

CADENAS DE MARKOV EN EL ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN IXTAPALUCA, MEXICO

MARKOV CHAINS IN THE ANALYSIS OF LAND USE CHANGE IN IXTAPALUCA, MEXICO

Gladys Linares¹, Miguel A. Valera¹, Eduardo Millán¹

(1) Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Instituto de Ciencias, Posgrado de Ciencias Ambientales. 4 Sur No. 104, Colonia Centro, C.P. 72000, Puebla - México
(e-mail: gladys.linares@correo.buap.mx)

Recibido: 31/08/2021 - Evaluado: 12/10/2021 - Aceptado: 26/11/2021

RESUMEN

Las cadenas de Markov representan una clase de procesos estocásticos de gran interés para las aplicaciones. En particular, las cadenas de Markov de tiempo discreto (DTMC) permiten modelar las probabilidades de transición entre estados discretos. El paquete *markovchain* en *R* contiene funciones para analizar DTMC desde una perspectiva probabilística. El objetivo de este trabajo es la utilización de este paquete para describir y analizar las tendencias en el cambio de la cobertura y del uso del suelo en Ixtapaluca, Estado de México, México, en el periodo 2008-2017. Los principales procesos de cambio originados por la actividad humana en la zona de estudio fueron: la desaparición de la agricultura de riego y la disminución de la superficie de agricultura de temporal. Finalmente, se destaca que los cambios son motivados por factores diversos y las condiciones resultantes de sus interacciones.

ABSTRACT

Markov chains represent a class of stochastic processes of great interest to applications. In particular, Discrete Time Markov chains (DTMC) allow modeling of transition probabilities between discrete states. *The markovchain package in R* contains functions to analyze DTMC from a probabilistic perspective. The objective of this work is the use of this package to describe and analyze trends in land cover and land use change in Ixtapaluca, State of Mexico, Mexico, in the period 2008-2017. The main processes of change originated by human activity in the study area were: the disappearance of irrigated agriculture and the decrease in the area of rainfed agriculture. Finally, it is highlighted that the changes are motivated by various factors and the conditions resulting from their interactions.

Palabras clave: deforestación, degradación de suelos, dinámica espacio-temporal, SIG

Keywords: deforestation, soil degradation, space-time dynamics, GIS

INTRODUCCIÓN

Los cambios de uso y cobertura del suelo se definen como la transformación ocurrida en una determinada unidad espacial, producto de un proceso dinámico de decisiones tomadas en torno al uso del suelo y de diversos factores a escala local, regional y/o global que influyen en tales decisiones. Aunque existen factores naturales que los motivan, los cambios en la cobertura del suelo actuales son generados principalmente por la actividad humana, la cual involucra la manipulación de la superficie terrestre con el objetivo de satisfacer alguna necesidad, individual o de la sociedad (Galeana-Pizaña & Jiménez-Ortega, 2020).

Lambin (2001) plantea que “los estudios sobre el cambio en la cobertura y uso del suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada”. Por otro lado, acuerdos internacionales de carácter ambiental como la Agenda 21 (UN, 1992) y la Agenda 2030 (UN, 2016) en sus diferentes apartados, coinciden en la conveniencia de ejecutar acciones acordadas que requieren conocimientos respecto a la situación que guarda el medio natural.

Los estudios de dinámica de uso del suelo contribuyen a conocer el tipo de manejo y aprovechamiento que el hombre hace de la naturaleza en un territorio. Además de las técnicas clásicas, desde la década de 1990 se han introducido, para estos estudios de dinámica espacio-temporal, las cadenas de Markov de tiempo discreto (DTMC, por sus siglas en inglés), que son técnicas de modelización de datos secuenciales. Actualmente las DTMC se consideran como una herramienta casi imprescindible en los análisis de cambio de uso de suelos. Los modelos de cambio de uso de suelo recientemente se han considerado como herramientas importantes para analizar las causas y consecuencias de la dinámica de cambio de uso del suelo (Reynoso *et al.*, 2015; Reynoso *et al.*, 2016)

