
Captura de carbono en bosque de coníferas de la Sierra Tarahumara en Chihuahua, México

S. Balderrama^{1*}, C. Luján Á.², G. Hernández¹ y L. U. Castruita²

Universidad Autónoma de Chihuahua, ¹Facultad de Zootecnia,
Periférico Francisco R. Almada Km. 1, Tel. (614) 434 03 03, Fax 434 03 45.
²Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.

Carbon sequestration in coniferous forest in the Sierra Tarahumara in Chihuahua, Mexico.

Abstract

Since the Kyoto Protocol was launched in 1997 forests are being assessed as potential carbon sinks with a growing interest in forest carbon sequestration as an environmental service. A fair deal of research has been carried out in Mexico since the mid 90's. However, little is known about the coniferous forest of Northern Mexico under its ecological, socioeconomic and management conditions. In this study, the potential for carbon sequestration was first explored in the Chihuahua State by simulation in the LUCS model. The study area is located in the central part of the *Sierra Tarahumara*, with a history of heavy logging in the previous century. The vegetation is a ponderosa pine forest in association with oak (*Quercus spp.*). The predominant pine species are *Pinus arizonica* y *Pinus durangensis*. The simulation was done independently in three ejidos: El Retiro y Gumeachi, El Ranchito and Bocoyna. The model was fed with technical and socioeconomic data from the *ejidos* management programs, community surveys, key informants and literature. A low potential for carbon sequestration was found through the land use change by the afforestation and forestation activities. This was attributed to a limited quality and quantity of suitable land. The long term trend of the additionality and its persistence was positively associated to the initial condition of the ejidos, where the proportion of mature forest was an important forest structure component.

Keywords: simulation, carbon sequestration, coniferous forest, LUCS.

Resumen

A partir del lanzamiento del Protocolo de Kioto en 1997, los bosques han estado siendo evaluados como sumideros potenciales de carbono, con un interés creciente en la captura de este elemento como un servicio ambiental. En México se ha estado realizando investigación en este tema desde mediados de los 90's. Sin embargo, poco se sabe acerca del bosque de coníferas del norte de México bajo sus condiciones ecológicas, socioeconómicas y condiciones de manejo. En este estudio, se exploró el potencial para la captura de carbono en el estado de Chihuahua por medio de simulación con el modelo LUCS. El área de estudio se localiza en la parte central de la Sierra Tarahumara, en bosque con un historial de intenso aprovechamiento en el siglo anterior. La vegetación es un bosque de pino ponderosa en asociación con encino (*Quercus spp.*). Las especies predominantes de pino son *Pinus arizonica* y *Pinus duranguensis*. La simulación se realizó en forma independiente en tres ejidos: El Retiro y Gumeachi, El Ranchito y Bocoyna. Los datos técnicos y socioeconómicos se tomaron de los planes de manejo, una encuesta comunitaria, informantes clave y la literatura. Se encontró un bajo potencial para la captura de carbono a través del cambio de uso de suelo con actividades de aforestación y reforestación. Esto se atribuyó a una limitada disponibilidad uso del suelo en cantidad y calidad. La tendencia de la adicionalidad a largo plazo y su persistencia se asoció positivamente a la condición inicial de los ejidos, donde la proporción de bosque maduro fue un componente importante de la estructura forestal.

* Autor de correspondencia
E-mail: sbalderr@uach.mx

Palabras clave: simulación, captura de carbono, bosque, coníferas, LUCS.

Introducción

En un esfuerzo por combatir los efectos del cambio climático, se firmó en 1997 un acuerdo entre los países más industrializados, conocido como Protocolo de Kioto, en el cual se implementó un esquema que permite la participación de los países en desarrollo a través de los llamados Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) (<http://cdm.unfccc.int>). En lo concerniente al sector forestal, donde tal esquema reconoce solamente dos actividades certificables, la aforestación y la reforestación (A-F), los resultados han sido muy limitados en comparación con otros sectores, como la reducción de emisiones de clorofluorocarbonos y el aprovechamiento energético del metano (Sugiyama et al, 2006).

La falta de cumplimiento de las metas de desarrollo sustentable de los MDL ha sido motivo de fuertes críticas (Pearson, 2006). Ante la urgencia de mitigar el cambio climático y el eventual replanteamiento post-Kioto 2012, se analizan medidas más allá de A-F, en donde se reconozcan y valoren las emisiones de la deforestación y la degradación evitadas (Skutsch et al, 2006).

