



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**POSGRADO EN GEOGRAFÍA**

**CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL**

**IMPACTOS DE LA PRODUCCIÓN CLANDESTINA DE CARBÓN VEGETAL  
SOBRE LOS PATRONES ESPACIALES DE DEGRADACIÓN FORESTAL EN LA  
CUENCA DE CUITZEO, MICHOACÁN**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRA EN GEOGRAFÍA**

PRESENTA:

**ANA ISABEL FERNÁNDEZ MONTES DE OCA**

**ASESOR: Dr. ADRIÁN GHILARDI**

**CIGA**

CENTRO DE INVESTIGACIONE  
EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

U N A M

**MORELIA, MICHOACÁN**

**JUNIO 2012**



**Al posgrado de Geografía, UNAM, por el apoyo brindado en mi formación académica.**

**Muy especialmente a los miembros del Comité tutorial: Dr. Jean Francois Mas Causel, Dra. Margaret Skutsch, Dr. Alberto Gómez-Tagle Chávez y al Dr. Miguel Ángel Castillo Santiago; por brindarme su tiempo y consejos para la realización de este trabajo.**

## Resumen

El principal producto forestal maderable de los bosques secundarios en términos de volúmenes extraídos, es madera que se utiliza con fines energéticos. La gran mayoría de ésta madera se utiliza directamente como leña o su transforma en carbón vegetal según patrones de uso y técnicas tradicionales. Los patrones de uso tradicional (a diferencia del uso moderno o industrial de la madera para energía) se caracterizan por su heterogeneidad espacial, por concentrarse en el sector campesino y residencial, por el uso extendido de tecnologías locales, y por las prácticas y sistemas de extracción diversos. Contrario a la leña para uso residencial, la producción de carbón vegetal en países en desarrollo ha sido señalada con mayor frecuencia como una causa directa de degradación forestal (Chidumayo 1991, Ahrends et al. 2010).

El presente estudio se concentra en el desarrollo de una metodología costo-efectiva que ayude a evaluar la degradación forestal, respondiendo a la siguiente pregunta: ¿Cómo estimar las variaciones en el espacio de la biomasa leñosa aérea, identificando el posible impacto de la producción de carbón sobre ésta eventual variación?

Su objetivo principal; es evaluar el efecto de la producción de carbón vegetal sobre la distribución espacial de a) biomasa aérea total y b) biomasa aérea leñosa utilizable para producir carbón, en los bosques de encino de la Cuenca de Cuitzeo, Michoacán.

Para cumplir con éste objetivo se cuantificó la variación espacial de biomasa aérea y biomasa aérea leñosa utilizable para carbón vegetal mediante técnicas geo-estadísticas que integran información satelital con datos de campo. Posteriormente se infirieron las variaciones espaciales en biomasa debido a calidades de sitio, a fin de caracterizar la variación natural en los patrones de distribución espacial de la biomasa. En un tercer paso se construyó un modelo que predice los sitios con mayor potencial para la producción de carbón de encino en función de variables definidas. Por último, se compararon los resultados del modelo de zonas preferenciales para la producción de carbón con los mapas de distribución espacial de biomasa estratificados por calidades de sitio, con el fin de relacionar espacialmente la producción de carbón con la biomasa aérea y de tal manera identificar a) zonas degradadas y b) zonas con potencial productivo.

Como resultados se obtuvieron: 1) que un hecho básico para la actividad de la producción de carbón es la necesidad de una actividad no regulada y de poca inversión a falta de

oportunidades de mejores empleos, 2) la biomasa está altamente correlacionada con el NDVI y la radiación solar anual, 3) el modelo de calidad de sitio presentó un ANOVA significativo y para mejorarlo tendría que ser calibrado en zonas conservadas; sin embargo estas zonas son de difícil localización, 4) El modelo multi-criterio demostró que existe niveles de aptitud mayores en zonas cercanas a Morelia y al lago de Cuitzeo, que en zonas de pendientes abruptas o con menos de 50 metros de distancia a carreteras, 5) y finalmente, parece existir una relación causal entre las biomasa bajas y los sitios preferidos para la extracción de carbón obtenidos por la evaluación multi-criterio.

Específicamente, se determinó que existe una relación entre Biomasa bajas, Calidades de Sitio altas y sitios preferidos para la extracción relacionados con la degradación forestal por extracción de carbón; por el lado de la productividad; se determinó que aquellos sitios con potencial productivo son los que comparten Biomosas altas y Calidades de Sitio medianamente óptimos y aquellos que deben ser conservados deben tener Calidades de Sitios alta y Biomosas altas.

*Palabras claves: Degradación forestal, carbón vegetal, patrones espaciales y kriging.*

## Índice

1. Introducción .....	1
2. Antecedentes .....	5
2.1 Métodos de impactos de la deforestación y degradación sobre patrones espaciales .....	5
2.1.1 Métodos basados en la percepción remota .....	5
2.1.2 Métodos basados en toma de datos en campo .....	8
2.1.3 Métodos mixtos .....	9
2.2 Problemática del carbón vegetal .....	16
2.2.1 Producción y consumo de carbón vegetal en el mundo .....	19
2.2.2 Producción y consumo de carbón vegetal en México .....	19
3. Diseño de la Investigación .....	22
3.1 Objetivo general .....	22
3.2 Objetivos particulares .....	22
3.3 Preguntas de la investigación .....	23
3.4 Hipótesis .....	23
4. Área de estudio .....	25
4.1 Condiciones naturales .....	26
4.2 Dinámica socio-económica .....	32
4.3 Desarrollo histórico y ambiental en la Cuenca de Cuitzeo .....	48
4.3.1 Historia y ambiente de la Cuenca de Cuitzeo .....	48
4.3.2 Carbón vegetal, extracción de carbón y los carboneros .....	51
4.3.2.1 <i>El carbón vegetal</i> .....	51
4.3.2.2 <i>Producción de carbón vegetal</i> .....	52
4.3.2.3 <i>La ilegalidad</i> .....	57
5. Cuantificación de la variación espacial de biomasa utilizable para carbón vegetal en la Cuenca de Cuitzeo, Michoacán .....	60
5.1 Metodología .....	60
5.1.1 Muestreo de campo .....	60
5.1.2 Procesamiento de imágenes de satélite .....	62
5.1.2.1 <i>Índice normalizado de vegetación (NDVI)</i> .....	66

5.1.2.2 <i>Radiación Solar Anual (RS)</i> .....	66
5.1.2.3 <i>Componentes principales (CP)</i> .....	66
5.1.3 Análisis exploratorio de datos .....	68
5.1.4 Desarrollo de modelos de regresión lineal para distribución de biomasa .....	70
5.1.5 Selección de variograma experimental y teórico para el modelo kriging.....	72
5.1.6 Valoración de los modelos .....	74
5.1.7 Interpolación predictiva de biomasa .....	74
5.2 Resultados .....	76
5.2.1 Validación del modelo predictivo .....	76
5.2.1.1 <i>Regresión lineal</i> .....	76
5.2.1.2 <i>Kriging</i> .....	78
5.2.2 Descripción del modelo predictivo.....	79
5.2.2.1 <i>Biomasa aérea</i> .....	80
5.2.2.2 <i>Biomasa para carbón</i> .....	81
5.2.3 Patrones espaciales de biomasa para detectar degradación forestal.....	81
<b>6. Detección de variaciones espaciales en biomasa por Calidad de Sitio .....</b>	<b>97</b>
6.1 Metodología .....	97
6.1.1 Selección de variables .....	97
6.1.1.1 <i>Índice Topográfico de Humedad (ITH)</i> .....	98
6.1.1.2 <i>Geoformas</i> .....	99
6.1.1.3 <i>Radiación Solar Anual (RS)</i> .....	101
6.1.2 Calidad de Sitio.....	102
6.2 Resultados .....	106
6.2.1 ANOVA para grid 250 metros.....	107
6.2.2 ANOVA con datos de muestreo .....	111
6.2.3 Mapa de predicción de biomasa para carbón y calidad de sitio.....	116
<b>7. Zonificación se sitios predilectos para la extracción de carbón vegetal.....</b>	<b>119</b>
7.1 Metodología .....	119
7.1.1 Selección de variables .....	120
7.1.1.1 <i>Distribución de pendientes</i> .....	120
7.1.1.2 <i>Distribución de encinos</i> .....	121

7.1.1.3 Costo Distancia .....	122
7.1.1.4 Distancia- Tiempo.....	123
7.1.2 Análisis Multicriterio espacial .....	126
7.2 Resultados .....	128
7.2.1 Mapa de sitios preferidos para la extracción de carbón vegetal .....	128
8. Comparación de zonas preferenciales para la producción de carbón y distribución espacial de biomasa estratificada por Calidad de Sitio .....	135
8.1 Metodología .....	135
8.2 Resultados .....	135
9. Discusión y conclusiones generales.....	145
9.1 Direcciones futuras de investigación.....	149
Bibliografía .....	151
Anexo .....	160
Glosario.....	160
Acrónimos .....	163
Funcionalidad de software utilizados .....	164