertura del lago (1%) son los procesos que siguen en importancia relativa en la cuenca.

Al analizar los procesos de cambio de cobertura y uso del terreno se cuantificaron patrones de cambio de cobertura que sólo habían sido descritos en pequeñas comunidades en una cuenca vecina al área de estudio. En este caso nos referimos al crecimiento de zonas con matorrales que se desarrollaron sobre zonas dedicadas a la agricultura de secano en laderas, con presencia de suelos someros y pedregosos. Lo que se traduce en arduas labores de labranza y pobres resultados en la cosecha.

El proceso descrito en el párrafo anterior se relacionó estadísticamente con los procesos migratorios que existen en la cuenca, la cual es reconocida históricamente como una región en que los campesinos han emigrado a los Estados Unidos desde la década de 1920.

El movimiento migratorio ha ocasionado que tierras dedicadas a cultivos de secano dejaron de ser utilizadas para la producción de maíz, frijol y calabaza y se abandonaron, lo que inició un proceso de sucesión vegetal. Actualmente en estas zonas se observa el desarrollo de matorral subtropical. Proceso que no había sido cuantificado previamente en la zona y en el país.

Lo anterior nos permite mencionar que el proceso migratorio se ha traducido en mejores condiciones de cobertura vegetal para la cuenca del lago de Cuitzeo; sin embargo, el abandono de tierras agrícolas representa las pobres políticas de desarrollo agrario que se viven en nuestro país. De igual forma, el aumento de la cobertura de bosque, también se encuentra asociada al fenómeno migratorio.

El siguiente proceso de cambio, dominante en la cuenca es la urbanización. En 1970 se encontraban asentadas 392 localidades y en el año 2000 687; en ambos casos el 4% del total de los asentamientos eran urbanos. La relación entre el número de asentamientos rurales y urbanos se mantuvo en ambos años.

En el año 2000 existían 27 asentamientos urbanos, los que tuvieron mayor crecimiento relativo fueron Morelia, Bocanejo, Cuto del Porvenir, San Lucas Pío, Tarímbaro y Zinapécuaro; sin embargo, 16 de las ciudades consideradas crecieron en superficie en más del 100% en el periodo de estudio.

La ciudad de Morelia, es la ciudad más importante de la zona y representa el 66.5% de la superficie total de crecimiento urbano en la cuenca (4,474 ha) y alberga al 79% de la población urbana de la cuenca.

La distribución de los asentamientos humanos no es totalmente al azar, se encuentran alineados este-oeste y suroeste-noreste. Esta alineación se debe a que están ubicados en zonas relativamente altas y ligeramente inclinadas obedeciendo a la necesidad de aprovechar las tierras bajas y planas con mejores suelos para la actividad agrícola (distrito de riego Morelia-Queréndaro), además de alejarse de las tierras inundables.

La ciudad de Morelia es un caso excepcional dentro de la cuenca porque la ciudad crece hacia zonas fuertemente inclinadas (escarpes de falla activos) y zonas inundables. Este patrón de expansión está incrementando el nivel de riesgo y, consecuentemente, la vulnerabilidad de la población de la ciudad ante las amenazas naturales.

Las clases de cobertura sobre las que crecieron los asentamientos urbanos fueron los cultivos de temporal (72%), cultivos de riego (42%) y asentamientos rurales (21%).

Una característica de los asentamientos que se ubican en la zona de estudio es la carencia de planeación en el desarrollo urbano. Las ciudades que se ubican en la cuenca, especialmente Morelia, se encuentran sujetas a un rápido crecimiento desde mediados de la década de 1970, patrón que se repite en las ciudades grandes y medias de la República Mexicana.

El incremento poblacional se encuentra ligado al consumo de agua y al volumen de aguas residuales producidas en los asentamientos humanos. El volumen de agua consumida por la población en 1970 era de 21.49 miles de metros cúbicos y en el año 2000 era de 77.8 miles de metros cúbicos. La cantidad de agua consumida por la población aumentó 16.8% en el periodo de estudio.

En la zona de estudio existen muy pocas plantas de tratamiento de aguas residuales, lo que provoca que las aguas negras producidas en las ciudades, descarguen al lago de Cuitzeo una vez que han regado campos de cultivo.

Las evidencias proporcionadas por esta investigación sugieren que el proceso de desecación que sufre el lago de Cuitzeo está asociado al abatimiento de las aguas que llegan al lago y el decremento en la calidad del agua y el aumento de la vegetación acuática se encuentra más relacionado a las descargas urbanas que a los procesos de sedimentación resultado de la erosión de las tierras altas.