En Ixtapaluca, Estado de México, México, se perciben procesos importantes de deforestación, degradación ambiental, pérdida de biodiversidad y, por lo tanto, pérdida de reservas genéticas, que se incrementan día a día debido al cambio de la cobertura y del uso de suelo. Los cambios de superficies forestales a superficies destinadas a la producción agrícola, la transición de áreas agrícolas a usos urbanos, la apertura y explotación de áreas dedicadas a la minería, así como, el incremento de población se ha convertido en una constante que se extiende poco a poco y que impacta en la calidad y cantidad de los servicios ecosistémicos locales. Es importante señalar que el Municipio de Ixtapaluca se encuentra ubicado en la parte centro-sur de la cuenca del Valle de México, a tan solo 7.5 kilómetros de la Ciudad de México, por lo que, en pocos años, será asimilado en la zona metropolitana de esta megalópolis (Luiselli-Fernández, 2019; Garza & Schteingart, 2010).

En este contexto, el presente trabajo consiste en identificar y cuantificar los cambios en la cobertura y el uso del suelo en el municipio de Ixtapaluca, determinando la dinámica que se ha presentado en estos cambios durante el periodo 2008 a 2017, a través de las cadenas de Markov de tiempo discreto.

MATERIALES Y METODOS

En una fase inicial se llevó a cabo la búsqueda, recopilación y análisis de información impresa y en formato digital del área. Fue de gran importancia la información de carácter geográfico localizada en el portal electrónico del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2009). Dicha información geográfica se analizó, organizó y sistematizó usando el software ArcGis 10.1.

La figura 1 muestra el área de estudio. El municipio se localiza a 19°14'30" de latitud norte y 98°57'15" de longitud oeste, en una altura de 2,235 msnm. Su extensión territorial es de 318.27 kilómetros cuadrados, que corresponde a 1.46% del territorio estatal. Ixtapaluca cuenta con un clima templado subhúmedo y semifrío subhúmedo y la precipitación pluvial anual es de 660 mm.

La identificación de los procesos de cambio de los diferentes tipos de coberturas y usos del suelo se realizó mediante el cruce de mapas de fechas diferentes obtenidos del procesamiento de las Series de Vegetación y Uso de Suelo IV y VI, elaboradas por INEGI (INEGI 2017a y 2017b).

