

VALORACIÓN ECONÓMICA DEL ALMACENAMIENTO DE CARBONO DEL BOSQUE TROPICAL DEL EJIDO NOH BEC, QUINTANA ROO, MÉXICO

J. Bautista-Hernández¹; J. A. Torres-Pérez²

¹Gerente Administrativo-Grupo Integral de Servicios Fitosanitarios ENA, S. A. de C. V. Emiliano Zapata No. 10 , San Luis Huexotla, Texcoco, Mexico. C. P. 56250. México. Correo-e: jbautistah@hotmail.com

²Profesor-Investigador de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. México. Correo-e: joatope@msn.com

RESUMEN

Para realizar la valoración económica, se calculó la densidad de la biomasa de las especies del bosque tropical mediante una metodología indirecta basada en datos existentes de volumen total. También se determinó el contenido de carbono de 11 especies que representan el 66 % del volumen total. Con el resultado de ambos procesos se determinó existencias en toneladas de carbono por hectárea, igual a 353.341.

Empleando volúmenes a aprovechar en el área de corta 2003 y, precios de venta, así como costos de extracción por m³ en el 2002, se determinó el ingreso por aprovechamiento forestal estimado en \$ 6,021.850.44. Mientras que el ingreso por la venta del servicio ambiental de almacenamiento de carbono en la misma área de corta se estimó en \$ 21,200.442.00.

El costo de oportunidad es de 3.5:1, por lo que es conveniente para el ejido vender este servicio ambiental, incrementando de esta manera sus ingresos.

PALABRAS CLAVE: densidad de la biomasa; existencias de carbono; venta de servicio ambiental; costo de oportunidad.

ECONOMIC VALUATION OF CARBON STORAGE BY THE TROPICAL FOREST OF THE EJIDO NOH BEC, QUINTANA ROO, MEXICO

SUMMARY

To carry out economic valuation, biomass density of tropical forest species was calculated by means of an indirect methodology based on existing data of total volume. The carbon content of 11 species was also determined as representing 66 % of the total volume. The result of both processes indicated that the stock of carbon was 353.341 tC/ha.

Using volumes to be harvested in the 2003 felling area and sale prices as well as extraction costs per m³ in 2002, income was determined by forest use estimated at \$ 6,021.850.44, while the income from the sale of the environmental service of carbon storage for the same area was estimated at \$21,200.442.00.

The opportunity cost is 3.5:1, and therefore, it is worthwhile for the *ejido* to sell environmental services to increase its revenues.

KEY WORDS: biomass density; stock of carbon; sale of environmental service; opportunity cost.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la humanidad se enfrenta a uno de los problemas más graves que ponen en riesgo su supervivencia en el planeta Tierra y es que en este último se han detectado cambios en el motor principal de su funcionamiento, el clima. Este fenómeno se ha denominado

calentamiento global dentro de un fenómeno denominado cambio global, que incluye a la vez cambios en el uso del suelo.

El responsable de este fenómeno es la emisión antropogénica excesiva de bióxido de carbono (CO₂) originado por el uso de combustibles fósiles y cambio de

uso del suelo; su concentración en la atmósfera se ha elevado en un 30 %, desde 1860. Este gas, junto con el metano (CH₄), el óxido nitroso (NO₂), el ozono (O₃), el bióxido de azufre (SO₂) y los clorofluorocarbonos (CFCS), que en conjunto se han denominado gases de efecto invernadero (GEI), siempre han existido en la atmósfera produciendo el llamado efecto invernadero que gracias a ello la temperatura en el planeta ha hecho posible la población humana, evitando enfriamientos bruscos en su superficie. (Ordóñez, 1999).

