



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN GEOGRAFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

MODELADO ESPACIAL DE LA DINÁMICA DE LOS BOSQUES DE *QUERCUS*
MANEJADOS PARA CARBÓN VEGETAL EN LA CUENCA DEL LAGO DE
CUITZEO, MICHOACÁN

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:
JAIME RAFAEL GONZÁLEZ LÓPEZ

TUTOR
DR. ADRIÁN GHILARDI
CIGA-UNAM

MÉXICO, D. F., Septiembre 2013

Agradecimientos

A mi familia.

A mis amigos.

A toda la comunidad del CIGA. Especialmente a Adrián Ghilardi.

A los sinodales: Gabriela Cuevas García, Jean-François Mas Causel, Omar Raúl Masera Cerutti y Luis Miguel Morales Manilla por mejorar la tesis.

A CONACYT por el apoyo brindado estos dos años.

Y... al que la lea.

Why Model?

"Why model?" Imagining a rhetorical (non-innocent) inquisitor, my favorite retort is, "You *are* a modeler." Anyone who ventures a projection, or imagines how a social dynamic—an epidemic, war, or migration—would unfold is running *some* model.

Joshua M. Epstein

El mapa y el territorio

"En aquel Imperio, el arte de la Cartografía logró tal perfección que el mapa de una sola provincia ocupaba toda una ciudad, y el mapa del Imperio, toda una provincia. Con el tiempo, esos mapas desmesurados no satisficieron y los colegios de cartógrafos levantaron un mapa del Imperio que tenía el tamaño del Imperio y coincidía puntualmente con él. Menos adictas al estudio de la cartografía, las generaciones siguientes entendieron que ese dilatado mapa era inútil y no sin impiedad lo entregaron a las inclemencias del sol y los inviernos. En los Desiertos del Oeste perduran despedazadas ruinas del mapa, habitadas por animales y mendigos."

Jorge Luis Borges

RESUMEN

El presente trabajo se enmarca dentro del manejo de recursos naturales, en particular de recursos forestales maderables con fines energéticos en países en desarrollo.

La extracción de madera para producir carbón vegetal en los países en desarrollo es frecuentemente identificada como una causa de degradación forestal, e incluso de deforestación (Mwampamba, 2007; IEA, 2009; Chidumayo y Gumbo, 2013). Esto tiene a su vez implicaciones climáticas por las emisiones netas de gases de efecto invernadero y ambientales por la pérdida de servicios ecosistémicos. Sin embargo, bajo prácticas de manejo sustentable, el carbón vegetal representa una fuente de energía renovable y de ingresos para la población rural de bajos recursos (Minten *et al.*, 2013; Schure *et al.*, 2013). Se ha resaltado en la literatura internacional la necesidad de contar con metodologías y modelos espaciales para evaluar los impactos asociados a la producción tradicional de carbón vegetal, como así también su potencial de producción sustentable (Kituyi, 2004; Arnold *et al.*, 2006; Ghilardi *et al.*, 2013).

La degradación forestal ocasionada por la extracción de madera para producir carbón vegetal es un proceso dinámico, determinado en parte por la respuesta de la vegetación a la perturbación y por las preferencias y limitaciones de los diferentes actores (*e.g.* los carboneros). En este trabajo, a través del análisis y modelado espacial se analiza la dinámica espaciotemporal de la cosecha de madera de encino para producir carbón vegetal en la Cuenca de Cuitzeo, Michoacán. El modelo proyecta a futuro los sitios y el volumen de cosecha de manera iterativa con a) cambios de cobertura y uso del suelo, b) crecimiento natural de la vegetación después del aprovechamiento, c) preferencias de los leñadores por ciertos lugares para producir carbón vegetal, y d) un componente estocástico que evita que las proyecciones sean totalmente deterministas.

El primer capítulo es una breve introducción sobre la producción y consumo de carbón vegetal en México y el mundo, y los impactos ambientales frecuentemente asociados. Se describe también el área de estudio.

En el segundo capítulo se describen los objetivos de la investigación y se justifica la presente investigación.

El tercer capítulo se compone del desarrollo del modelo que integra dos submodelos: uno sobre la dinámica de cambio de cobertura y uso de suelo, y el otro sobre la extracción de madera para producir carbón vegetal y la respuesta de la vegetación al disturbio.

En el cuarto capítulo se generaron escenarios en donde se incorporan cambios en las prácticas de manejo: conservación, deforestación y restauración; y en las eficiencias de conversión de madera a carbón vegetal (*i.e.* hornos más eficientes).