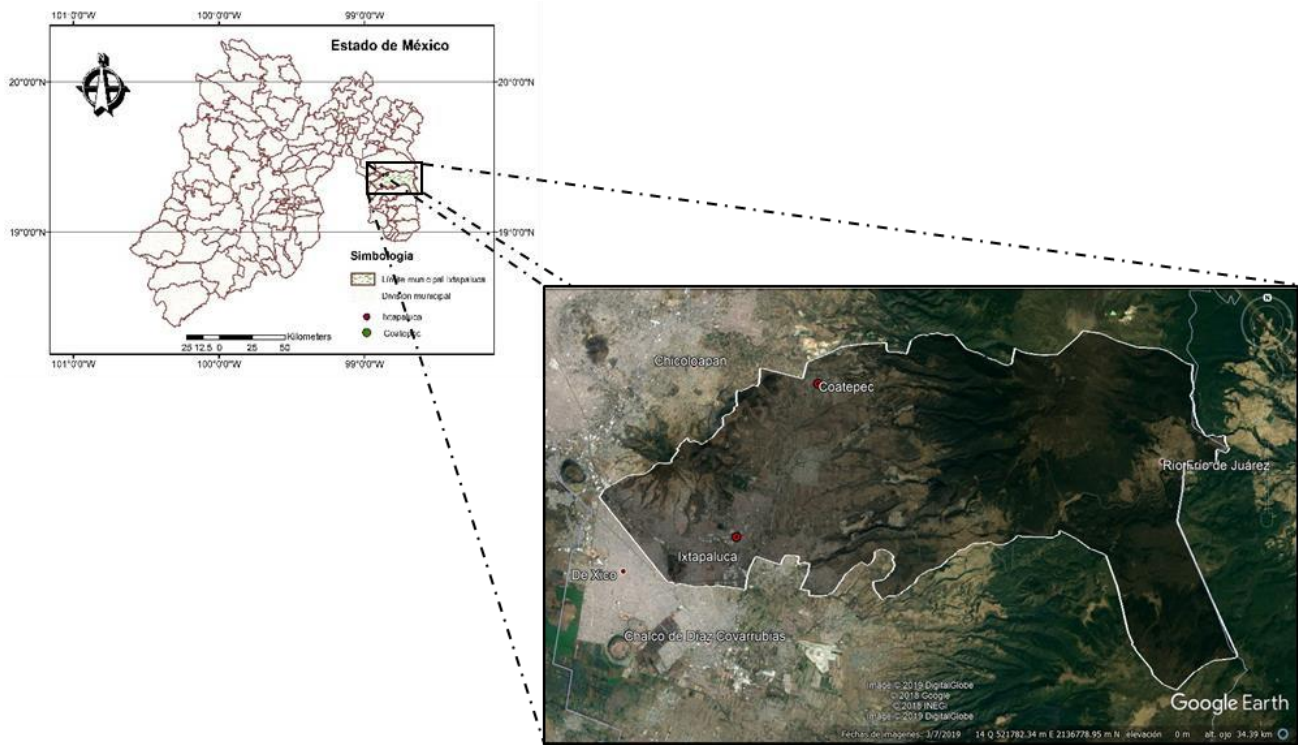


Fig. 1: Ubicación del área de estudio

El sistema de clasificación de uso del suelo y tipo de vegetación usado en este trabajo es el contemplado por las Series de uso de suelo y vegetación de INEGI, con algunas modificaciones para las categorías de bosques, usos antrópicos y fases de vegetación secundaria para bosques (Tabla 1).

El cálculo de la pérdida anual neta para cada tipo de vegetación se llevó a cabo con la siguiente ecuación:

$$P_a = \frac{(S_2 - S_1)}{t} \quad (1)$$

donde:

P_a = pérdida anual en superficie,

S₁ = superficie de la cobertura en la fecha inicial, **S₂** = superficie de la cobertura en la fecha final y **T** = periodo de tiempo analizado.

La cuantificación de procesos de cambio cartográficos se realizó a través de matrices markovianas de transición de probabilidades de cambio. Los modelos de cadenas de Markov proporcionan un estudio empírico del proceso de conversión de cambios de cobertura del suelo. Están fundamentados en datos observados y su representación de las condiciones actuales, incluyendo las condiciones relacionadas con las medidas realizadas, como las dinámicas espacial y temporal.

Las cadenas de Markov son herramientas utilizadas para la modelización del cambio en el tiempo de una variable aleatoria que comprende una secuencia de valores en el futuro, cada uno de los cuales depende únicamente del estado inmediatamente anterior y no de otros estados pasados (Brémaud, 1999).

Tabla 1: Reclasificación de clases de cobertura y usos del suelo de la zona de estudio.

SERIE IV INEGI	RECLASIFICACIÓN	Serie VI INEGI
Zona urbana	ANTRÓPICO	Área desprovista de vegetación Urbano construido
Agricultura de riego	AGRICULTURA DE RIEGO	Agricultura de riego semipermanente
Agricultura de temporal	AGRICULTURA DE TEMPORAL	Agricultura de temporal anual Agricultura de temporal permanente
Bosque cultivado	BOSQUE CULTIVADO	Bosque cultivado
Bosque de encino	BOSQUE DE ENCINO	Bosque de encino Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino
Bosque de oyamel	BOSQUE DE OYAMEL	Bosque de oyamel Vegetación secundaria arbustiva de bosque de oyamel
Bosque de pino	BOSQUE DE PINO	Bosque de pino Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino
Bosque de pino-encino	BOSQUE DE PINO-ENCINO	Bosque de pino-encino
Pastizal inducido	PASTIZAL	Pastizal inducido
Pradera de alta montaña	PRADERA DE ALTA MONTAÑA	Pradera de alta montaña

Una cadena de Markov de tiempo discreto (DTMC) es una sucesión de variables aleatorias X_1, X_2, \dots, X_n , que se caracteriza por la llamada propiedad de Markov que establece que la distribución de probabilidad del estado siguiente X_{n+1} depende sólo del estado X_n y no depende de los estados previos $X_{n-1}, X_{n-2}, \dots, X_1$.

La cadena se mueve de un estado a otro y la probabilidad p_{ij} de moverse del estado s_i al estado s_j en un paso es llamado probabilidad de transición y puede escribirse como:

$$p_{ij} = P_r (X_1 = s_j \mid X_0 = s_i) \quad (2)$$

Bajo el supuesto de que las probabilidades de transición dependen sólo del intervalo de tiempo entre el año inicial (S_1) y el año final (S_2) de análisis, se considera que el proceso estocástico es homogéneo.