En México, el estudio de la captura de carbono forestal se inició en los años 90's con la aplicación de diferentes modelos. La investigación sobre la captura de carbono forestal ha dado frutos en Chiapas, con la implementación del proyecto Scolec Te (de Jong, 2000; Tipper, 2003) y a valoraciones del potencial del bosque templado de Michoacán (Ordóñez, 1999). Sin embargo, existe escasa información sobre el potencial de los bosques templado fríos del norte del país, sujetos a régimen de corta por más de un siglo.

El modelo de simulación LUCS (Land Use and Carbon Sequestration) (Faeth, 1995), estima flujos de carbono en la biomasa en pie y en la madera (productos); en el sureste de México ha sido utilizado en la estimación de líneas base a escala regional (Ruiz, 2003). Dado que por décadas, el

datos que puede ser utilizada en modelos de simulación. Por lo anterior, el presente estudio se enfocó a explorar el potencial para la captura de carbono mediante simulación en LUCS en tres predios ejidales del municipio de Bocoyna.

Materiales y métodos

El área de estudio se ubica en el municipio Bocoyna, en la zona central de la sierra Tarahumara, a 225 km al suroeste de la ciudad de Chihuahua (Fig. 1). El estudio se realizó en tres ejidos del municipio citado: El Retiro y Gumeachi (RG), El Ranchito (RA) y Bocoyna (BO). La región tiene una altitud que oscila entre 2,200 y 2,600 msnm; el tipo de clima es C(E)w2(x), templado húmedo (García, 1973); la temperatura y la precipitación media anual son de 10° C y 790 mm, respectivamente. La fisiografía del macizo forestal de la Sierra Tarahumara comprende elevaciones, depresiones y planicies; la vegetación dominante son comunidades puras de pino y asociaciones de pino-encino con altura mediana (15-20m). Los datos técnico-silvícolas y la clasificación de áreas de los predios se muestran en las Tablas 1 y 2. Los tres predios son manejados bajo el método de ordenación de bosques irregulares, con tratamiento silvícola de selección y aclareo; los ciclos de corta y los periodos de aprovechamiento son de 10 años. Las especies que se aprovechan son por orden de magnitud: *Pinus arizonica*, *P. duranguensis*, *P. leiophylla*, *P. ayacahuite*, *Quercus sideroxyla*, *Q. rugosa* y *Juniperus deppeana*. Según la CONAPO (2000) el índice de marginación en este municipio es 0.234, correspondiente a un nivel de marginación alta, mientras que el INEGI (<http://jweb.inegi.gob.mx/niveles/index.html>) lo clasifica en un nivel de bienestar medio.

aprovechamiento forestal en los predios ejidales del estado de Chihuahua ha sido bajo planes de manejo autorizados, se cuenta con una base de



Figura 1. Localización del área de estudio.

Tabla 1. Parámetros técnicos básicos para el manejo silvícola de los predios del estudio.

Concepto	Especie ²	RG ³	RA	BO
Existencias reales (m ³ RTA ¹ /ha)	P	64.14	52.93	48.97
	Q	3.84	7.59	4.55
	J	0.76	1.36	
Volumen de corta (m ³ RTA)	P	46,593	50,797	39,956
	Q	2,845	5,838.4	2,166
	J	532	705.9	
Intensidad de corta (% promedio)	P	24.6	24.6	29.8
	Q	50	30	20
	J	40	30	
Incremento Corriente Anual en rodales aprovechables (m ³ RTA/ha/año)	P	1.92	1.67	1.82
Turno (años)		85	90	70

¹ = Rollo Total Árbol; ² P = *Pinus spp.*, Q=*Quercus spp.*, J=*Juniperus deppeana*;

³ RG=El Retiro y Gumeachi, RA=El Ranchito, BO=Bocoyna.

Fuente: Beltrán, 2000; Beltrán,2003; Segura, 2002.

Tabla 2. Clasificación y superficies de las áreas en cada uno de los predios del estudio.

Categoría de vegetación	RG ¹	RA	BO
Conservación y aprovechamiento restringido	105	6,818	221
o En recuperación		428	2,792
o Arbolada no aprovechable		4,727	
o Segregada por arroyos y caminos		324	
o con <i>Picea chihuahuana</i>		69	
o con <i>Pseudotsuga mensiezii</i>		1238	
o Rodal semillero		32	
Áreas de producción	2,861	3,930	2,742
Áreas de restauración	33	8	176
Claros y otras superficies	1,943	350	1,317
Área total del predio	4,942	11,106	7,248

¹ RG=El Retiro y Gumeachi, RA=El Ranchito, BO=Bocoyna.
Fuente: Beltrán, 2000; Beltrán, 2003; Segura, 2002.