Sin embargo, a partir de la revolución industrial se ha estado emitiendo gran cantidad de estos GEI lo que ha provocado el incremento en la concentración de los mismos en la atmósfera, rompiendo el equilibrio atmosférico existente y el efecto invernadero natural. Estos gases tienen diferente tiempo de concentración hasta que desaparecen y diferente capacidad de retención de calor. El más importante de ellos, aunque su concentración es menor que las otras, es el CO₂ ya que tiene mayor capacidad de retención del calor y mayor periodo de permanencia que los otros gases. (Goudie, 1990.)

Dada la gravedad del problema, en 1988 se constituyó el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático y en 1994 entra en vigor la Convención Marco sobre Cambio Climático el cual distingue los compromisos de los países desarrollados y aquellos propios del mundo en desarrollo. A la fecha, 179 países han ratificado la Convención. Sin embargo, en 1995 se resolvió que los compromisos de los países desarrollados no eran adecuados, y su proceso de revisión culminó con la adopción del Protocolo de Kioto en donde por primera vez en la historia de la humanidad se establecieron metas de reducción de emisiones por parte de los países industrializados.

En este protocolo se establecieron mecanismos flexibles que tienen como finalidad la mitigación de los GEI y relacionan a los países desarrollados y en desarrollo. El principal mecanismo es el de la Implementación Conjunta (IC) donde la tesis fundamental es que los países industrializados tendrán la posibilidad de cumplir parte de sus compromisos financiando en otros países proyectos de eficiencia energética o de fijación forestal de dióxido de carbono. Los dos principales proyectos que se financiarán dentro de este esquema son: la disminución de emisiones y el incremento en la captación de carbono.

Dada esta posibilidad de financiamiento, en este trabajo se plantea la valoración económica de la conveniencia de vender el servicio ambiental de almacenamiento de carbono del bosque tropical del Ejido Noh Bec, Quintana Roo, México, lo que ayudaría a la disminución de emisiones de bióxido de carbono. Además, de ser económicamente viable, se lograría la conservación de un ecosistema que día a día está siendo degradado por las diferentes actividades del ser humano y junto con ello

la rica biodiversidad de fauna y flora que en este tipo de bosques se desarrollan.

OBJETIVOS

Objetivo general

Cuantificar el potencial de almacenamiento de carbono del bosque tropical de la empresa ejidal forestal Noh Bec y su evaluación económica.

Objetivos específicos

- Cuantificar el potencial de almacenamiento de carbono del bosque tropical de la empresa ejidal forestal Noh Bec.
- Calcular en términos monetarios la cantidad de carbono almacenado en el bosque tropical de la empresa ejidal forestal Noh Bec.
- Con base en los dos puntos anteriores, evaluar la viabilidad de ofrecer el servicio ambiental de almacenamiento de carbono para generar mayores ingresos al ejido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo la valoración económica se estimó primeramente la densidad de biomasa de las especies y la densidad de biomasa total en una hectárea, utilizando un método indirecto basado en el uso de datos existentes de volumen a partir de un inventario forestal; la fórmula que se empleó fue la siguiente:

$$DBM = VT * DB * FEB$$

Donde:

DBM = Densidad de biomasa sobre el suelo (t·ha⁻¹)

VT = Volumen total

DB = Densidad de la madera común volumen-peso (toneladas de biomasa seca por m³ de volumen verde).

FEB = Factor de expansión de biomasa (razón de biomasa seca de árboles sobre el suelo a la biomasa seca del volumen inventariado).

FEB = $\text{Exp} \{3.213 - 0.506 * \text{Ln} (BV)\}$ para BV < 190 t·ha⁻¹
 1.74 para BV ≥ 190 t·ha⁻¹
 (Tamaño de la muestra = 56, r² ajustada = 0.76)

Donde:

BV = Biomasa del volumen inventariado en $t \cdot ha^{-1}$, calculado como el producto de VOB/ha ($m^3 \cdot ha^{-1}$) y la densidad de la madera ($t \cdot m^{-3}$).