Por último, a manera de conclusión, se concretan los aportes de la tesis y se mencionan aquellas líneas de trabajo que deben ser exploradas como continuación del presente trabajo, a fin de mejorar nuestro conocimiento sobre la producción sustentable de carbón vegetal.

ÍNDICE

1	Introducción	1
1.1	Panorama mundial de la producción y consumo de carbón vegetal.....	4
1.2	Producción y consumo de carbón vegetal en México.....	6
1.3	Área de estudio	7
2	Justificación del trabajo y objetivos.....	9
2.1	Objetivo general.....	10
2.2	Objetivos particulares	10
3	Modelado espacialmente explícito de la dinámica de producción de carbón vegetal y del cambio de cobertura y uso de suelo en la cuenca del lago de Cuitzeo	11
3.1	Submodelo de cambio de cobertura y uso de suelo.....	11
3.1.1	Introducción.....	11
3.1.2	Métodos.....	12
3.1.3	Resultados.....	15
3.2	Submodelo de producción de carbón vegetal	21
3.2.1	Introducción.....	21
3.2.2	Métodos.....	21
3.2.3	Resultados.....	27
4	Escenarios	34
4.1	Introducción	34
4.2	Métodos	34
4.3	Resultados.....	36
5	Conclusiones y direcciones futuras de investigación	40
6	Referencias.....	42

Índice de tablas

Tabla 1. Variables explicativas del modelo de CCUS.	12
Tabla 2 Clases utilizadas en los mapas de coberturas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo para los años 1975 y 2000.	13
Tabla 5. Matriz de transición de un solo paso para el período 1975-2000.....	16
Tabla 6. Probabilidades de cambio anual y por período completo por transición.	16
Tabla 8. Insumos para el submodelo de producción de carbón vegetal.....	21
Tabla 9. Criterios utilizados en la generación de escenarios.....	30
Tabla 10. Escenarios generados a partir de la combinación de distintos criterios.....	30
Tabla 11. Parámetros del modelo.....	34
Tabla 12. Probabilidad utilizada para generar el escenario de conservación.....	35
Tabla 13. Probabilidad utilizada para realizar el escenario de deforestación.....	36
Tabla 14. Eficiencias de hornos.....	36

Índice de figuras

Figura 1. Horno tradicional en la cuenca de Cuitzeo.....	2
Figura 2. Construcción de un horno tradicional en el siglo XVI.....	2
Figura 3. Porcentajes en el 2010 de principales fuentes de energía primaria en el mundo.	4
Figura 4. Porcentajes de las principales fuentes de energía renovable.	5
Figura 5. Porcentaje de producción por continente	5
Figura 6. Principales 4 productores mundiales y México.	6
Figura 7. Cuenca del lago de Cuitzeo.	8
Figura 8. Cálculo de la matriz de transición.	14
Figura 9. Porcentajes de las clases del área total.	15
Figura 10. Tasas de cambio.	16
Figura 11. Comparación entre las distintas clases para los años 1975, 2000 y la simulación para el año 2030.....	17
Figura 12. Cambio de cobertura y uso de suelo de las coberturas de los años 1975, 2000 y la cobertura simulada de 2030.	18
Figura 13. Cambio de cobertura y uso de suelo de las coberturas de los años 1975, 2000 y la cobertura simulada de 2030.	19
Figura 14. Integración del submodelo de CCUS y de producción de carbón vegetal.	22
Figura 15. Selección de los sitios de cosecha de madera y producción de carbón	23
Figura 16. Proyección de la cantidad de madera cosechada	24
Figura 17. Identificación de sitios cosechados	24
Figura 18. Función sigmoidea.....	25
Figura 19. Efecto del aumento de la clase “Bosque de encino”	27
Figura 20. Efecto de la reducción de la clase “Bosque de encino”.	28
Figura 21. Efecto de la cosecha en la biomasa aérea disponible..	29
Figura 22. Biomasa total bajo distintos escenarios..	31
Figura 23. Trayectorias de las simulaciones bajo distintos escenarios proyectados a 30 años.....	31
Figura 24. Dinámica de la clase “bosque de encino”.....	33
Figura 25. Escenarios de prácticas de manejo.....	37
Figura 26. Escenarios bajo distintos hornos.	37
Figura 27. Impacto del cambio tecnológico en la deforestación.	38
Figura 28. Prácticas de conservación, restauración y cambio de tecnología.....	38
Diagrama de flujo 1. Modelo de producción de carbón vegetal y de cambio de cobertura y uso de suelo.....	26