Desde finales del siglo XIX se han realizado cortas comerciales en el área, donde la construcción de la vía del ferrocarril Chihuahua-Pacífico jugó un papel de gran impacto en el inicio y continuidad del aprovechamiento forestal. De acuerdo a los técnicos responsables del manejo (Beltrán, 2000; Beltrán, 2003 y Segura, 2002), los aprovechamientos realizados hasta principios de la década de los 70's, sin criterio silvícola, dieron origen al bosque de segundo crecimiento que actualmente se tiene. Uno de los predios (RA), contiene 1,238.3 ha de arbolado de *Pseudotsuga mensiezii* y 69 ha de *Picea chihuahuana*, las cuales están bajo el estatus de protección (NOM-059-SEMARNAT-2001). En contraste, en el ejido Bocoyna existen 2,359.5 ha que fueron afectadas en años anteriores por incendios y actualmente se encuentran con una densidad muy reducida de coníferas y en un proceso de sucesión secundaria.

Metodología

El estudio se realizó en dos etapas; en la primera se seleccionó el predio RG debido a su ubicación, a su relativamente buena condición y a la buena

organización y disposición de los integrantes de su comunidad. En este ejido se colectaron los datos socioeconómicos de base para el modelo mediante entrevistas estructuradas a 41 de 53 jefes de familia; los temas principales fueron la producción y consumo de alimentos, el origen y consumo de leña, y el uso y duración de los productos de madera (Hernández, 2003). Con los datos de RG se efectuaron las primeras simulaciones de prueba. La información para las variables técnicas del modelo fue derivada en gran parte de los planes de manejo, la literatura y estimaciones del equipo de trabajo. Se realizaron análisis de sensibilidad para verificar el efecto de cada variable sobre la captura de carbono.

En la segunda etapa, el estudio se extendió a los predios ejidales RA y BO, con la finalidad de evaluar el efecto de la condición sobre la captura adicional de carbono; el primero en condición regular a buena y el segundo en condición pobre. Se simularon tres escenarios en tiempo, 5 años, 30 años y turnos de 90 y 70 años para RA y BO,

Tabla 3. Promedio de superficie, rendimiento y consumo de los principales cultivos en el ejido El Retiro y Gumeachi.

Cultivos	Superficie (ha/ejidatario)	Rendimiento (kg/ha)	Núm. meses de consumo
maiz	1.26	495	10.1
frijol	0.33	167	6.9
papa	0.58	727	7.4
avena	0.92	1572 ¹	3.5
haba	0.18	105	7.2
Total	3.27		

¹ forraje.

respectivamente. Para los aspectos socioeconómicos del modelo se tomó el estudio previo en RG como referencia.

Resultados y discusión

Perfil socioeconómico

Entre 1990 y 2003, hubo una disminución de 6% en la población de El Retiro y Gumeachi, al pasar de 172 a 163 personas (INEGI, 1991).

Este decremento fue asociado a causas como emigración, venta de derechos ejidales, defunciones y menor número de hijos por familia. La edad y la escolaridad promedio fueron 49.4 y 4.6 años, respectivamente.

La encuesta en RG mostró que la parcela agrícola promedio es de 3.27 ha y que prácticamente todo lo que se produce es para el autoconsumo con diferencias en el periodo de consumo de acuerdo al producto (Tabla 3). Las respuestas permitieron estimar que cerca de la mitad de los alimentos son comprados. Entre 30 y 40% de las familias posee animales de pastoreo, principalmente bovinos y equinos, para cubrir sus necesidades de trabajo y alimento (Hernández, 2003). La cercanía con San Juanito, zona urbana a 10 km de distancia, permite a los ejidatarios y sus familias, residir fuera del predio y desplazarse cotidianamente para emplearse o para atender sus cultivos y animales. El empleo fuera la propiedad cubre o complementa las necesidades básicas de las

familias.

El volumen de madera en su mayor parte (>90%), es vendido en forma individual a intermediarios de aserraderos de San Juanito. El resto se comercializa en aserraderos foráneos o se destina otros usos. El consumo de leña encontrado en este estudio fue de 2.06 ton persona⁻¹ año⁻¹, valor muy cercano al referido por Ruíz (2003) para simulación con LUCS en Calakmul y la Meseta Purépecha.