Este factor se calculó de varias fuentes de inventarios realizados en diferentes bosques de hoja ancha (desde bosques secundarios a bosques maduros) en zonas húmedas a través del trópico. Se incluyeron datos suficientes de esos inventarios para calcular la densidad de la biomasa sobre el suelo y la biomasa del volumen inventariado en forma independiente (Brown *et al.*, 1989).

Posteriormente se determinó el contenido de carbono de once especies las cuales son las más representativas desde el punto de vista de volumen total con el apoyo de un digestor Shimadzu en el Colegio de Postgraduados, para lo cual hubo la necesidad de moler cada una de las muestras para después introducir las en el analizador de carbono total que mediante procesos de combustión obtiene los espectros de las sustancias de interés.

Con los datos obtenidos se determinó la existencia de carbono de cada una de las especies, así como el total por hectárea y, ante la imposibilidad de cálculo del contenido de carbono de "todas las otras especies", que incluye la suma de todas las especies no consideradas como representativas desde el punto de vista de volumen total, este se obtuvo mediante un promedio aritmético del porcentaje de contenido de carbono de todas las especies analizadas.

Para la conversión a carbono se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$CC_i = (\%CC_i) * DBM_i$$

Donde:

CC_i = Contenido de carbono de la especie i ($t \cdot ha^{-1}$)

$\%CC_i$ = Porcentaje de contenido de carbono de la especie i .

DBM_i = Densidad de la Biomasa de la especie i ($t \cdot ha^{-1}$)

Para $i = 1, 2, 3, \dots, 12$ en todos los casos.

Para la estimación de contenido de carbono total por hectárea se utilizó la siguiente fórmula:

$$CC_T = S (CC_i)$$

Donde: CC_T = Contenido de carbono total por hectárea ($t \cdot ha^{-1}$)

Finalmente se realizó la valoración económica considerando un precio de US \$10.00 por tonelada de carbono. Con el auxilio de los volúmenes que se aprovecharían en el área de corta 2003 y con los precios de

venta y costos de extracción del 2002, se determinó el ingreso por aprovechamiento forestal. Con estos resultados se realizó una comparación de ingresos por la venta del servicio de almacenamiento de carbono y el aprovechamiento forestal de las especies comerciables que cubren la posibilidad anual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Medición de la biomasa

Las once especies seleccionadas fueron las siguientes: Chicozapote (*Manilkara zapota*), Ramón (*Brosimum alicastrum*), Sac chaká (*Dendropanax arboreum*), Caoba (*Swietenia macrophylla*), Chakte kok (*Sickingia salvadorensis*), Chechén (*Metopium brownei*), Paasak (*Simarouba glauca*), Tzalam (*Lysiloma bahamensis*), Katalox (*Swartzia cubensis*), Jabín (*Piscidia communis*) y Chakte viga (*Caesalpinia platyloba*), las cuales representaron en conjunto $105.23 m^3 \cdot ha^{-1}$, siendo el 70 % del volumen total. Se agregó una categoría más como "todas las otras especies", que abarca las demás especies que representan el 30 % restante. En el Cuadro 1 se presentan los resultados.

De las especies anteriores, las que tienen una venta segura de cualquier existencia son el Sac chaká (*Dendropanax arboreum*), caoba (*Swietenia macrophylla*) y el tzalam (*Lysiloma bahamensis*); sin embargo, en el análisis de ingresos por aprovechamiento forestal se incluyó también el Chechén (*Metopium brownei*), que no cubre la posibilidad anual, pero que está contemplado para aprovechamiento al menos en el área de corta 2003. Para las otras especies que aparecen en el cuadro, puede que suceda cualquiera de las siguientes situaciones: que se comercien esporádicamente pero con mucho potencial, no se comercien pero tienen potencial o que se comercien habitualmente pero con mucho potencial, por lo que no se consideraron en el análisis porque no presentan un ingreso definido.

