



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

## **POSGRADO EN GEOGRAFÍA**

**Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental  
CIGA**

**“Modelo dinámico de cambio de cobertura y uso de  
suelo en una zona de transición urbano - rural, entre  
la ciudad de Morelia y el ejido Jesús del Monte”**

## **TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE**

**MAESTRO EN GEOGRAFIA**

**PRESENTA**

**YURI QUIROZ ORTUÑO**

**ASESOR DE TESIS: Dr. JEAN FRANCOIS MAS**

**MEXICO**

**2009**



## INDICE

	<b>Página</b>
INTRODUCCIÓN	9
1. Resumen	9
2. Introducción	9
2.1. Introducción General	10
2.2. Problema de la Investigación	11
2.3. Preguntas de investigación	11
2.3.1. Hipótesis	11
2.3.2. Objetivo General	11
2.3.3. Objetivos específicos	11
3. Área de estudio	12
3.1.1. Ubicación	12
3.1.2. Principales elementos Orográficos	12
3.1.3. Hidrografía	13
3.2. Crecimiento Urbano en la Ciudad de Morelia	13
3.2.1. Marco Histórico	13
3.2.2. Problemática Actual	16
3.2.2.1. Cambio en la Tenencia de la Tierra	16
3.2.2.2. Planes de Desarrollo Urbano	17
3.2.2.3. Fraccionadoras	18
3.2.2.3.1. Ciudad Tres Marías	19
3.2.2.3.2. Montaña Monarca	19
3.2.2.3.3. Cerro Verde	21
CAPITULO I.	
“CARACTERIZACIÓN DE COBERTURA, FLORA Y USO DEL SUELO”	23
1. Cambio de Cobertura y Uso del Suelo	23
2. Metodología	23
2.1. Sistema clasificatorio de cobertura, vegetación y uso del suelo	23
2.2. Materiales para la interpretación visual de cobertura y uso de suelo	25
2.3. Método de interpretación visual de cobertura y uso de suelo	25
2.3.1. Cubierta vegetal y uso del suelo (1969)	25
2.3.2. Cubierta vegetal y uso del suelo (1995)	25
2.3.3. Cubierta vegetal y uso del suelo (2004)	25
2.3.4. Cubierta vegetal y uso del suelo (2006)	26
2.3.5. Verificación de campo	26
2.3.6. Preparación de las bases de datos	27
3. Resultados y discusión	28
3.1. Leyenda utilizada para el análisis de cambio	28
3.2. Coberturas	30
3.2.1. Coberturas 1969	30
3.2.2. Coberturas 1995	31
3.2.3. Coberturas 2004	32
4. Conclusiones y Recomendaciones	34
CAPITULO II	
“ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE CAMBIO DE COBERTURA Y USO DEL SUELO”	36
1. Cambio de cobertura y uso de suelo	36
2. Marco metodológico	37
2.1. Análisis de cambio de cobertura y uso del suelo	37
2.2. Estimación de los proceso de cambio	38
3. Resultados y Discusión	39
3.1. Análisis periodo 1969-1995 (t1 – t2)	39