Adicionalidad total de carbono

Aunque en baja cantidad, en los tres predios hubo captura adicional de carbono, cuya persistencia en el tiempo fue diferente en cada caso (Fig. 2). En RG y particularmente en RA, el escenario con proyecto tuvo resultados positivos y permanentes en la biomasa en pie. En BO, el efecto es menor y de menor duración. Al comparar la adicionalidad por año en términos de CO₂ equivalente en la Fig. 3, se observó que solamente el predio RA alcanzó el nivel de la captura de 4,000 tonCO₂eaño⁻¹ en el periodo a cinco años, límite inferior del rango establecido como el mínimo certificable por los MDL (www.unfccc.int), del orden de 4,000 a 8,000 tonCO₂eaño⁻¹.

Los resultados del análisis de sensibilidad en RG orientaron el enfoque en las simulaciones subsiguientes en RA y BO, hacia las variables de mayor efecto. Se encontró que las variables socioeconómicas del escenario con proyecto (aspectos demográficos y productivos), no

tuvieron un efecto perceptible sobre la captura de

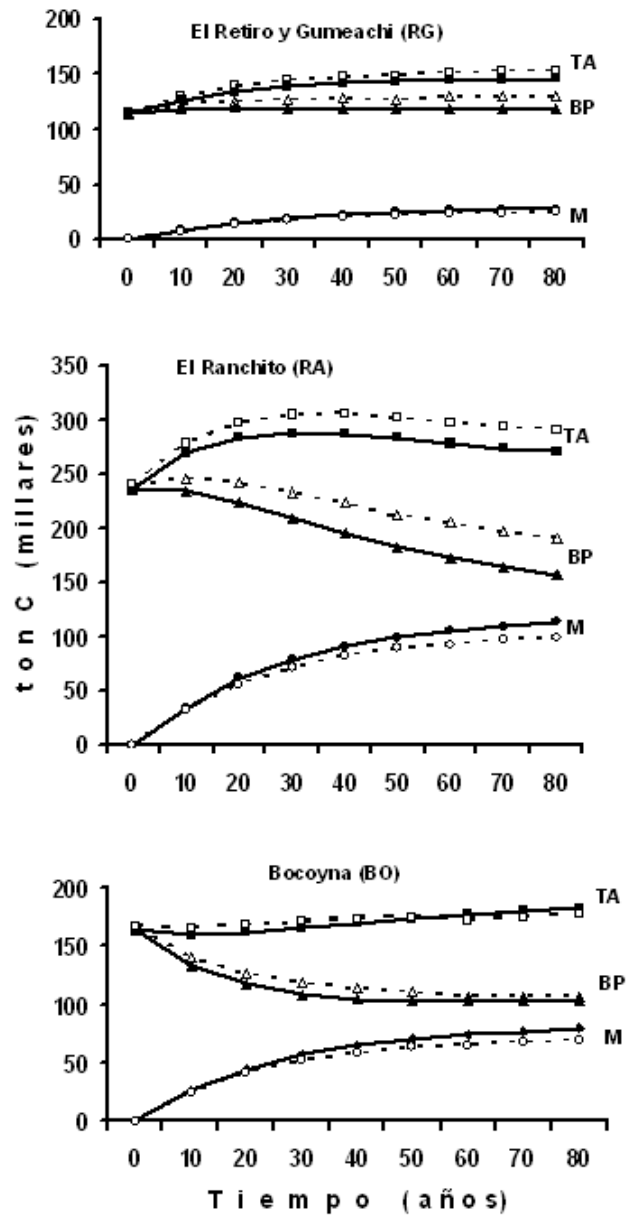


Figura 2. Adicionalidad en la madera (M), biomasa en pie (BP) y total acumulada (TA) en los tres predios ejidales del estudio.

carbono adicional. Esto se asoció a que el crecimiento poblacional en comunidades cercanas a las zonas urbanas tiende a ser negativo en virtud de la facilidad para emigrar temporal o definitivamente en busca de oportunidades de empleo y educación para los hijos. Así mismo, los cambios de uso de suelo alternativos a través de A-F tuvieron un efecto mínimo, particularmente a un periodo de cinco

años. El escaso efecto de A-F en la captura adicional de carbono, se atribuyó principalmente al bajo potencial de sitio del bosque de coníferas en esta latitud. Existe escasez de información sobre el comportamiento de las plantaciones en la zona de estudio. Armendáriz y Chacón (1999) evaluaron la dinámica de crecimiento de una plantación de 16 años de *P. arizonica* en un área de 3 ha, en un sitio con alto potencial dentro del municipio de Bocoyna.