Como se puede observar, el Chicozapote (*M. zapota*) presentó una densidad de biomasa de $157.95 t \cdot ha^{-1}$, siendo el 21.64 % de la densidad de biomasa total del bosque; le siguió el Ramón (*B. alicastrum*) con una densidad de biomasa de $61.07 t \cdot ha^{-1}$, representando el 8.37 % de la densidad de biomasa total y en tercer lugar el Chakte kok (*S. salvadorensis*) con $56.36 t \cdot ha^{-1}$, siendo el 7.72 % de la densidad de biomasa total, por mencionar las más importantes.

Un dato relevante en la categoría de "todas las otras especies" es, que si bien las especies que se ubican en ésta no sobresalen por el volumen total por hectárea de forma individual, algunas de las cuales no tienen ningún uso potencial, en conjunto, 88 especies, presentan una densidad de biomasa total de $134.08 t \cdot ha^{-1}$, siendo el 18.37 %.

CUADRO 1. Biomasa por especies y total del bosque tropical por hectárea.

Especie	Vol. Tot. (m ³ ·ha ⁻¹)	Dens. Bas. (t·m ⁻¹)	Biomasa (t·ha ⁻¹)	Fact. Exp. Biomasa	Dens. Biomasa (t·ha ⁻¹)	%
Chicozapote	49.119	0.86	42.242	3.739	157.95	21.64
Ramón	9.797	0.63	6.172	9.896	61.07	8.37
Chakte kok	7.949	0.66	5.246	10.744	56.36	7.72
Katalox	3.509	1.05	3.684	12.848	47.33	6.49
Caoba	8.340	0.42	3.503	13.180	46.17	6.33
Sac chaká	8.403	0.4	3.361	13.458	45.24	6.20
Chechén	5.474	0.61	3.339	13.503	45.09	6.18
Paasak	5.396	0.46	2.482	15.689	38.94	5.34
Tzalam	3.546	0.63	2.234	16.548	36.97	5.07
Jabín	2.408	0.68	1.637	19.367	31.71	4.34
Chakte viga	1.291	1.05	1.356	21.306	28.89	3.96
Todas las otras especies	44.769	0.68	30.321	4.422	134.08	18.37
Bosque tropical	150.000	0.704	105.600		729.79	100.00

FEB: Factor de Expansión de Biomasa

Fuente: Cálculos propios con datos del inventario forestal realizado por Argüelles *et. al.*, 1998.

Contenido de carbono

En el Cuadro 2 se muestran los resultados. El contenido total de carbono fue de 353.341 tC·ha⁻¹, que si se multiplica por 600 hectáreas que es lo equivalente al área de corta 2003, se tiene un estimado de contenido de carbono por área de corta igual 212,004.60 tC. También se observó que el Chicozapote (*Manilkara zapota*) mostró un contenido total de 75.640 tC·ha⁻¹, que representa el 21.41 % del total por hectárea. Posteriormente le sigue el Chakte kok (*Sickingia salvadorensis*) con 28.131 tC·ha⁻¹, representando el 7.96 % del total por hectárea y en tercer lugar el Ramón (*Brosimum alicastrum*) con 27.532 tC·ha⁻¹, representando el 7.79 %.

Con el procedimiento que se describió, se determinó el contenido de carbono de las especies seleccionadas y se confirma lo mencionado por Smith, *et al.* (1993) en donde establece que aproximadamente el 50 % del peso seco de cualquier organismo lo constituye el carbono.

También se puede observar las existencias de carbono que mantienen las especies que anteriormente se clasificaron como de venta segura independientemente de la existencia de las mismas, incluyendo al chechén (*M. brownei*); mantienen existencias de 83.492 tC·ha⁻¹, representando el 23.63 % del total; pero comparando este porcentaje con el de "todas las otras especies" se concluye que el contenido de carbono de estas últimas es aun menor que el contenido de las especies comerciables.

CUADRO 2. Existencias de carbono por especie y total, en toneladas por hectárea.