3.2. Análisis periodo 1995-2004 (t2 – t3)	42
4. Conclusiones y Recomendaciones	47

### CAPITULO III

“MODELIZACIÓN PROYECTIVA DE COBERTURA Y USO DEL SUELO”	48
1. Modelos de Predicción	48
1.1. Concepto	48
1.2. Tipos de modelización	48
1.3. Autómatas Celulares	49
2. Metodología	52
2.1. Determinación y elección de variables de entrada	52
2.1.1. Variables que controlan los cambios	52
2.1.2. Reclasificación de Cobertura y Uso de suelo	54
2.2. Calibración del Modelo	55
2.2.1. Calculo de la Matriz de Transición	55
2.2.2. Calculo de los Rangos de Pesos de Evidencia	56
2.2.3. Calculo de los Pesos de evidencia	57
2.2.4. Análisis de correlación de las variables	60
2.3. Modelamiento	61
2.3.1. Modelo conceptual	61
2.3.2. Análisis de comportamiento de los pesos de evidencia	64
2.3.3. Análisis y determinación de los parámetros de Patcher y Expander	65
2.3.3.1. Expander	65
2.3.3.2. Patcher	66
2.4. Validación del Modelo	66
2.4.1. Prueba de la función de decaimiento exponencial	67
2.4.2. Prueba de la función constante del decaimiento con ventanas múltiples	67
3. Resultados y discusión	68
3.1. Variables que controlan los cambios	68
3.2. Cobertura y uso de suelo reclasificados	71
3.3. Calibración del Modelo	72
3.3.1. Determinación y elección de variables de entrada	72
3.3.2. Matriz de Transición	73
3.3.3. Rangos de Pesos de Evidencia	76
3.3.4. Pesos de evidencia	77
3.3.5. Correlación de los Pesos de Evidencia	78
3.4. Modelización	78
3.4.1. Pesos de Evidencia	79
3.4.2. Parámetros de Fragmentación y Expansión	85
3.4.2.1. Fragmentación	86
3.4.2.2. Expansión	86
3.5. Validación de modelo	87
3.5.1. Prueba de la función de decaimiento exponencial	89
3.5.2. Prueba de la función constante del decaimiento con ventanas múltiples	89
3.6. Modelo de simulación 2015 (Escenario I)	90
3.7. Mejoras y otros posibles escenarios (Escenarios II y III)	92
4. Conclusiones y recomendaciones	96

### CAPITULO IV

“EVALUCION DE LA APLICACIÓN Y FUNCIONALIDAD DEL MODELO PROYECTIVO”	99
1. Introducción	99
2. Metodología	99
3. Análisis y discusión de entrevistas	100
3.1. Análisis del contexto actual	100
3.2. Identificación de los actores que intervienen	103



3.3. Identificación del proceso de cambio	106
3.4. Sobre el Modelo (metodología)	108
4. Conclusiones y recomendaciones	111
DISCUSION Y CONCLUSIONES GENERALES	113
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	117
INDICE DE FIGURAS	
INTRODUCCIÓN	
Figura 1: Ubicación de la zona de estudio	12
Figura 2: Acercamiento de la zona de estudio	13
Figura 3: Consecuencias de la actual relación Ciudad - Medio ambiente	16
Figura 4: Cambio a través del tiempo, en la política urbana de los planes de desarrollo urbano de la ciudad de Morelia	18
Figura 5: Fraccionamiento "Montaña Monarca"	21
Figura 6: Vista Panorámica del fraccionamiento Cerro verde	22
CAPITULO I	
Figura 1: Puntos de control en campo	24
Figura 2: Entrevista a actores locales	24
Figura 3: Metadatos para estandarización de mapas	28
Figura 4: Mapa de Cobertura 1969	31
Figura 5: Mapa de Cobertura 1995	32
Figura 6: Mapa de Cobertura 2004	34
CAPITULO II	
Figura 1: Esquema del modelo de cambio	37
Figura 2: Matriz para la designación de procesos de cambio	38
Figura 3: Procesos de Cambio 1969 – 1995	39
Figura 4: Cambio de Coberturas 1969 – 1995	40
Figura 5: Tasa de cambio 1969 – 1995	41
Figura 6: Procesos de Cambio 1995 – 2004	42
Figura 7: Cambio de Coberturas 1995 - 2004	44
Figura 8: Tasa de cambio 1995 - 2004	44
Figura 9: Tendencias de cambio de cobertura	46
Figura 10: Tendencia de los procesos de cambio	46
CAPITULO III	
Figura 1: Dos ejemplos (1,2 y 3) de autómata celular "Juego de la vida "	50
Figura 2: Árbol de decisiones para la discriminación de variables	53
Figura 3: Esquema metodológico de procesamiento de variables	54
Figura 4: Esquema de reclasificación	55
Figura 5: Modelo para el cálculo de matriz de transición	56
Figura 6: Modelo para el cálculo de rangos de pesos de evidencia	56
Figura 7: Modelo para el cálculo de pesos de evidencia	60
Figura 8: Modelo para el cálculo de correlación de las variables	61
Figura 9: Esquema de modelo conceptual del caso de investigación	63
Figura10: Preguntas para el análisis de comportamiento de pesos de evidencia	64
Figura11: Transición de probabilidades después de aplicar la función expander	65
Figura12: Algoritmo patcher para escoger una mancha	66
Figura13: Modelo de prueba de la función de decaimiento exponencial	67
Figura14: Modelo de prueba de la función constante del decaimiento con ventanas múltiples	68
Figura 15: Base de datos preliminar de las posibles variables que influyen en el cambio de cobertura y uso del suelo	71