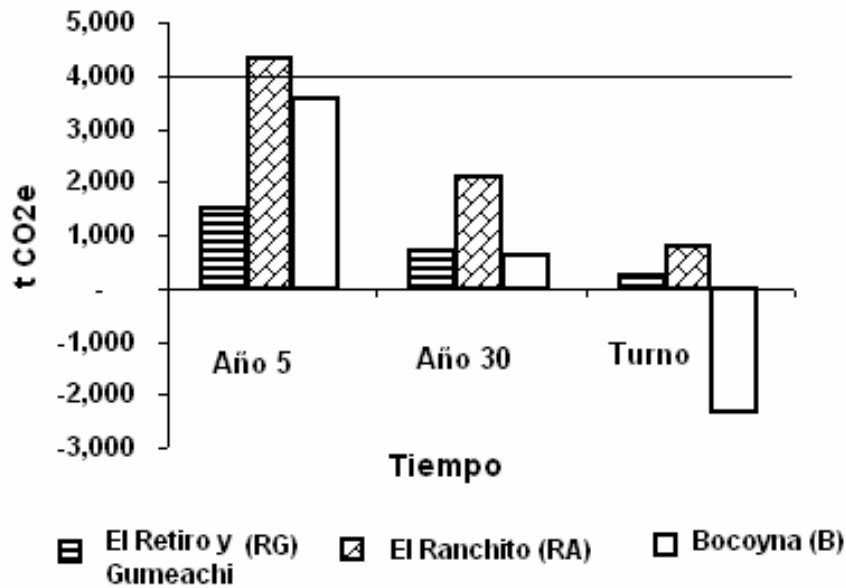


Figura 3. Adicionalidad anual de CO₂ en tres escenarios de tiempo en los predios del estudio.

Tabla 4. Tasas de acumulación de carbono en la biomasa en pie en los escenarios base y con proyecto en los predios del proyecto.

Predio ¹	Escenario	Carbono en biomasa en pie (miles de ton)		Tasa de acumulación anual
		Año 1	Año 85	Año 85
RG	Base	114.2	117.3	0.03 %
	Proyecto		126.8	0.13%
RA	Base	235.9	152.4	-0.39 %
	Proyecto		185.3	-0.24 %
BO	Base	165.4	104.7	-3.67 %
	Proyecto		108.9	-3.42 %

¹ RG=El Retiro y Gumeachi, RA=El Ranchito, BO=Bocoyna.

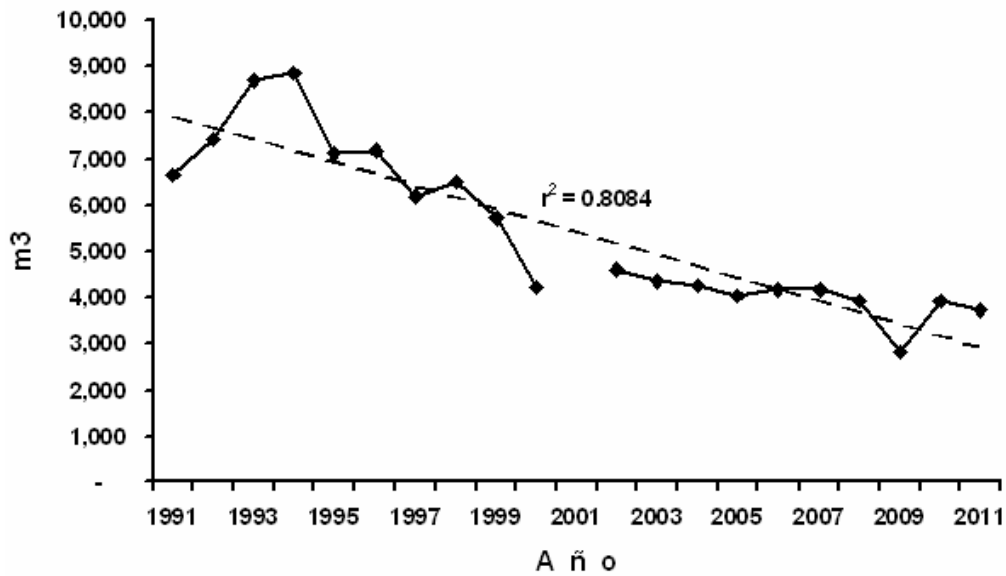


Figura 4. Tendencia del aprovechamiento volumétrico forestal maderable autorizado por la SEMARNAT en ejido Bocoyna.