Especie	Dens. Biomasa (t·ha ⁻¹)	% Contenido Carbono	Carbono (tC·ha ⁻¹)	% del total
Chicozapote	157.95	0.4789	75.640	21.41
Chakte kok	56.36	0.4991	28.131	7.96
Ramón	61.07	0.4508	27.532	7.79
Katalox	47.33	0.5100	24.139	6.83
Chechen	45.09	0.4974	22.427	6.35
Caoba	46.17	0.4851	22.396	6.34
Sac Chaká	45.24	0.4700	21.261	6.02
Paasak	38.94	0.4911	19.125	5.41
Tzalam	36.97	0.4709	17.408	4.93
Jabín	31.71	0.4840	15.346	4.34
Chakte viga	28.89	0.5106	14.749	4.17
Todas las otras especies	134.08	0.4862	65.187	18.45
Bosque Tropical	729.79		353.341	100.00

Valoración de almacenamiento decarbono del bosque tropical de la empresa ejidal forestal Noh Bec

Una vez que se han obtenido las existencias de carbono por hectárea, por especie y el total, el siguiente paso fue valorar estas existencias en términos monetarios, que es parte del objetivo de esta investigación. Para tal fin, se consideró el precio de US \$10.00 tC·ha⁻¹·año, el cual fue establecido tomando en cuenta el costo de oportunidad del área comprometida en la venta del servicio ambiental, así como mediante un estudio de factibilidad considerando los costos de establecimiento y mantenimiento de la selva. Ante la carencia de un mecanismo de fijación de precios mediante mecanismos mercado de oferta y demanda dada la naturaleza de los servicios ambientales, este precio se ha manejado internacionalmente en transacciones de compra venta de carbono, como ha sido el caso de Costa Rica, que es el país pionero en este tipo de transacciones. La valoración se realizó obteniendo el producto de existencias de carbono

en tC·ha⁻¹ por especie y el total, por US \$10.00 tC. Para la conversión de dólares a pesos mexicanos, se consideró un tipo de cambio promedio de US \$1.00 = \$ 10.00 M.N. En el Cuadro 3 se muestran los resultados.

CUADRO 3. Valoración de las existencias de carbono en términos de Moneda Nacional

Especie	Existencias tC·ha ⁻¹	Valor US \$/ha (US \$10.00·tC ⁻¹)	Valor \$·ha ⁻¹ (US \$1.00=\$10.00)
Chicozapote	75.640	756.40	7,564.02
Chakte kok	28.131	281.31	2,813.05
Ramón	27.532	275.32	2,753.19
Katalox	24.139	241.39	2,413.91
Chechén	22.427	224.27	2,242.70
Caoba	22.396	223.96	2,239.59
Sac chaká	21.261	212.61	2,126.05
Paasak	19.125	191.25	1,912.50
Tzalam	17.408	174.08	1,740.85
Jabín	15.346	153.46	1,534.60
Chakte viga	14.749	147.49	1,474.94
Todas las otras especies	65.187	651.87	6,518.67
Bosque tropical	353.341	3,533.41	35,334.07

Fuente: Cálculos propios

Estos valores en moneda nacional por especie están muy relacionados a las existencias de carbono que tiene almacenado cada especie, por lo que las observaciones y los porcentajes mencionados para el Cuadro 2 siguen siendo válidos si se analiza en términos monetarios por especie. Sin embargo, es importante resaltar el valor monetario que tiene en términos de almacenamiento de carbono una hectárea del bosque tropical del ejido equivalente a \$ 35,334.07 M.N.

Comparación del ingreso por aprovechamiento forestal y el servicio ambiental de almacenamiento de carbono

El dominio geográfico del presente estudio comprende las áreas de corta de 1999 a 2008 con una superficie total de 6,000 hectáreas. De las 6,000 hectáreas correspondientes a diez áreas de corta, el promedio por aprovechar anualmente es de 600 hectáreas, lo que quiere decir que de 1999 a 2002 se han aprovechado 2400 hectáreas y están pendientes 6 áreas de corta, con un total de 3,600 hectáreas. Para fines comparativos, se tomarán como referencia los volúmenes a aprovechar en el 2003 utilizando los precios de venta del 2002.