El análisis del cambio de uso de suelo a través del método de cadenas de Markov permite profundizar en proyecciones territoriales y realizar análisis probabilísticos y estadísticos de los problemas bajo estudio. Las cadenas de Markov representan una clase de procesos estocásticos de gran interés para aplicaciones prácticas. En particular, las cadenas de Markov de tiempo discreto (DTMC) permiten modelar las probabilidades de transición entre estados discretos mediante la ayuda de matrices. Para la aplicación del modelo de Markov se han generado diversos paquetes de computación (Bai *et al.*, 2017).

Uno de los paquetes diseñados para trabajar con cadenas de Markov es *Markovchain para R*. Este es un paquete específicamente dedicado al análisis de DTMC (Spedicato, 2016; Spedicato, 2017) y es una herramienta eficiente para crear, gestionar y analizar cadenas de Markov.

Aquí sólo es necesario destacar que contiene funciones para analizar DTMC desde una perspectiva probabilística, proporcionando métodos para identificar estados absorbentes y transitorios y, desde la perspectiva del análisis estadístico, permite simular y predecir. Los métodos de estimación de parámetros que el paquete tiene implementado son: máxima verosimilitud, máxima verosimilitud con suavizamiento de Laplace, enfoque Bootstrap y máxima *a posteriori*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso de análisis de bases cartográficas permitió elegir finalmente las series IV (Figura 2) y VI (Figura 3) para integrar un sistema de información geográfica que permitió elaborar mapas (Figura 4) y tablas de procesos de cambio, definir las clases de coberturas y usos de suelo del área de estudio (Tabla 2), a partir de las cuales posteriormente cuantificar índices de variación entre clases de cobertura y usos del suelo en el periodo de estudio considerado a nivel municipal.

Para llegar a lo anterior fue necesario realizar un trabajo de reclasificación de las diferentes clases de uso de suelo y vegetación incluidas en las bases de datos de los mapas digitales de INEGI y su sobre posición en ArcGis.

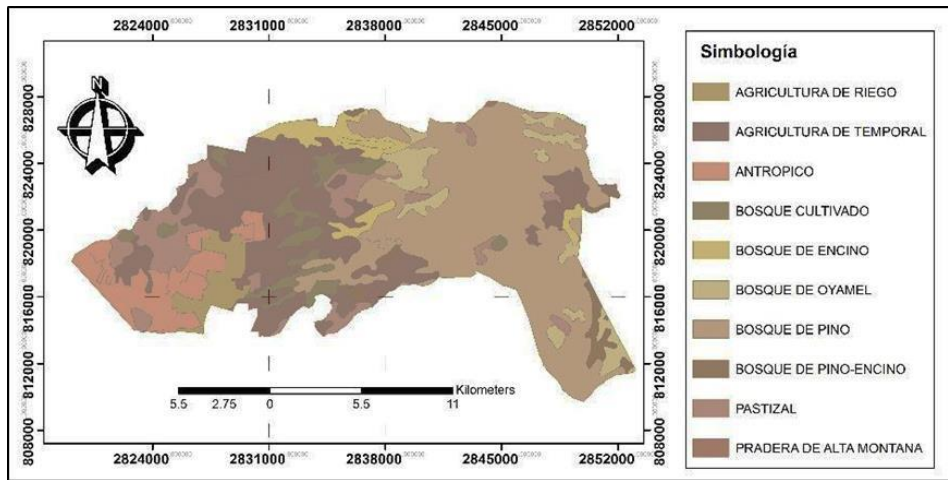


Fig. 2: Mapa de usos de suelo y tipos de vegetación del municipio Ixtapaluca, Estado de México, en el año 2008, Serie IV de las coberturas de Uso de suelo y vegetación de INEGI.