Ellos estimaron que a esa edad se tenía un ICA de $5.24 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, a una altura de 5.3 m. Sin embargo, a la edad de cinco años, y aunque la biomasa no fue estimada, la altura promedio era de solamente 1.1 m, con un diámetro de 4.5 cm.

La parte central de la alta Sierra Tarahumara, donde se ubican los predios del estudio, tiene uno de los potenciales de sitio más bajos de todo el macizo forestal, los valores de ICA de los predios del estudio (Tabla 1) son cuatro o más veces inferiores a los reportados por Ordóñez (1999) para bosque de *P. pseudostrobus* en Michoacán donde el ICA puede ser superior a $8 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$.

Así mismo, otro factor que limita este potencial es la fisiografía accidentada, con baja disponibilidad de superficies abiertas susceptibles de ser convertidas en bosque. El área agrícola total en la región serrana se cultiva cada año casi al 100%, aún en condiciones de emigración temporal de los campesinos.

Las variables del modelo que tuvieron el mayor efecto en la adicionalidad de la captura de carbono, tanto en frecuencia como en magnitud fueron: corta selectiva de bosque cerrado degradado en bosque abierto (ha) e incremento anual de corta selectiva en bosque cerrado (fracción). La suma del efecto de estas dos variables explicó más del 80% de la adicionalidad a largo plazo en RA. En este estudio se asumió para la variable en cuestión, que la superficie de bosque cerrado con presencia de plagas y enfermedades, incendios y tala ilegal se reducía de 50 ha año^{-1} en el escenario base, a 30 ha año^{-1} en el escenario con proyecto. Para estos valores se utilizó como referencia el área promedio de incendios a nivel nacional, de $30 \text{ ha evento}^{-1}$ y el promedio de áreas atacadas por plagas, de 69.1 ha (Conafor, 2006). En esta última, se consideró el ataque del insecto de conos y semillas *Cydia phyllisi* Millar, que afecta la capacidad de regeneración de la especie *Picea chihuahuana*. El grado de sensibilidad mostrado por esta variable en la simulación, indicó que existe un alto impacto potencial de plagas y enfermedades en la conservación de un bosque maduro, y la convierte en una fuente de riesgo para la captura de carbono en este tipo de bosque. En el estado de Chihuahua se han presentado casos de brotes de gran magnitud, como es el caso de la Sierra de la Raspadura, municipio de Namiquipa, donde se tiene una superficie afectada de aproximadamente

1,600 ha (Conafor, 2006).

Los predios estudiados contrastan en condición la cual se juzgó a partir de las diferencias en la estructura de sus categorías de bosque. La diferencia en la captura de carbono observada entre RA y BO en la biomasa en pie, se explicó en parte por diferencias en densidad de biomasa; mientras que en el primero existen 1,631 ha con $90 \text{ m}^3 / \text{ha}$ y 100 hectáreas en la categoría de tierras degradadas en el segundo se tienen solamente 221 ha con $90 \text{ m}^3 / \text{ha}$ y 1,002 ha en la categoría de degradadas (tabla 2).

La relativamente alta intensidad de corta en BO respecto a los otros predios (30 vs 25%) (tabla 1), es otra variable que incidió en la rápida caída de la biomasa en pie (Fig. 2). En BO las variables con mayor efecto positivo en la captura de carbono estuvieron relacionadas con la reducción de la intensidad de extracción y el alargamiento de los ciclos de corta y maduración (tabla 4). El incremento del periodo de rotación de 10 a 12.5 años representó el 42% de la adicionalidad a 5 años.

Tendencias de la captura de carbono

El comportamiento a largo plazo de los reservorios biomasa en pie, madera y total se muestra en la Fig. 2. La biomasa en pie, el reservorio cuantitativamente más importante, fue más alto en RA y junto con RG se mantuvo a lo largo del turno. Por el contrario, la disminución de este reservorio revirtió la adicionalidad en negativa en BO a partir del año 50, ya que la captura en productos de madera llegó ser mayor que el de la biomasa en pie.

Esta tendencia se corresponde con la curva de los volúmenes históricos de aprovechamiento forestal autorizados para BO por la Semarnat a partir de 1978 con $r^2 = 0.8084$ (Fig. 4).

En general, décadas de presión extractiva en los bosques de Chihuahua han modificado su estructura con tendencia al predominio de diámetros menores (10-30 cm) y disminución de la densidad de biomasa (Valencia, 1995). En caso de BO, se requeriría un replanteamiento de su manejo para que el aprovechamiento sea sustentable. De acuerdo a lo mostrado en la Tabla 5, en BO la biomasa en pie se pierde a una tasa de alrededor de $3.5\% \text{ año}^{-1}$. El técnico a cargo del predio

Tabla 5. Contribución porcentual de las variables con mayor efecto en la adicionalidad de la captura de carbono en los tres predios del estudio.