Continuando con los resultados del Cuadro 3 y considerando las 600 hectáreas por aprovechar en el 2003, se tiene el siguiente análisis.

Si cada hectárea tiene un valor total de \$ 35,334.07 M.N. en términos de almacenamiento de carbono, el área de

corta del 2003 equivalente a 600 hectáreas, tiene un valor total de \$ 21,200,442.00 M.N. y si se supone que se inicia un nuevo ciclo de corta de 25 años, el área forestal permanente en estos momentos, en términos de almacenamiento de carbono, tiene un valor total de \$ 530,011,050.00 M.N., teniendo una existencia aproximada de 6,360,138 t C.

Considerando lo concluido por Torres (2001), en cuanto a la Disponibilidad a Aceptar (DAA), se tiene que el ejido en su totalidad tiene una DAA de \$ 22,355 millones de pesos anuales a cambio de no realizar ninguna actividad de aprovechamiento del bosque para que éste proporcione los bienes y servicios ambientales. Este monto es semejante al valor que tiene un área de corta anual en términos de almacenamiento de carbono, y hace pensar que el ejido tiene idea de lo valioso de sus recursos, lo que los ha llevado a aprovecharlos de una manera muy racional. Es importante resaltar que el monto que se obtuvo en este estudio es sólo de almacenamiento de carbono, por lo que si se sumara a este valor los otros servicios ambientales, el monto se incrementaría considerablemente.

En el Cuadro 4 se presenta el volumen a aprovechar por grupo de especies en el área de corta del 2003, así como los precios a los cuales se vendieron en el 2002, tomados como referencia para estimar los ingresos por aprovechamiento forestal. Inmediatamente después se presenta el Cuadro 5 en donde se estiman los costos de extracción para obtener finalmente los ingresos netos por este concepto.

CUADRO 4. Ingreso bruto total por aprovechamiento maderable en el área de corta 2003. L.A.B. Bacadilla

Especie	Volumen (m ³)	Precio \$ / m ³	Ingreso Bruto \$ / m ³
Caoba	1,468	3,558.00	5,223,144.00
Sac chaká	1,187	1,191.90	1,414,785.00
Amapola	730	1,045.50	763,215.00
Paasak	1,200	1,067.00	1,280,400.00
Chechén	2,648	1,067.00	2,825,416.00
Tzalam	355	1,071.00	380,205.00
Total	7,588		11,887,165.00

CUADRO 5. Costos de extracción de las especies comerciables.

Especie	Volumen (m ³)	Costo de extracción (\$·m ⁻³)	Costo total de extracción (\$)
Caoba	1,468	910.00	1,335,880.00
Sac chaká	1,187	746.62	886,237.94
Amapola	730	746.62	545,032.60
Paasak	1,200	746.62	895,944.00
Chechén	2,648	733.34	1,941,884.32
Tzalam	355	733.34	260,335.70
Total	7,588		5,865,314.56

Fuente: Tesorería Noh bec.

Resumiendo los datos anteriores se tiene:

Ingresos brutos = \$ 11,887,165.00

Costos de extracción = \$ 5,865,314.56

Ingresos netos = \$ 6,021,850.44

Comparando estos ingresos netos generados por aprovechamiento forestal maderable con los ingresos que se obtendrían en el supuesto de que en el 2003 se inicia con la venta del servicio ambiental de almacenamiento de carbono ocupando la totalidad de las 600 hectáreas, se observa que hay una diferencia de \$ 15,178,591.56 M.N., cantidad muy superior de lo que representan los ingresos netos por aprovechamiento forestal.

Por último, al comparar el ingreso neto que representan las especies por aprovechamiento forestal maderable y el ingreso por la venta del servicio ambiental de almacenamiento de carbono, Cuadro 6, se observó lo siguiente:

En el caso de la caoba, el ingreso por la venta del servicio ambiental resultó aproximadamente un tercio que lo que se obtiene por la explotación forestal; de lo anterior se interpreta que es más conveniente realizar la explotación maderable de esta especie, mientras que en el caso de las otras especies analizadas, el ingreso por la venta del servicio ambiental resultó más redituable, aunque en el caso del Chechén, la redituabilidad es menor, cercana a ubicar el ejido en una posición de indiferencia de entre si vender servicios ambientales de almacenamiento de carbono o de explotación forestal, en contraste con el Tzalam, especie que resulta más redituable para fines de almacenamiento de carbono.

Si se analiza de forma global, conjugando todas las especies, se observa que, aunque no muy representativo, es más conveniente asignar todas las especies al

almacenamiento de carbono. Esta baja significancia se debe a que los ingresos por los dos conceptos se distribuyen entre todas las especies, ocasionando que no sea totalmente convincente vender servicios ambientales.

De los dos párrafos anteriores, el ejido puede negociar la venta del servicio de almacenamiento de carbono, conjugando con ello el aprovechamiento maderable de los recursos forestales que resulten más redituables con esta actividad, como es el caso de la caoba en este análisis, y asignar todas las demás especies al almacenamiento de carbono; esto traerá como consecuencia el incremento de los ingresos que perciba el ejido, sin dañar la composición del bosque ni perder el enfoque principal que es la venta de servicios ambientales de almacenamiento de carbono.

CONCLUSIONES

1. Con base en las evaluaciones realizadas y con relación a las características específicas del Ejido Noh bec, se puede concluir que su bosque tropical tiene una capacidad de almacenamiento de carbono de 353.341 tC·ha⁻¹, que se distribuye de manera diferencial en las distintas especies que lo conforman. Esta cantidad de carbono almacenado resulta mayor a la que se reporta para bosques tropicales semejantes al bosque de Noh bec, los cuales oscilan entre 155 y 160 tC·ha⁻¹. Si se multiplica el valor anterior por 600 hectáreas, se tiene que un área de corta tiene almacenado aproximadamente 212,004.60 toneladas de carbono.

2. La especie que concentra la mayor cantidad de carbono es el Chicozapote (*Manilkara zapota*) con un total de 75.640 tC·ha⁻¹, representando el 21.4 % del total por hectárea. Las especies Ramón, Sac chaká, Caoba y Chakte kok almacenan en forma conjunta el 28.11 % del total por hectárea. Analizando estas cinco especies, se observa que en conjunto almacenan casi el 50 % de contenido de carbono total.

CUADRO 6. Comparación de ingresos netos por el aprovechamiento forestal e ingresos por la venta del servicio ambiental de almacenamiento de carbono.

Especie	Ingreso Bruto (\$·m ⁻³)	Costo total de extracción (\$)	Ingreso neto (\$) (Aprovechamiento Forestal)	(Aprovechamiento (Almacenamiento de Carbono))
Caoba	5,223,144.00	1,335,880.00	3,887,264.00	1,343,753.38
Sac chaká	1,414,785.00	886,237.94	528,547.06	1,275,631.62
Paasak	1,280,400.00	895,944.00	384,456.00	1,147,501.79
Chechén	2,825,416.00	1,941,884.32	883,531.68	1,345,619.89
Tzalam	380,205.00	260,335.70	119,869.30	1,044,507.91
TOTAL	11,123,950.00	5,320,281.96	5,803,668.04	6,157,014.59

Fuente: cálculos propios

3. El ingreso que la Empresa Forestal Ejidal pudiera recibir si contrata con un comprador la venta del servicio ambiental de almacenamiento de carbono sería de \$ 21,200,442.00 M.N. por cada área de corta anual y en conjunto de las seis anualidades pendientes por aprovechar en su programa de manejo, representan un ingreso total de \$ 127,202,652.00.