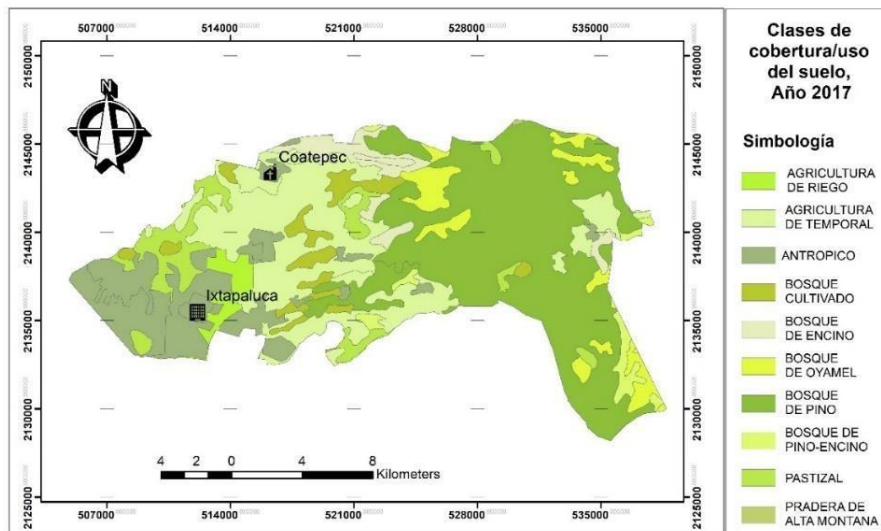


Fig. 3: Mapa de usos de suelo y tipos de vegetación del municipio Ixtapaluca, Estado de México, en el año 2017, Serie VI de las coberturas de Uso de suelo y vegetación de INEGI.

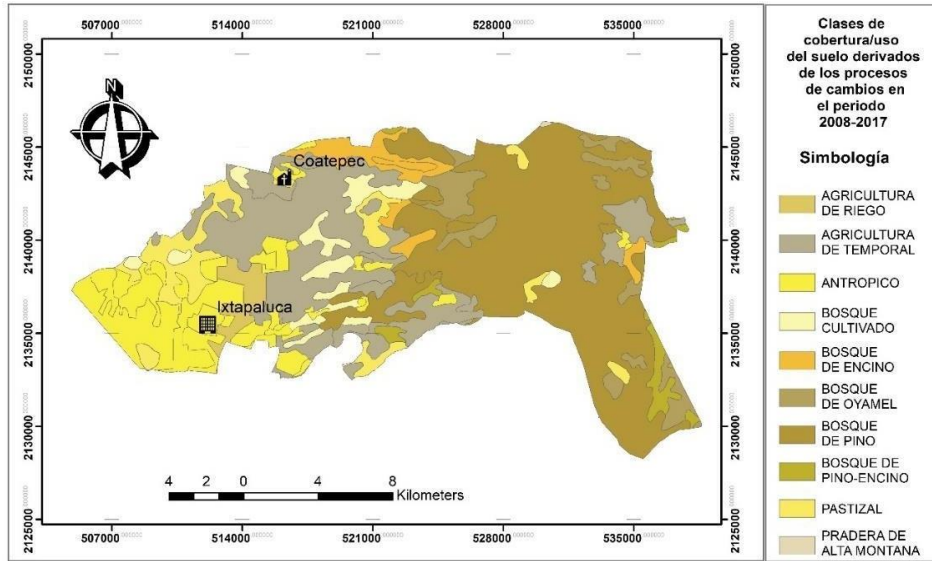


Fig. 4: Mapa de procesos de cambios de la cobertura y uso del suelo en el municipio Ixtapaluca, Estado de México.

Tabla 2: Clases de cobertura y uso del suelo para el análisis del cambio y la dinámica municipal

No	CLASE	CLAVE
1	Antrópico	Ao
2	Agricultura de riego	Ar
3	Agricultura de temporal	At
4	Bosque cultivado	Bc
5	Bosque de encino	Be
6	Bosque de oyamel	Bo
7	Bosque de pino	Bp
8	Bosque de pino-encino	Bp-e
9	Pastizal	Pz
10	Pradera de alta montana	Pam

El municipio de Ixtapaluca presenta una distribución homogénea altitudinal mente hablando de las coberturas y los usos del suelo presentes en la comunidad. Las Series de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI permiten identificar 10 clases o categorías para el periodo 2008-2017, siendo las más representativas las correspondientes al Uso antrópico o Urbano, agricultura de riego y la de temporal, y las clases correspondientes a las superficies forestales, en el que podemos encontrar los bosques de oyamel, pino, encino, y la combinación pino-encino. En un trabajo anterior al presente Arriaga-Rivera (2014), identifica para el periodo 1989-2000 cinco categorías: urbano, agropecuario, forestal, sin vegetación y pastizal.

La sobre posición de los mapas reclasificados y sus respectivas bases de datos permitió generar el mapa de procesos de cambio y su respectiva base de datos, la que mediante su procesamiento permitió generar la matriz de transición correspondiente (Tabla 3).

Tabla 3: Matriz de transición de uso de suelo municipal para el periodo 2008-2017.

		2017									Total 2008 (ha)	
		Ar	At	Ao	Bc	Be	Bo	Bp	Bp-e	Pz	Pam	
2008	Ar	671.78	0.48	424.41						0.00		1,096.66
	At	2.07	6,767.66	921.43	7.27	1.28		6.71	8.26	6.41		7,721.09
	Ao	1.53	1.14	2,644.78						2.40		2,649.85
	Bc		118.93	93.35	1,407.62	0.15		1.75		2.34		1,624.14
	Be		86.08	92.72	0.45	1,179.16	0.79	1.64	0.00			1,360.83
	Bo				0.29	0.20	1,705.22	13.22	2.64			1,721.57
	Bp		74.50	24.17	2.50	4.32	8.27	12,430.17	1.02	2.87	0.01	12,547.83
	Bp-e		1.73	0.01		0.59	1.15	4.13	653.94	0.38		661.92
	Pz		103.74	355.23	1.18	101.62	1.62	162.43		1,961.77		2,687.58
	Pam		0.22								13.33	13.55
Total 2017 (ha)		675.37	7,154.26	4,556.10	1,419.30	1,287.33	1,717.04	12,620.27	665.86	1,976.16	13.35	32,085.02

De la matriz de transición se pueden concluir algunos cambios en cuanto a las coberturas y usos del suelo municipal. Podemos observar que las clases Antrópico (Ao), Bosque de pino (Bp) y Bosque de Pino-Encino (Bp-e), por ejemplo, presentan una ganancia en superficie ocupada.

En caso de la clase antrópico el resultado es el esperado y, en la realidad, es muy visible. Al crecimiento poblacional natural de la comunidad se suma el incremento poblacional producto de la migración de personas provenientes de la Ciudad de México y de otros estados del país, lo cual se puede apreciar en la creación de nuevas colonias en la periferia.

En los casos de pérdida de cubierta original se determinó que la Agricultura de riego (Ar, 421.29 ha) y el Pastizal (Pz, 711 ha) fueron las clases que más superficie perdieron. El Pastizal (Pz) cedió para el uso Antrópico (Ao) 355.23 ha, en tanto que la Agricultura de riego (Ar) le cedió 424.41 ha. El cambio se da, en la mayoría de los casos, para incrementar el uso de suelo a un suelo urbano/habitacional.

Se elaboró una matriz de Markov de primer orden, para conocer la probabilidad de cambio para el periodo 2008-2017 (Tabla 4).

Tabla 4: Matriz de Probabilidades de cambio período 2008-2017

	Ar	At	Ao	Bc	Be	Bo	Bp	Bp-e	Pz	Pam	
Ar	0.61	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1
At	0.00	0.88	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1
Ao	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1
Bc	0.00	0.07	0.06	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1
Be	0.00	0.06	0.07	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1
Bo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.01	0.00	0.00	0.00	1
Bp	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.00	0.00	0.00	1
Bp-e	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.99	0.00	0.00	1
Pz	0.00	0.04	0.13	0.00	0.04	0.00	0.06	0.00	0.73	0.00	1
Pam	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.98	1

Puede observarse que las categorías que tiene mayor probabilidad de permanecer en el tiempo son, Antrópico (Ao), Bosque de oyamel (Bo), Bosque de pino (Bp) Bosque de Pino-Encino (Bp-e) y Pastizal (Pz). La clase que tuvo una menor probabilidad de permanecer en el mismo tipo de cobertura, fue la de Agricultura de riego (Ar).

El diagrama de flujo de probabilidades de transición muestra la probabilidad de cambio de las clases entre el periodo 2008-2017. (Figura 5). Con círculos se indican las clases de tipos de vegetación y uso de suelo; las flechas indican la dirección de cambio y el valor indica la probabilidad de cambio de una formación a otra.

Se puede observar que la clase Antrópico (Ao) tiene altas posibilidades de permanecer en la misma categoría (1.00), y que es la categoría hacia la que las restantes pueden migrar. La Agricultura de riego, por ejemplo, muestra una alta probabilidad de migrar hacia un uso Antrópico (Ao), de hecho, este cambio se puede ver claramente en gran parte del municipio, áreas que se ubican en la parte de menor pendiente, con los suelos más profundo, vías de comunicación en buenas condiciones han dejado de ser productoras de alfalfa, maíz, y frijol, son ahora áreas dedicadas al desarrollo de unidades habitacionales.

Obsérvese que las tendencias en cuanto al crecimiento y/o disminución de las superficies urbanas, agrícolas y forestales coinciden, no así en el caso del pastizal, que representa la clase con mayor pérdida de superficie ocupada en el periodo de tiempo considerado.

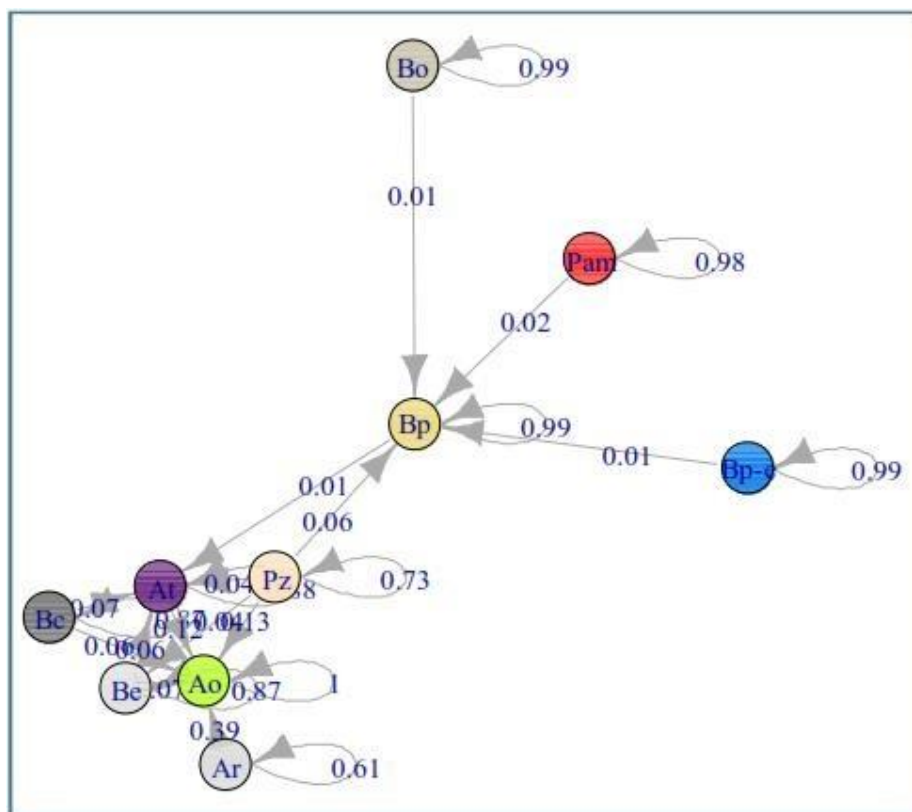


Fig. 5: Diagrama de flujo de las probabilidades de transición de coberturas y usos del suelo en el periodo 2008-2017.

En caso particular del pastizal Arriaga-Rivera (2014), reporta superficies considerables de transición de las áreas forestales a los pastizales (11.15 km²), lo cual podría indicar que existían procesos de deforestación más fuertes que los encontrados en el periodo 2008-2017.

El uso antrópico, al igual que el uso forestal, posee una importancia predominante en los estudios de cambio de uso de suelo. El impacto de actividades como la minería, el uso urbano-habitacional en la transformación del paisaje, se aprecia de manera inmediata, sin embargo, son también importantes por el efecto que causan a largo plazo en el medio ambiente.

CONCLUSIONES

El municipio de Ixtapaluca ha pasado de ser un área de producción agrícola a una zona habitacional, con las necesidades de recursos y servicios que esto involucra. La migración es un fenómeno importante en el aumento de población. Las cadenas de Markov han permitido conocer la probabilidad de cambio para el periodo 2008-2017, mostrando, objetivamente, que la clase Antrópico (Ao) tiene altas posibilidades de permanecer en la misma categoría (con probabilidad 1.00), y que es la categoría hacia la que las restantes pueden migrar.

Los principales procesos de cambio originados por la actividad humana en la zona de estudio son: la desaparición de la agricultura de riego, la disminución de la superficie de agricultura de temporal, la transformación de las áreas de pastizal hacia una amplia variedad de coberturas y usos distintas a esta clase y el incremento constante de las coberturas y usos antrópicos.

Los procesos de deforestación, de acuerdo a los cambios registrados en estas superficies en el periodo de estudio analizado, han disminuido.

Un conocimiento más objetivo de los cambios, obtenidos a través de los modelos de Markov, permitirán tomar mejores decisiones.

Los cambios en la cobertura y uso del suelo son motivados por factores diversos y las condiciones resultantes de sus interacciones. Algunos de estos factores son el incremento de la población, las políticas definidas para el aprovechamiento de los recursos de uso común, que en ocasiones son contradictorios a las políticas de conservación para estos mismos recursos, el desempleo, y la falta de condiciones para generarlo, la corrupción, el aprecio hacia la naturaleza, las corrientes políticas, la educación, entre otros.

El control de los cambios en estos elementos, cobertura y uso de suelo, deben por lo tanto considerar una multitud de aspectos enfocados y articulados para el control los factores que los favorecen.

REFERENCIAS

Arriaga Rivera, A. (2014). Comparación y cuantificación de los usos del suelo en el municipio de Ixtapaluca, Estado de México, 1989-2000, mediante teledetección. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 16 (2), 27-61.

Bai, J., Del campo, C. & Keller, I.R. (2017). Modelos de cadenas de Markov en la práctica: una revisión de opciones de software de bajo coste. *Revista Investigación Operacional*, 38 (1), 56-62.

Brémaud, P. (1999). "Discrete-Time Markov Models." In: Markov Chains, 53–93. Springer Verlag. pp. 53 - 93.

Galeana-Pizaña, J. M., & Jiménez-Ortega, A. D. (2020). Degradación de suelos, pérdida superficie forestal, cambio de uso de suelo vs Manejo y recuperación de suelos en la región Sur-Sureste. http://sursureste.org.mx/sites/all/themes/fidesur/archivo/erac/Ficha_Degradacion_CUS_rev.pdf

Garza, G. & Schteingart, M. (Coordinadores). (2010). *Los grandes problemas de México II: Desarrollo urbano y regional*. El Colegio de México. 657 p. (ISBN 978-607-462-116-7).

INEGI (2009). *Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Ixtapaluca, México*.

Clave Geoestadística 15039. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15039.pdf

INEGI (2017a). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Comunicado de Prensa Núm. 535/17. INEGI presenta Carta de Uso de Suelo y Vegetación Serie VI. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2017/especiales/especiales2017_12_01.pdf

INEGI (2017b). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Guía para la interpretación de cartografía Uso del Suelo y Vegetación. Escala 1:250,000 Serie VI. México: INEGI.

Lambin, E.F. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 261-269.

Luiselli-Fernández, C. (2019). Los desafíos del México urbano. *ECONOMIA UNAM*, 16 (46), 183-195.

Reynoso, S.R., Valdez L.J.R., Escalona, M.J.M. & de los Santos, P.H.M. (2015). Análisis de la dinámica del uso del suelo de la cuenca Metztlán en Hidalgo, México. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36 (3), 102-111.

Reynoso, S.R., Valdez, L.J.R., Escalona, M.J., de los Santos, P.H.M. & Pérez, H.M.J. (2016). Cadenas de Markov y autómatas celulares para la modelación de cambio de uso de suelo. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37 (1), 72-81.

Spedicato, G.A. (2016). *Markovchain: An R Package to Easily Handle Discrete Markov Chains*. R package version 0.4. <https://github.com/spedygiorgio/markovchain/>

Spedicato, G.A (2017). Discrete Time Markov Chains with R." *The R Journal*, 9 (2), 84-104. <https://journal.r-project.org/archive/2017/RJ-2017-036/index.html>

UN, Nations United (1992). Agenda 21: Programa de Acción para el Desarrollo Sustentable, Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio Ambiente y Desarrollo, Rio de Janeiro, 3-14 Junio, 1992. NACIONES UNIDAS.

UN, Nations United (2016). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe. Disponible en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD002645.pdf>