Variable de LUCS	5 años		30 años		90 años	70 años
	RA ¹	BO	RA	BO	RA	BO
Corta selectiva de bosque cerrado degradado en bosque abierto (ha)	38	15	47	29	41	14
Incremento anual corta selectiva en bosque cerrado (fracc.)	8	3	45	31	42	13
Bosque reestablecido Cat 1(Biomasa)	37	-	3	-	-	15
Tiempo de maduración bosque de categoría 1 (años)	2	11	-	17	-	14
Tiempo de rotación de la extracción sin manejo de bosque cerrado (años)	-	42	-	-	-	-

¹ RG=El Retiro y Gumeachi, RA=El Ranchito, BO=Bocoyna.

(Segura, 2005; comunicación personal), señala como la causa principal de degradación la recurrencia de incendios y la sequía prolongada en la década de los 90's, fenómenos que llegaron a afectar 1,900 ha de los mejores sitios del predio. Gran parte de estas superficies requieren reforestación, lo cual podría realizarse mediante un proyecto específico que incluya un análisis técnico y económico.

Fugas y fuentes de riesgo

Aunque lo concerniente a fugas no fue estimado, se pueden hacer consideraciones relevantes y prever situaciones que darían origen a fugas. Una es la necesidad de eliminar el pastoreo en áreas con plantaciones, actividad que podría conducir a la movilización de animales fuera de los predios ejidales, con lo cual se podría trasladar el problema a las áreas vecinas. Otra sería la posibilidad de incrementar el riesgo de ocurrencia de incendios, plagas y enfermedades, al incrementarse la condición o densidad de biomasa del bosque; así también, el que una mejor condición de los predios alentase el clandestinaje

por miembros o no miembros de la comunidad. En caso de los ejidos RG y BO, queda pendiente de evaluar el impacto de la construcción de la presa Situriachi, cuyo vaso se extiende sobre áreas forestales de estos predios. Se espera que esta obra hidráulica, incorpore a estos y otros ejidos circunvecinos en una nueva dinámica al desarrollo, donde el turismo jugará un papel importante.

Consideraciones sobre el modelo

El modelo LUCS, junto con los modelos GEOMOD y FAC, ha sido objeto de comparación en la simulación de líneas base para la deforestación evitada en México y otros países de América Latina (Brown et al., 2006). Las proyecciones de línea base que arrojaron los modelos tuvieron una alta disparidad entre sí, con casi un 40% de diferencia en las proyecciones de la cubierta forestal inicial. Entre las ventajas y desventajas de LUCS que fueron señaladas en el estudio citado, y las cuales fueron observadas en el presente estudio, se incluyen las siguientes: el modelo destaca por su flexibilidad para simular a

diferentes escalas de espacio donde se pueden incluir una diversidad de tipos de uso de suelo. Entre las desventajas, se señalan la falta de resolución espacial y la codificación y estructura no son fácilmente comprensibles por el operador. Brown et al (2006) concluyeron que para la simulación de líneas base de emisiones de carbono el uso de modelos de despliegue espacial, como GEOMOD, ofrece múltiples ventajas sobre todo en áreas con diferentes tipos de bosque.

Conclusiones

Los resultados presentados son una primera aproximación al estudio de la captura de carbono y deben tomarse con cautela. El análisis realizado fue a nivel predio utilizando un modelo diseñado para simulaciones a escala regional. El crecimiento demográfico en las comunidades rurales del área de estudio se ha reflejado más en la emigración de la población rural a las zonas urbanas que en presión hacia el cambio de uso de suelo. El presente estudio asumió para proyecciones a largo plazo la continuación de tal tendencia.

El bajo potencial de sitio y la baja disponibilidad de áreas para conversión a bosque son limitantes para la captura de carbono mediante la aforestación y reforestación. Las variables de manejo mostraron mejores perspectivas bajo el esquema del modelo LUCS.

El adelgazamiento progresivo de la cubierta forestal se refleja en los registros históricos de volúmenes autorizados y se muestra como una tendencia en las simulaciones a largo plazo (80 años) de la biomasa en pie. Se requiere validar esta aplicación del modelo dadas las posibles implicaciones que podría tener la simulación de los efectos a largo plazo de los programas de manejo de los predios ejidales o privados.