Figura 16: Cobertura y uso de suelo reclasificados del periodo 1995 - 2004	71
Figura 17: Porcentaje de cambio de coberturas de 1995 - 2004	75
Figura 18: Tendencia de cambio de coberturas para el periodo 1995 – 2004	76
Figura 19: Ejemplo de rangos de pesos de evidencia para la transición 1 a 3	77
Figura 20: Ejemplo de pesos de evidencia para la transición 1 a 3	77
Figura 21: Correlación detectada entre pesos de evidencia	78
Figura 22: Ejemplo de pesos de evidencia sin modificación	79
Figura 23: Ejemplo de pesos de evidencia con modificación leve	80
Figura 24: Ejemplo de pesos de evidencia fuertemente modificados	81
Figura 25: Ejemplo de pesos de evidencia descartados	82
Figura 26: expresión espacial de probabilidad para cada transición	84
Figura 27: tablas de proporción de polígonos que se expresan por fragmentación o expansión	85
Figura 28: Tablas con los parámetros para la función partcher	86
Figura 29: tablas con los parámetros para la función expander	87
Figura 30: Ejemplo de la diferencia en la sobreposición para la comparación de la cobertura 2006 vs. S3, para un tamaño de ventana de 51 píxeles	89
Figura 31: Prueba de validación cobertura 2006 vs. S1, S2, S3	90
Figura 32: Cobertura vegetal y uso de suelo simulada para el 2015	91
Figura 33: Cobertura vegetal y uso de suelo simulada para el 2006, con tasa de urbanización triplicada (simulación Z3)	92
Figura 34: prueba de validación cobertura 2006 vs. Z1, Z2, Z3	92
Figura 35: Cobertura vegetal y uso de suelo simulada para el 2015, con tasa de urbanización triplicada	93
Figura 36: Cobertura y uso de suelo simulada para el 2015, con tasa de urbanización triplicada comparada con los límites de la variable “Infraestructura a construir”	94
Figura 37: Cobertura vegetal y uso de suelo simulada para el 2015, con tasa de urbanización triplicada, transición bosque a asentamiento humano incluida y pesos de evidencia elevados para la influencia de la variable “infraestructura programada “	95
Figura 38: Comparación de los tres diferentes posibles escenarios	96
<b>FIGURAS (CAPITULO IV)</b>	
Figura 1: Diagrama de Venn, resultante de las tres entrevistas a los actores clave	103
Figura 2: Esquema del proceso de cambio en la zona de estudio según entrevistados y sus posibles variantes	107
<b>INDICE DE TABLAS</b>	
<b>CAPITULO I</b>	
Tabla1: Resumen de materiales empleados para la interpretación visual de cobertura y uso de suelo	25
Tabla 2: Especies vegetales identificadas	28
Tabla 3: Ejemplo de codificación de flora	29
Tabla 4: Tipos de usos identificados	29
Tabla 5: Leyenda de cobertura para la localidad de Jesús del Monte	30
<b>CAPITULO II</b>	
Tabla 1: Matriz de cambio t1 –t2 (Tasas en porcentaje anual)	40
Tabla 2: Índice de importancia para Procesos de cambio t1 –t2	41
Tabla 3: Matriz de cambio t2 –t3 (Tasas en porcentaje anual)	43
Tabla 4: Índice de importancia para Procesos de cambio t2 –t3	45
<b>CAPITULO III</b>	
Tabla1: Características de algunos modelos basados en autómatas celulares	51
Tabla 2: Variables seleccionadas para el modelo proyectivo	72
Tabla 3: Matriz de probabilidades de transición de paso simple (periodo 1995-2004)	74



Tabla 4: Matriz de probabilidades de transición de paso múltiple (paso de un año)	74
Tabla 5: Transiciones detectadas y tomadas en cuenta en el modelo proyectivo	74
Tabla 6: Resumen de corrección de pesos de evidencia	83
Tabla 7: Primeros y segundos resultados de comparación, cobertura 2006 vs. S1, S2, S3, para una ventana de 51 píxeles (510 * 510 m)	89
CAPITULO IV	
Tabla 1: Identificación de los principales “cuellos de botella”, por parte del propietario local	105
Tabla 2: Identificación de los principales “cuellos de botella”, por parte del diputado federal	105
Tabla 3: Identificación de “buenas practicas”, por parte del propietario local	106
Tabla 4: Análisis FODA de la metodología empleada en la modelización	109
ANEXOS	121
CAPITULO I	
ANEXO Cap.I-A	122
ANEXO Cap.I-B	135
CAPITULO II	
ANEXO CAP.II	146
CAPITULO III	
ANEXO CAP III-A	151
ANEXO CAP III-B	166
ANEXO CAP III-C	169
CAPITULO IV	
ANEXO CAP IV-A	193
ANEXO CAP IV-B	202
ANEXO CAP IV-C	209



## 1. Resumen

El contexto de crecimiento urbano acelerado en la ciudad de Morelia y su posible impacto en la sociedad, hacen que sea importante entender qué propicia y como se expresa la dinámica de cambio de cobertura y uso del suelo en el tiempo, especialmente en las áreas rurales aledañas, a fin de prever su futuro comportamiento espacial y sensibilizar a su población sobre algunos de sus posibles efectos. Con este propósito, se eligió una pequeña zona de transición rural – urbana, entre la ciudad de Morelia y el ejido Jesús del Monte.

Antes de realizar el modelo de cambio como tal, se elaboró un sistema de clasificación que incluye información de especies vegetales, cobertura y uso de suelo, que fue usado en la leyenda de los mapas para los años 1969, 1995 y 2004. Con base en estas capas se elaboró y caracterizó un modelo de procesos de cambio de cobertura y uso de suelo, para los periodos 1969-1995 y 1995-2004, fundamentado en matrices marcovianas, que dieron las pautas iniciales en el entendimiento de la dinámica de cambio de cobertura y uso del suelo en la zona.

A partir de los resultados encontrados en los análisis de los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo; las capas de cobertura reclasificadas de las dos últimas fechas, sus respectivas tasas de cambio, las variables biofísicas, previamente recopiladas y seleccionadas, y el cálculo de probabilidad de cambio, basado en los pesos de evidencia, se elaboró un modelo prospectivo de cambio, explícitamente espacial, basado en autómatas celulares; mismo que fue evaluado y validado con el mapa de cobertura y uso suelo del 2006. Culminada la calibración y validación, este modelo fue corrido hasta el año 2015.

Tres escenarios prospectivos, resultantes de la aplicación del modelo y sus variaciones, fueron confrontados y analizados por medio de entrevistas a un propietario local, un funcionario público y un diputado federal, entendidos y relacionados con la problemática de la zona con el propósito de evaluar, de manera indicativa, los escenarios resultantes, así como la funcionalidad y algunas posibles aplicaciones de la metodología empleada para realizar el modelo. De igual forma se indagó en las entrevistas, sobre el contexto en el que se dio, se da y dará el cambio de cobertura y uso del suelo en la zona de estudio, con el objeto de proporcionar una idea de los posibles factores, sociales, económicos, políticos y culturales que propician la dinámica de cambio.