4. El valor por área de corta anual, en este caso el 2003, en términos de almacenamiento de carbono, es igual a \$ 21,200,442.00 M.N., similar a la DAA total del ejido estimado por Torres (2001) a cambio de no realizar algún tipo de aprovechamiento, que es de \$ 22,355 millones de pesos M.N. anuales.

5. Si se supone que se inicia un nuevo ciclo de corta de 25 años, el área forestal permanente en estos momentos, en términos de almacenamiento de carbono, tiene un valor total de \$ 530,011,050.00 M.N., teniendo una existencia aproximada de 6,360,138 toneladas de carbono.

6. El ingreso que genera el aprovechamiento forestal por área de corta anual es de \$ 6,021,850.00 y en conjunto de las seis anualidades por aprovechar, representa un ingreso total de \$ 36,131,100.00 M.N.

7. Al analizar el ingreso anual por venta del servicio de almacenamiento de carbono y el aprovechamiento forestal, se observó que la relación de costo de oportunidad de vender el servicio en lugar del aprovechamiento forestal, es de 3.5:1, lo que refleja la conveniencia de la primera opción. Sin embargo, analizando el costo de oportunidad por especies, principalmente las comerciables que cubren la posibilidad anual, se tiene que en este caso el costo de oportunidad es negativa, lo que indica que es más conveniente para el ejido diversificar sus ventas, es decir, seguir aprovechando las especies comerciables y dedicar al almacenamiento de carbono las otras especies.

8. Debido al aprovechamiento de las especies maderables que hace el Ejido Noh bec y que su destino sea para la elaboración de muebles, con los cuales el

carbono sigue almacenado, podría darse la posibilidad de negociar con la empresa contratante interesada en el servicio ambiental de almacenamiento de carbono, para que al ejido se le permita extraer el volumen de estas especies y dejar el resto, principalmente el Chicozapote (*Manilkara zapota*) y las especies que no tienen potencial de venta o que no cubren la posibilidad anual, las cuales tampoco se consideraron en la estimación de ingresos anuales por aprovechamiento forestal, para fines de almacenamiento de carbono, solicitando el pago correspondiente, con lo cual el ingreso de la Empresa Ejidal Forestal Noh bec se incrementaría sustancialmente.

9. Con el aprovechamiento de las especies maderables se abren claros en la selva, lo que permitiría la regeneración natural o inducida, con lo cual se promovería la captura de carbono, tema de otra investigación.

10. Los beneficios económicos de vender el servicio ambiental de captura de carbono y la conservación del bosque permite la preservación e incremento de la biodiversidad existente y aunado a ello proporcionar los servicios ambientales adyacentes sin ningún costo.

LITERATURA CITADA

- ARGÜELLES S., L. A.; ROMÁN B., F. S.; CABALLERO R., A.; RAMÍREZ S., E. 1998. Programa de manejo forestal para el bosque tropical del Ejido Noh bec. *Tropica Rural Latinoamericana* A.C. Quintana Roo, México. 99 pp.
- BROWN, L. 1988. *State of the world*. Nueva York, Norton.
- GOUDIE, A. 1990. *The human impact on the natural environment*. 3rd Edition. Basil Blackwell Ltd, Oxford, U. K. 388 p.
- ORDÓÑEZ, A. 1999. Estimación preliminar del contenido de carbono para el Ejido de San Pedro Jacuaro, Michoacán, México. Instituto de Ecología. UNAM. México. 73 p.
- SMITH, T. M.; CRAMER, W. P.; DIXON, R. K.; LEEMANS, R.; NEILSON, R. P.; SOLOMON, A. M. 1993. *The global Terrestrial Carbon Cycle*. Water, air and Soil Pollution. Kluwer Academic Publisher. Netherlands. 70 pp. 19-37.
- TORRES P., A. J. 2001. Valoración económica de los bienes y servicios ambientales de un bosque tropical. Tesis doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 124 p.