Agradecimientos

Los autores agradecen a CONAFOR-CONACYT instituciones que apoyaron el financiamiento (CONAFOR-2002-C01-6502); a los I.A.F. Baldemar Beltrán Bustamante y Jacobo Segura Marionni por los datos, comentarios y facilidades para la realización del estudio.

Bibliografía

- Armendáriz, O.R. y Chacón, S.J.M., 1999. Caracterización de una plantación de *Pinus arizonica* Engelm. en el municipio de Bocoyna, Chihuahua. INIFAP – SEP – CONACYT – Fundación Produce Chihuahua. Folleto Técnico No. 9.
- Beltrán, B. B., 2000. Programa de Manejo Forestal para Ejido El Retiro y Gumeachi, Municipio de Bocoyna, Chihuahua. San Juanito, Bocoyna, Chihuahua.
- Beltrán, B. B., 2003. Programa de Manejo Forestal para Ejido El Ranchito, Municipio de Bocoyna, Chihuahua. San Juanito, Bocoyna, Chihuahua.
- Brown, S., Hall, M., Andrasko, K., Ruiz, F., Marzoli, W., Guerrero, G., Masera, O., Dushku, A., Dejong, B. y Cornell, J., 2007. Baselines for land-use change in the tropics: application to avoided deforestation projects. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. (En prensa).
- Chacón, S.J.M., 2006. Desarrollo de una metodología para el análisis y evaluación de estructuras arbóreas utilizando datos dasométricos y geoespaciales en Bocoyna, Chihuahua, México. Disertación Doctoral. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia.
- Conafor, 2006. <http://www.conafor.gob.mx>
- CONAPO, 2000., Índices de marginación municipal. Estimaciones del XII Censo Nacional de Población y Vivienda. Disponible en: http://www.conapo.gob.mx/00cifras/marg2000/anexo_b.XLS.
- Faeth, P., 1995. Estimation of carbon sequestration of forestry using the LUCS model. World Resources Institute, Washington.
- García, E. 1973. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. 2ª. Ed. 246 p.
- Hernández, I.G., 2003. Estimación del carbono capturado en el ejido forestal El Retiro y Gumeachi, Bocoyna, Chihuahua, mediante el modelo LUCS. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia.
- INEGI, 1991. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Anuario Estadístico del estado de Chihuahua. Municipio de Bocoyna, Chihuahua. San Juanito, Bocoyna, Chihuahua.
- de Jong, B.H.J., 2000. An ecological and economical assessment of the potential of land use to mitigate CO2 emissions in the highlands of Chiapas, Mexico. Disertación Doctoral. Universidad de Wageningen.
- Ordóñez, D. J. A., 1999. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán; SEMARNAP. 13-22
- Pearson, B., 2006. The Clean Development Mechanism and Sustainable Development. Climate Newswatch. Consultado en noviembre, 2006. <http://www.tiempocyberclimate.org/newswatch/comment050301.htm>.
- Ruiz, N. F., 2003. Apéndice 1: Modelación de líneas base de deforestación utilizando LUCS para las regiones de la Meseta Purépecha y Calakmul en México. Líneas base de deforestación. Winrock Internacional. pp 1-46.
- Segura, M.J., 2002. Programa de manejo para ejido Bocoyna, Municipio de Bocoyna. San Juanito, Bocoyna, Chihuahua.
- Skutsch, M., Bird, N., Trines, E., Dutschke, M., Frumhoff, P., De Jong, B., Van Laake, P., Masera, O. Y Murdiyarsa, D.,

- 2007 (en prensa). Clearing the way for reducing emissions from tropical deforestation. *Environmental Science and Policy*.
- Sugiyama, T., Heggelund, G. y Ueno, T., 2006. The need for energy efficiency cooperation. En: *Cooperative Climate. Energy Efficiency Action in East Asia*. Sugiyama, T. y Ohshita, S. (Eds). CRIEPY-University of San Francisco. 137p. Disponible en: http://www.iisd.org/pdf/2006/climate_cooperative.pdf.
- Tipper, R., 2003. El apoyo a la participación de campesinos indígenas en el mercado internacional de servicios de carbono: el caso de Scolel Té. En: *La venta de servicios ambientales forestales*. S. Pagiola, J. Bishop y N. Landell-Mills (eds.) Semarnat-INE-Conafor. pp. 355-370.
- Valencia, C.C.M., 1995. Impactos ecológicos en las regiones boscosas de Chihuahua a través de simulación. *Disertación Doctoral*. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia.