

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

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

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES

P R E S E N T A:

JESÚS BAUTISTA HERNÁNDEZ

Chapingo, Estado de México 2002



DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



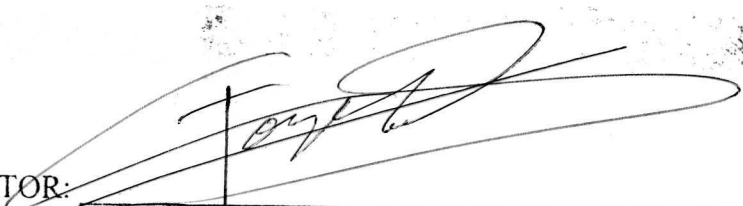
Bib. 98485

**VALORACION ECONOMICA DEL ALMACENAMIENTO DE CARBONO DEL
BOSQUE TROPICAL DEL EJIDO NOH BEC, QUINTANA ROO, MEXICO**

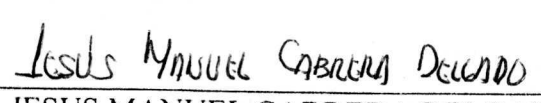
Tesis realizada por Jesús Bautista Hernández bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:


DR. JORGE ANTONIO TORRES PEREZ

ASESOR:


M.C. JESUS MANUEL CABRERA DELGADO

ASESOR:


M.C. MARCELO ZEPEDA BAUTISTA

A. 49667

A. 123

**VALORACION ECONOMICA DEL ALMACENAMIENTO DE CARBONO DEL
BOSQUE TROPICAL DEL EJIDO NOH BEC, QUINTANA ROO, MEXICO**

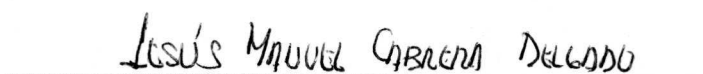
El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de Jesús Bautista Hernández autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales estuvo constituido por:

PRESIDENTE:



DR. JORGE ANTONIO TORRES PEREZ

ASESOR:



M.C. JESUS MANUEL CABRERA DELGADO

ASESOR:



M.C. MARCELO ZEPEDA BAUTISTA

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
DATOS BIOGRAFICOS	v
INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo general:	4
2.2. Objetivos específicos:	4
3. HIPÓTESIS	5
4. MARCO TEORICO DE REFERENCIA	6
4.1. El cambio climático global, su fundamento científico:	
captura de carbono y deforestación	6
4.1.1. El Cambio Climático Global	6
4.1.2. Efecto invernadero; fundamento científico del	
cambio climático global.	8
4.1.3. Los gases de efecto invernadero	10
4.1.4. La captura de carbono	13
4.1.5. La deforestación y sus aportaciones negativas al	
cambio climático global	34
4.2. Los bosques tropicales, su importancia en la mitigación	
del CO ₂ atmosférico y la venta del servicio de captura.	39
4.2.1. Los bosques tropicales	39
4.2.2. Los bosques tropicales y la captura de carbono	47
4.2.3. La venta del servicio de captura decarbono	52
5. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	64
5.1. Aspectos generales	64
5.2. Aspectos fisicos	65
5.2.1. Localización y ubicación geográfica	65
5.2.2. Fisiografía	66
5.2.3. Altitud	67
5.2.4. Orografía	67
5.2.5. Hidrografía	67
5.3. Clima	69

5.4. Geología y suelos	70
5.4.1. Geología	70
5.4.2. Suelos	70
5.5. Vegetación	72
5.5.1. Vegetación primaria	72
5.5.2. Vegetación secundaria	73
5.5.3. Composición general del bosque tropical del Ejido Noh bec	74
6. METODOLOGÍA	97
6.1. Cálculo de stock de carbono	97
6.1.1. Medición de la biomasa	98
6.1.2. Método de estimación	100
6.1.3. Determinación de contenido de carbono	107
6.1.4. Conversión de biomasa a Carbono	110
6.2. Valoración del almacenamiento de carbono del bosque tropical del Ejido Noh bec	110
6.3. Comparación del ingreso por aprovechamiento forestal y el ingreso que representa vender el servicio ambiental de almacenamiento de carbono.	111
7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	114
7.1. Cálculo del stock de carbono	114
7.1.1. Medición de la biomasa	114
7.1.2. Determinación de contenido de carbono	116
7.1.3. Conversión de densidad de biomasa a carbono	118
7.2. Valoración de almacenamiento de carbono del bosque tropical del Ejido Noh bec.	120
7.3. Comparación del ingreso por aprovechamiento forestal y el servicio ambiental de almacenamiento de carbono	122
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	131
8.1. Conclusiones	131
8.2. Recomendaciones	134
9. BIBLIOGRAFÍA	136
ANEXOS	143

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Autónoma Chapingo por otorgarme la oportunidad de superarme profesionalmente dentro de sus instalaciones, en especial a la División de Ciencias Forestales y a su personal académico por permitirme formar parte de su programa de Posgrado.
- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por brindarme el apoyo económico que hizo posible la conclusión de mis estudios de Maestría.
- Al Dr. Jorge A. Torres Pérez por la dirección y por la gran amistad incondicional brindada durante el desarrollo de la presente tesis.
- Al M.C. Jesús M. Cabrera Delgado por su desinteresado apoyo, minuciosa revisión y atinadas recomendaciones para darle a la tesis una mejor presentación.
- Al M.C. Marcelo Zepeda Bautista por el apoyo incondicional brindado y las sugerencias y observaciones valiosas para la terminación de la tesis.
- A la empresa GISENA, S.A. DE C.V. por las facilidades otorgadas para el término de la tesis; en especial a Alfonso Lucas Gutiérrez y Pedro Mata Zayas por su amistad y apoyo brindados.
- A la señora Laura por el apoyo brindado en la tramitación del examen de grado.
- A mis amigos Luis Valenzuela, Andrés González y en especial a mi gran amigo y confidente José Navarro, por enseñarme que nada vale más que una amistad sincera.

DEDICATORIA

- A mis padres Sr. Jaime Bautista Avella (†) y la Sra. Ninfa Hernández Chávez (†) que con esfuerzo y tenacidad me educaron para ser un hombre de bien y por ser un ejemplo a seguir. Siempre los tengo en mi mente.
- A mis hermanos Lupe, Brígida, Chen, Beto y Clara por su siempre apoyo sincero y ejemplo a seguir por ser eternos luchadores para superarse siempre y en todo momento.
- Muy en especial a mi esposa María Luisa Rodríguez Mitzi por su apoyo y gran amor brindados y a mi hijo Danielito por ser un motivo valioso para seguir viviendo; a ellos con todo mi amor.
- A todos mis sobrinos, cuñadas, cuñados y en especial a Baltazar por su siempre apoyo incondicional
- Y a todas las personas que de una u otra manera tuvieron que ver con el logro de un objetivo más en mi vida.

GRACIAS

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació en Tanetze de Zaragoza, Distrito de Villa Alta, Oaxaca, el 05 de febrero de 1977. Realizó sus estudios de primaria en su pueblo natal, para después ingresar al Internado de Reyes Mantecón, Oaxaca donde realizó sus estudios de nivel secundaria. En 1992 ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo en donde realizó sus estudios de preparatoria y licenciatura, graduándose en octubre de 1999 como Licenciado en Comercio Internacional.

De enero del 2000 a diciembre del 2001, cursó los créditos correspondientes a la Maestría en Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo con orientación en Economía Forestal y Ambiental.

De julio del 2001 a la fecha, se desempeña como Gerente Administrativo de la empresa Grupo Integral de Servicios Fitosanitarios ena, S.A. de C.V.

INDICE DE CUADROS

CUADRO	PAG.
Cuadro 1.- Características de los principales gases de efecto invernadero (GEI).	12
Cuadro 2.- Emisiones totales y emisiones per cápita de CO ₂ por países desarrollados en los años 1990 y 1995.	17
Cuadro 3.- Estrategias del sector forestal para la mitigación de gases de efecto invernadero.	32
Cuadro 4.- Fuentes y agentes de deforestación por región geográfica	35
Cuadro 5.- Superficies de deforestación por país	45
Cuadro 6.- Estimaciones globales de la cantidad de C que podría ser secuestrado y conservado por medio de prácticas de manejo forestal de 1995 a 2050.	49
Cuadro 7.-Acumulación promedio de biomasa (Mg/ha), almacenamiento (MgC/ha) y fijación (MgC /ha/a) de carbono en ecosistemas forestales y su valoración.	51

Cuadro 8.- distribución relativa por países inversores y países huéspedes de actividades de implementación conjunta	63
Cuadro 9.- Clasificación de uso del suelo en Noh bec.	64
Cuadro 10.- Preponderancia de las especies	75
Cuadro 11.- Distribución de problemas sanitarios	77
Cuadro 12.- Usos y status comercial de las especies	79
Cuadro 13.- Distribución de sanidad de la caoba	83
Cuadro 14.- Distribución de sanidad del sac chaka	85
Cuadro 15.- Distribución de sanidad del tzalam	86
Cuadro 16.- Distribución de sanidad de la amapola	87
Cuadro 17.- Distribución de sanidad del chaka	88
Cuadro 18.- Distribución de sanidad del paasak	89
Cuadro 19.- Distribución de sanidad del Chakte kok	90
Cuadro 20.- Distribución de sanidad del Chechén	92
Cuadro 21.- Distribución de sanidad de katalox	93
Cuadro 22.- Biomasa por especies y total del bosque tropical por hectárea.	115
Cuadro 23.- Porcentaje de contenido de carbono por especies	117

Cuadro 24.- Stock de carbono por especie y total, en toneladas por hectárea.	119
Cuadro 25.- Valoración del stock de carbono de términos de la Moneda Nacional	121
Cuadro 26.- Volumen a aprovechar en el área de corta del 2003 por grupo de especies	124
Cuadro 27.- Ingreso bruto total por aprovechamiento maderable en el área de corta 2003. L.A.B. Bacadillas.	125
Cuadro 28.- Costos de extracción de las especies comerciables	126
Cuadro 29.- Ingresos en el tiempo que representa vender el servicio ambiental de almacenamiento de carbono, considerando las seis áreas de corta pendientes.	127
Cuadro 30.- Ingresos en el tiempo que representa realizar los aprovechamientos forestales programados en el programa de manejo.	128
Cuadro 31.- Comparación de ingresos netos por el aprovechamiento forestal e ingresos por la venta del servicio ambiental de almacenamiento de carbono	129

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAG.
Figura 1.- Efecto invernadero	10
Figura 2.- El ciclo del carbono	15
Figura 3.- Croquis de localización del Ejido Noh bec	66
Figura 4.- Distribución del arbolado por clade diamétrica	76
Figura 5.- Estructura de la población de caoba	82
Figura 6.- Estructura de la población de sac chaká	84
Figura 7.- Estructura de la población de tzalam	85
Figura 8.- Estructura de la población de amapola	87
Figura 9.- Estructura de la población de chaká	88
Figura 10.- Estructura de la población de paasak	89
Figura 11.- Estructura de la población de chakte kok	90
Figura 12.- Estructura de la población de chechen	91
Figura 13.- Estructura de la población de katalox	92
Figura 14.- Estructura de la población de chicozapote	94
Figura 15.- Estructura d ela población de ramón	96

RESUMEN

JESUS BAUTISTA HERNANDEZ

Valoración económica del almacenamiento de carbono del bosque tropical del
Ejido Noh bec , Quintana Roo, México

04 de Diciembre del 2002

Bajo la dirección del Dr. Jorge A. Torres Pérez

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 el stock de carbono por hectárea, igual a 353.341 tonC/ha.

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; Stock de carbono; Venta de servicio ambiental; Costo de oportunidad.

ABSTRACT

JESUS BAUTISTA HERNANDEZ

Economic valuation of stock of carbon of the tropical forest of the Ejido Noh
bec, Quintana Roo, Mexico

December 04, 2002

Under the direction of Jorge A. Torres Pérez

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

Using volumes to be harvested in the 2003 felling area and sale prices as well as extraction costs per m³ in the 2002, income was determined by forest use estimated in \$6,021,850.44, while the income from the sale of the environmental service of storage of carbon for the same area was estimated at \$21,200,442.00.

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

KEY WORDS: Biomass Density; Stock of carbon; Sale of environmental service; Opportunity Cost.

1. INTRODUCCION

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 problemas en el motor principal de su funcionamiento, el clima; se ha venido manifestando un fenómeno meteorológico que por demás es peligroso y ha llegado al grado de que todas las naciones han enfocado su atención hacia él. 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 dióxido de carbono (CO_2) 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 (CH_4), el óxido nitroso (NO_2), el ozono (O_3), el dióxido de azufre (SO_2) 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 la superficie del planeta.

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.

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 de 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 en un bosque tropical, 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.

Para tal finalidad se estimó primeramente la densidad de biomasa de las especies y la densidad de biomasa total en una hectarea, utilizando un metodo indirecto basado en el uso de datos existentes de volumen a partir de un inventario forestal. Posteriormente se determinó el contenido de carbono de las especies más representativas desde el punto de vista de volumen total con el apoyo de un digestor Shimadzu en el Colegio de Postgraduados. Con los datos anteriores se determinó el stock de carbono de cada una de las especies, así como el total por hectarea y, finalmente realizó la valoración económica considerando un precio de US\$10.00 por tonelada de carbono.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general:

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

2.2. 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.
- En base a los dos puntos anteriores, evaluar la viabilidad de ofrecer el servicio ambiental de almacenamiento de carbono para generar mayores ingresos al ejido.

3. HIPÓTESIS

La venta del servicio ambiental de almacenamiento de carbono representa mayores ingresos a la empresa ejidal forestal Noh Bec que el aprovechamiento directo de los recursos maderables del bosque tropical del ejido.

4. MARCO TEORICO DE REFERENCIA

4.1. El cambio climático global, su fundamento científico: captura de carbono y deforestación

4.1.1. El Cambio Climático Global

Los cambios globales son parte de un complejo proceso que incluye los cambios en el uso de la tierra y los cambios en la composición de la atmósfera. El primer cambio se refiere a cambios en la cobertura del suelo como producto de la deforestación, ganaderización, ampliación de la frontera agrícola y crecimiento de la mancha urbana y, el segundo cambio se refiere a los cambios en la composición de la atmósfera por efecto de la emisión de gases que ocasionan el efecto invernadero. Es importante resaltar que los dos tipos de cambio tienen interdependencia manteniendo su origen común en la actividad que el hombre realiza sobre la naturaleza.

En la actualidad, el ser humano se enfrenta a uno más de los innumerables obstáculos que ha tenido que superar a lo largo de su historia; el planeta tierra que nos conduce empieza a manifestar fallas en el motor principal de su funcionamiento: el clima, problema que los científicos han denominado Cambio Climático Global. En los últimos 300 años, o en aquellos que han abarcado a las revoluciones agrícola e industrial, el hombre empezó a modificar la naturaleza y hoy en día las actividades de 6 mil millones de humanos pueden

provocar mayores repercusiones en la estabilidad del clima, que casi cualquier acontecimiento de tipo natural (PNUMA, 1992)

Una de las manifestaciones del cambio climático es el calentamiento global, producido por el incremento en la concentración de diversos gases en la atmósfera, conocidos como de efecto invernadero, entre los que destacan: el bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (NO_2), el ozono (O_3), el bióxido de azufre (SO_2) y los clorofluorocarbonos (CFCs). De estos, el primero es el que predomina y su concentración en la atmósfera se ha elevado en un 30%, desde 1860; de 280 a 360 ppm (Ordoñez, 1999).

El Cambio Climático Global es un tema que desde hace varias décadas ha formado parte de las investigaciones del medio científico. Los avances en su comprensión y las crecientes evidencias de sus potenciales implicaciones ambientales, sociales y económicas, a escala nacional, regional y global, ha hecho que los gobiernos del mundo lo incorporen en sus diferentes agendas en los últimos años, y es que en realidad, esto es un hecho y un tema que debe ser considerado importante. Hasta hace poco, el proceso había pasado inadvertido, pero ahora se conoce que el incremento continuo en las concentraciones de ciertos gases en la atmósfera, como el CO_2 , conducirá inevitablemente a un calentamiento global y posiblemente a un aumento de la humedad en algunas regiones del planeta.

4.1.2. Efecto invernadero; fundamento científico del cambio climático global.

El planeta está rodeado por una capa denominada atmósfera, compuesta por nitrógeno (78.3%), oxígeno (21.0%), argón (0.3%), dióxido de carbono (0.03%) y otros gases en cantidades menores como helio, neón y xenón. Además contiene aerosoles (partículas) en cantidades variables, dependiendo de su origen y concentración, y vapor de agua en concentraciones fluctuantes. Este último es responsable en gran parte de los fenómenos meteorológicos (Salati, 1990).

La atmósfera juega un papel importante filtrando las radiaciones de corta longitud de onda que serían nocivas para los seres vivos, que paradójicamente al principio fueron estas radiaciones las que permitieron el desencadenamiento de las reacciones químicas que dieron lugar a la aparición de la vida. Al principio, la presión atmosférica era veinte veces superior a la actual, y como consecuencia había un importante efecto invernadero (con unos 65°C en la superficie), hasta que un efecto regulador intervino: la fijación del gas carbónico (dióxido de carbono) por las plantas, las rocas y los océanos, bajo la forma de carbonatos. Entonces la presión y temperatura alcanzaron los valores actuales (Kohler, 1991).

Dentro de la atmósfera, la capa más baja o la más próxima a la superficie de la tierra, conocida como troposfera, contiene a los gases que son responsables en gran parte de la temperatura del planeta, la cual crea condiciones aptas para la

vida; en la que la densidad, la presión y la temperatura (a razón de 6°C por kilómetro) disminuyen con la altura. En el seno de esta capa se desarrollan la mayor parte de los fenómenos meteorológicos. Sin embargo, para evitar confusiones una vez mencionado lo anterior, en este trabajo se optará como regla el mencionar a la atmósfera en general, y no a la troposfera.

El efecto invernadero se entiende como la propiedad de la atmósfera consistente en permitir el paso de la radiación solar e impedir parcialmente la salida de esta hacia el espacio. La radiación, en su recorrido por el espacio, cruza la atmósfera y llega al planeta. Una parte de ella es reflejada por la superficie mientras la otra es absorbida por los diversos ecosistemas: océanos, bosques, selvas, y en general por la cubierta vegetal. En otras palabras, el efecto invernadero se debe a que ciertos gases que se encuentran en la atmósfera permiten que la mayor parte de la radiación solar incidente penetre hasta la superficie del planeta, mientras que se absorbe y reemite parte de la radiación infrarroja que el planeta regresa al espacio exterior (Ordoñez, 1999).

Esta radiación infrarroja (radiación de onda larga) que emite el planeta es absorbida por los gases de invernadero de la atmósfera, produciendo su calentamiento. Este proceso es el responsable de que la temperatura de la superficie de la tierra sea aproximadamente 33°C más alta de lo que sería si no se produjera tal fenómeno (Schneider, 1990).

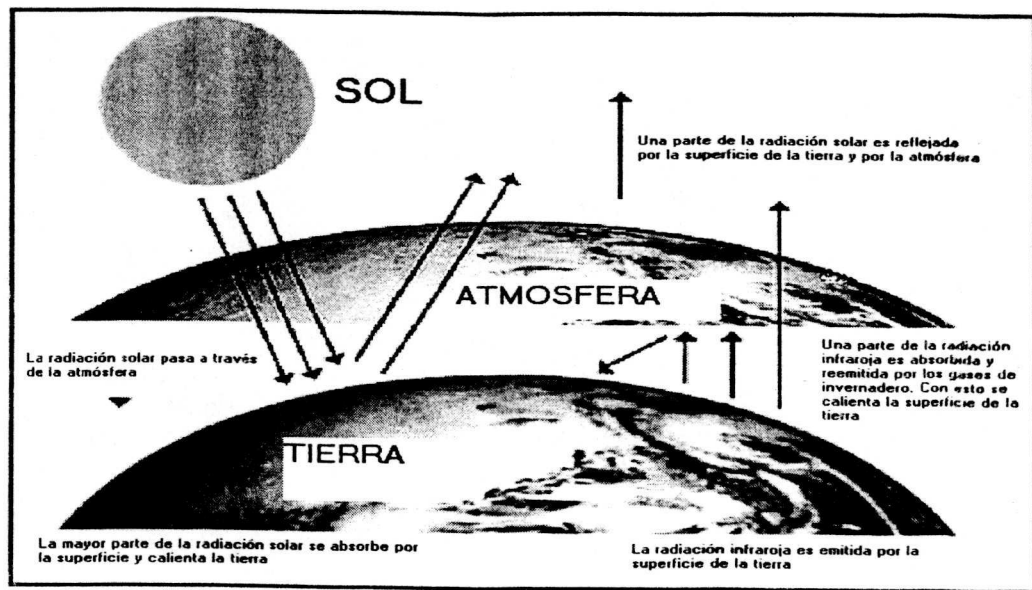


Figura 1. Efecto invernadero

De mantenerse constantes las concentraciones de los gases de invernadero, la temperatura de la superficie terrestre estaría en equilibrio. Sin embargo, el desarrollo de las actividades humanas ha provocado un desequilibrio al incrementar en unas cuantas décadas las emisiones de componentes como el dióxido de carbono, los clorofluorocarbonos y otros gases de invernadero produciendo aumentos en la temperatura como una consecuencia de la mayor absorción de radiación infrarroja. Este fenómeno origina el *Cambio Climático Global*.

4.1.3. Los gases de efecto invernadero

Se han mencionado los gases que conforman la atmósfera terrestre y la proporción que representan cada uno de ellos, así como el papel que esta juega en la regulación del clima que hace posible la vida en el planeta; sin

embargo, poco se ha hablado del papel específico y la importancia de cada uno de estos gases en la regulación del clima en la superficie terrestre, aspecto que en este apartado se tratará de forma breve.

Se conoce que el 99% de la atmósfera está constituida por nitrógeno y oxígeno y los gases de efecto invernadero están en menos del 1% y son principalmente vapor de agua, bióxido de carbono y gases trazas tales como el metano, óxido de nitrógeno y clorofluorocarbonos; de este 1%, el vapor de agua es el más importante en términos de la atmósfera y no es directamente afectado por el hombre. Aquellos que si son afectados por la actividad humana incluyen el bióxido de carbono y los gases traza.

En el Cuadro 1 se resumen los principales gases de efecto invernadero, la fuente antropogénica que los genera, su concentración preindustrial y actual estimada, incremento anual de la concentración y su tiempo de residencia en la atmósfera. Como se puede apreciar, de los gases de efecto invernadero (GEI), el de mayor importancia es el CO_2 ya que el diferencial de su concentración es enorme comparado con los otros GEI y, aunque su incremento anual sea inferior al CH_4 , su periodo de residencia en la atmósfera es de 5 a 20 veces más que este último. Diferentes autores (Schneider, 1989; Houghton y Woodwell, 1989; Goudie, 1990; Dixon *et al.*, 1994; Masera, 1995) afirman que el dióxido de carbono (CO_2) es el principal gas de efecto invernadero (Ordoñez, 1999).

Cuadro 1. Características de los principales gases de efecto invernadero (GEI).

Gas	Fuentes antropogenicas	Concentración (ppb)*		Incremento anual (%)	Tiempo de residencia (años)
		Preindustrial	Actual		
CO ₂	Uso de combustibles fósiles y leña, deforestación.	275,000	353,000	0.5	50-200
CH ₄	Cultivo de arroz, ganado, tiraderos de basura, uso de combustible fósiles.	800	1720	0.9	10
NO _x	Fertilizantes químicos, deforestación, uso de leña.	285	310	0.2	150-180
CFCs	Aerosoles, refrigerantes, aislantes	0	3	5	65-130

* Partes por billón.

Fuente: Goudie, 1990.

Un punto importante a observar es que todos estos GEI, además de encontrarse en la atmósfera y funcionar como reguladores de la temperatura del planeta de forma natural, también son emitidas por múltiples actividades que el ser humano realiza día a día con el fin de obtener todos los satisfactores que necesita para su supervivencia y, precisamente este es el punto importante, ya que existe un creciente consenso en que deben disminuirse las emisiones de origen humano por sus efectos sobre el clima global.

Otro punto muy importante a considerar es el potencial de calentamiento atmosférico de cada uno de estos gases. El CH₄ y el NO₂ son los GEI más eficientes que el bióxido de carbono, pues absorben más radiación infrarroja (Shine, *et al*, 1990). Sin embargo, este último es considerado el más importante debido a que sus concentraciones son 1000 veces mayores a las de óxido nitroso y cerca de 200 veces superiores a las del metano (IUC, 1997)

Desde la Revolución Industrial, hace 200 años, se ha estado emitiendo CO₂ a la atmósfera y ahora se están viviendo las consecuencias. Con el paso de los años, este y los gases traza captan cada vez más calor, que de otra manera escaparía al espacio. El calor retenido regresa en la superficie terrestre, hace aumentar la temperatura del planeta y crea lo que se denomina un “gran efecto invernadero”.

Actualmente es un hecho demostrado el incremento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, lo que ya no es demostrable es que el medio grado de incremento en la temperatura media anual sea consecuencia de lo anterior. A pesar de que nadie niega el efecto invernadero del dióxido de carbono, nadie es capaz de predecir las consecuencias de su aumento con un índice de fiabilidad alto, a pesar que la mayoría de las hipótesis suelen converger en un incremento de la temperatura media del planeta de entre 3 y 5.5°C. En tales predicciones entran una multitud de variables físicas y biológicas, muchas de ellas con un efecto regulador poco conocido o muy complejo.

4.1.4. La captura de carbono

4.1.4.1. El bióxido de carbono y su ciclo en la naturaleza.

En la naturaleza, el carbono se encuentra en el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos (los carbonatos), y en el aire o atmósfera

como dióxido de carbono o anhídrido carbónico. Todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono, que obtienen como resultado de sus procesos metabólicos realizados durante su crecimiento y desarrollo, y que son liberados cuando estos mueren. Aproximadamente el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, por lo que es uno de los más importantes de la vida (Smith *et al.*, 1993).

El ciclo global del carbono es complejo. Comienza con la fijación de este a través de los procesos de fotosíntesis realizada por las plantas y algunos microorganismos. En este proceso, el anhídrido carbónico y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberan oxígeno en forma simultánea, que pasa a la atmósfera. Parte del carbohidrato se consume directamente para suministrar energía a la planta, y el anhídrido carbónico así formado se libera a través de sus hojas y raíces. Otra parte es consumida por los animales, que también respiran y liberan anhídrido carbónico. Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo, lo que provoca que el carbono de sus tejidos se oxide en anhídrido carbónico y regrese a la atmósfera (Smith *et al.*, 1993).

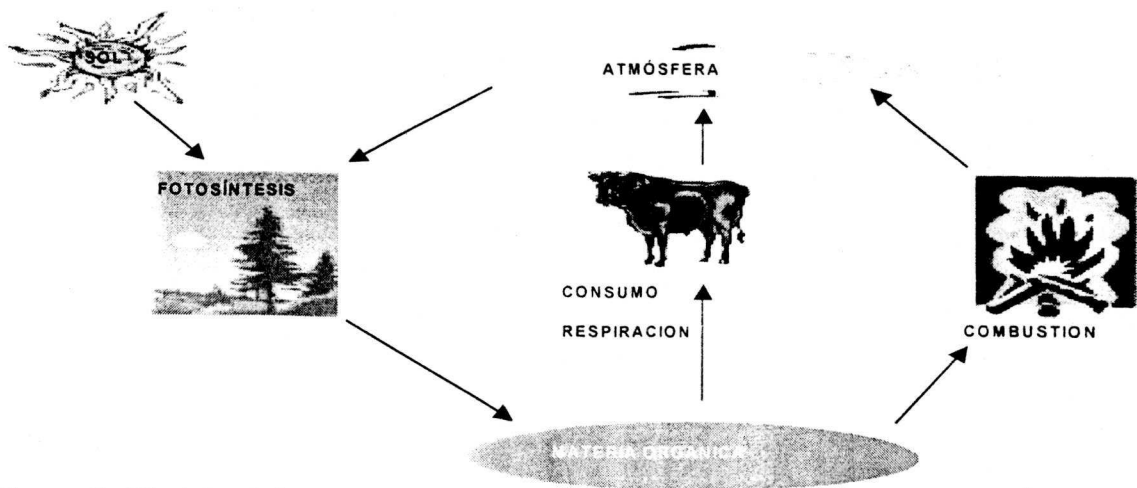


Figura 2. El ciclo del carbono

El CO_2 atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis. Este CO_2 participa en la composición de todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y fuste). Al crecer, éste incrementa su follaje, ramas, flores, frutos y yemas de crecimiento, así como su altura y grosor de su fuste. Durante el tiempo en que el CO_2 se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es enviado nuevamente al suelo o a la atmósfera se considera almacenado. En el momento de su liberación (ya sea por descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de la biomasa), el CO_2 fluye para regresar al ciclo del carbono (Nabuurs y Morthen, 1993).

4.1.4.2. Las emisiones de Bióxido de Carbono

El uso de combustibles fósiles y el cambio en el uso del suelo es considerado en el ámbito mundial como las dos principales fuentes netas de CO_2 a la

atmósfera relacionadas con el cambio climático global (Mintzer, 1992). La vegetación y la tierra de las áreas forestales retienen de 20 a 100 veces más carbono por unidad de área que los sistemas agrícolas. Cuando los bosques son convertidos a tierras para la agricultura o la ganadería, gran parte de este carbono se libera a la atmósfera. También se agregan la combustión de madera y carbón vegetal como fuentes de energía.

Algo importante habría que resaltar; si bien, el efecto invernadero es un fenómeno de carácter global, dos tercios del impacto acumulado hasta la fecha se ha originado en países industrializados. Estados Unidos de Norteamérica, con 277 millones de habitantes para 1990, el 5% de la población mundial, había contribuido con el 25% del efecto acumulado entre 1958 y 1990. Europa Occidental, con 38 millones de habitantes en ese mismo años, el 7% de la población mundial, había contribuido con el 19% en el mismo periodo. Mientras que Japón, Australia y Nueva Zelanda habían contribuido con el 5%.

Los países en desarrollo sin embargo, con cerca del 80% de la población mundial, habían contribuido con un tercio del efecto invernadero en el mismo período; aunque la mayor parte de la contribución continúa proviniendo de la actividad de los países industrializados, la contribución relativa de los países en desarrollo se encuentra en ascenso ya que el progreso social y económico de estos depende de un mayor consumo de energía y, si esta se sigue obteniendo del uso de los combustibles fósiles, se producirá un incremento significativo en la contribución de estos países a la emisión total de carbono a la atmósfera.

En el Cuadro 2 se presenta un concentrado de las emisiones totales y per cápita de CO₂ por parte de los países desarrollados en los años 1990 y 1995; se puede observar claramente la participación de Estados Unidos de Norteamérica como uno de los más importantes emisores de este elemento a la atmósfera.

Cuadro 2. Emisiones totales y emisiones per cápita de CO₂ por países desarrollados en los años 1990 y 1995.

PAIS	Total de emisiones (1)		Emisiones por habitante (2)	
	1990	1995	1990	1995
Australia	72	82	4.3	4.5
Austria	16	16	2.1	1.9
Bélgica	30	33	2.1	1.9
Alemania	268	239	3.4	2.9
Canadá	118	129	4.2	4.3
Dinamarca	14	17	2.8	3.2
Estados Unidos	1335	1427	5.3	5.4
España	59	69	1.5	1.8
Finlandia	15	18	2.9	3.6
Francia	103	97	1.8	1.7
Grecia	20	21	2.0	2.1
Islandia	1	1	2.6	2.5
Irlanda	9	10	2.6	2.7
Italia	111	116	2.0	2.0
Japón	291	315	2.3	2.5
Luxemburgo	3	2	7.8	6.1
Nueva Zelanda	7	8	2.0	2.2
Noruega	9	8	2.0	1.8
Portugal	11	14	1.1	1.4
Reino Unido	159	153	1.7	1.7
Suecia	14	15	1.7	1.7
Suiza	12	11	1.8	1.6
Turquía	38	43	0.7	0.7

1 (millones de toneladas de CO₂)

2 (toneladas de CO₂)

Fuente: www.ecosur.mx/scolel/cglobal.htm

Los efectos de las emisiones de CO₂ ya se están haciendo notar; desde fines del siglo XIX a la fecha, la temperatura global ha aumentado en 0.6°C. La década de 1990 fue la más cálida que se haya registrado y en México, la sequía

en 1998 provocado por el fenómeno “el niño” fue la más clara muestra de que el clima en el mundo está cambiando y, de no tomar medidas inmediatas, las consecuencias serían catastróficas en el mundo entero.

El futuro es todavía más incierto y amenazante. El exceso de dióxido de carbono que actualmente hay en la atmósfera continuará produciendo efectos durante uno o dos siglos, a la vez que su concentración sigue aumentando acompañado de sus drásticas consecuencias para las generaciones futuras.

Del bióxido de carbono se puede decir mucho, pero con lo mencionado brevemente, queda claro que los niveles de carbono en la atmósfera no puede continuar incrementando. Un aumento en tan solo 200.000 millones de toneladas determinaría un aumento de 2 a 3 grados Celsius en la temperatura global, lo que significaría una ola de calor sin precedentes en la historia de la humanidad (Anónimo).

4.1.4.3. El Protocolo de Kyoto y la compraventa del servicio de captura de carbono

Antecedentes

A partir de la Primera Conferencia Mundial sobre el Clima, realizada en 1979 en Estocolmo, la comunidad internacional ha venido manifestando una preocupación creciente por el cambio climático. En 1988 se constituyó el Panel

Intergubernamental sobre Cambio Climático, mejor conocido como el IPCC por sus siglas en inglés. En 1990 se celebró la Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima, y la Asamblea General de la ONU decidió crear un Comité Intergubernamental de Negociación para la elaboración y aprobación de una Convención Marco sobre Cambio Climático. Este instrumento, fundamental para definir la cooperación internacional en el tema, quedó definido y aprobado en junio de 1992 en Río de Janeiro, Brasil y fue uno de los principales resultados de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo (Cumbre de la Tierra). La Convención entró en vigor en 1994. Su objetivo último se definió como el logro de "la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático". El acuerdo incluyó conceptos novedosos en el ámbito del derecho internacional, como el de "responsabilidad común pero diferenciada" y el "principio precautorio", que exige actuación remedial aún en ausencia de certidumbre científica absoluta respecto al alcance del problema. La convención distingue entre los compromisos de los países desarrollados (anexo I de la convención; 40 países, además de la Unión Europea, incluyendo todos los países miembros de la OCDE, salvo México y Corea), y aquellos propios del mundo en desarrollo. A la fecha, 179 países han ratificado la Convención.

En 1995, en el marco de la Primera Conferencia las Partes ante la Convención, se resolvió que los compromisos de los países desarrollados "no eran adecuados", y para revisarlos se adoptó el Mandato de Berlín. Este proceso

culminó en la Tercera Conferencia de las Partes celebrada en Diciembre de 1997 en Kioto con la adopción del Protocolo de Kioto. En opinión de los expertos, su negociación fue la más compleja y ambiciosa de cuantas negociaciones ambientales multilaterales se tenga memoria.

El Protocolo de Kyoto

La cumbre del clima de Kyoto, conocida oficialmente como la "Tercera Conferencia de las Partes del Convenio Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas" tuvo lugar del 2 al 11 de Diciembre de 1997 y reunió a mas de 10.000 asistentes, entre delegados, observadores de diversas organizaciones y periodistas. Entre los asistentes hubo mas de 125 ministros de los países presentes, lo que la convirtió en la mayor conferencia sobre cambio climático celebrada hasta la fecha.

El resultado mas importante de la cumbre, y la razón por la que ésta despertó tanto interés en todo el mundo, fue la adopción de un protocolo, denominado "Protocolo de Kioto", legalmente vinculante que, por primera vez en la historia de la Humanidad, pone límites a las emisiones de los principales gases de invernadero en los países mas prósperos.

El Protocolo de Kioto concluyó con la adopción de un protocolo de reducción de emisiones de gases de invernadero por los países industrializados. El compromiso, que se encuentra en un difícil periodo de ratificación, obliga a

limitar las emisiones conjuntas de seis gases (CO_2 , CH_4 , N_2O , compuestos perfluorocarbonados (PFC), compuestos hidrofluorocarbonados (HFC) y hexafluoruro de azufre) respecto a las de 1990 durante el periodo 2008-2012, en proporciones diferentes según el país: 39 países se comprometen a limitar sus emisiones; los países de la UE las reducirán (conjuntamente) un 8%, EE.UU. un 7% y Japón un 6%. Ucrania, la Federación Rusa y Nueva Zelanda las mantendrán, y Noruega, Australia e Islandia las aumentarán en un 1, 8 y 10% respectivamente.

El Protocolo de Kioto cuantificó en forma diferenciada los compromisos de reducción de emisiones de los principales gases de efecto invernadero por parte de los países desarrollados, incluidos en su Anexo B, casi coincidente con el Anexo I de la Convención. En su conjunto, dichos países deberían lograr en torno a 2010 una reducción de 5.2 por ciento respecto a sus niveles de 1990. Este esfuerzo representaría para los países industrializados una disminución cercana al 30 por ciento en relación con el crecimiento esperado.

El Protocolo de Kioto incorpora algunos criterios de flexibilidad, referidos al objeto del compromiso (una canasta de seis gases o tipos de gases, sobre la base de una equivalencia convencional), a la temporalidad (un periodo de compromiso de cinco años: 2008-2012, en el que se promediarán los resultados) y tomará en cuenta tanto fuentes como sumideros de gases de efecto invernadero. Incorpora además tres importantes mecanismos económicos para facilitar y abaratar el cumplimiento de los compromisos de los

países industrializados, permitiendo que efectúen parte de las acciones de mitigación del cambio climático en donde les resulte más barato hacerlo.

Estos tres mecanismos son los siguientes:

MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL): Su intención es recaudar fondos de naciones emisoras para financiar tecnologías afines a la protección del medio ambiente. El propósito del mecanismo para un desarrollo limpio es ayudar a las partes no incluidas en el anexo 1 a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la convención, así como ayudar a las partes incluidas en el anexo 1 a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones.

En el marco de este mecanismo, las partes no incluidas en el del protocolo se beneficiarán de las actividades de proyectos que tengan por resultado reducciones certificadas de las emisiones y las partes incluidas en el anexo 1 podrán utilizar las reducciones certificadas de emisiones resultantes de esas actividades de proyectos para contribuir al cumplimiento de una parte de sus compromisos.

El MDL tiene un potencial sumamente significativo en términos de la protección de la biodiversidad, la transición a las mejores formas de conservación y manejo de los bosques, el adecuado manejo de las cuencas hidrológicas y el mejoramiento de las condiciones de vida de la gente que habita en las regiones

forestales; Para ello, la reducción de emisiones a que hace alusión el Artículo 12 del protocolo de Kioto debe incluir a las emisiones forestales, aunque ello no significa una vía para solucionar el problema del cambio climático pero sí para evitar su empeoramiento. Lo que hay que tomar en cuenta, cuando se trate de bosques habitados, es que la mejor protección de los bosques es la que le brindan las poblaciones locales cuando lo consideran una fuente de ingresos y satisfactores.

El MDL otorga la opción de canalizar asistencia de los países industrializados a las naciones en desarrollo, para facilitar un desarrollo menos contaminante y evitar emisiones, incluyendo la protección de bosques para evitar emisiones, y el establecimiento de nuevos bosques como vertederos de carbono. Los objetivos centrales del Mecanismo de Desarrollo Limpio son mitigar el cambio climático y contribuir al desarrollo limpio.

INSTRUMENTACIÓN CONJUNTA (IC): Los países industrializados tendrán la posibilidad de cumplir parte de sus compromisos financiando en otros países (desarrollados o subdesarrollados) proyectos de eficiencia energética o de fijación forestal de dióxido de carbono. Los gobiernos y las empresas de los países industrializados canalizarán fondos para este tipo de proyecto y dichos fondos serán captados y distribuidos mediante un "Mecanismo de Desarrollo Limpio". La teoría de la implementación conjunta es que las reducciones máximas en emisiones de GEI pueden ser logradas al menor costo a través de la cooperación internacional.

Dos tipos principales de proyectos son los que el Norte financiará en el sur dentro del esquema de IC: la disminución de emisiones y el incremento en la captación de carbono.

PERMISOS DE EMISION: aquellos países industrializados que cuenten con cierto margen permisible de emisiones y que no cubran su cuota podrán vender a otros la porción "no ejercida" de sus permisos. Estos se denominan "créditos de emisión" pero la conferencia de las partes no ha negociado las normas internacionales que regirán el comercio de los derechos de emisión. Si este comercio se concretara, podría dar lugar a una actividad internacional cuyo principal producto comercial serían los créditos de emisiones generados a través de la plantación de bosques.

El comercio de emisiones aparece contemplado en los artículos 3 (objetivos de limitación y reducción de emisiones y sumideros), 6 y 16 del protocolo, y se restringe a los países desarrollados (listados en el anexo I del Convenio sobre Cambio Climático).

Se espera que el Protocolo pudiera entrar en vigor en el año 2002, una vez que sea ratificado por al menos el 55% de los países que emitan al menos el 55% de los gases del efecto invernadero, si se logran superar importantes discrepancias entre países industrializados y fuertes oposiciones internas en algunos de ellos, notablemente en los Estados Unidos de Norteamérica, que recientemente, vía el Presidente republicano George Buh, desconocen,

atentando e incluso poniendo en riesgo al grado de echar abajo el mencionado protocolo. Cabe destacar en este punto, que México fue uno de los primeros países en ratificar dicho protocolo.

Aunque el protocolo tiene un carácter legalmente vinculante, aún no se han definido las medidas que se tomarán en los casos de incumplimiento del mismo, que se dejan para la primera reunión de las partes del protocolo (Art. 17). El Protocolo de Kioto no representa la solución del cambio climático; es apenas el primer paso de un largo proceso de sucesivas, complejas negociaciones y de compromisos cada vez más estrictos, que abarcará sin duda todo el siglo XXI. Marca sin embargo un hito, y constituye el único acuerdo realista que podría permitir enfrentar en forma conjunta y equitativa un problema que nos afectará a todos en medida creciente.

4.1.4.4. La captura de carbono; el papel de los bosques como sumideros de carbono

Existe opinión mayoritaria entre la comunidad científica internacional de que el incremento sostenido de la concentración de gases de invernadero en la atmósfera producirá un aumento en la temperatura superficial del planeta y es que la situación es particularmente grave por dos razones fundamentales: a saber, las emisiones de gases están aumentando rápidamente y debido a que las concentraciones de gases con mucho tiempo de residencia atmosférica, dentro de los cuales se encuentra el CO₂, se ajustan lentamente con las

emisiones, mientras más continúan creciendo estas últimas, más drásticas deben ser las reducciones futuras para mantener el equilibrio de los gases a niveles aceptables.

Como se mencionó en párrafos anteriores, la vegetación en general y los bosques en particular, juegan un papel muy importante en el ciclo del carbono, proceso en el cual, retienen el bióxido de carbono que circula en la atmósfera, y mediante el proceso de fotosíntesis, liberan oxígeno reteniendo el carbono en su biomasa; este es el principio básico que ha generado la idea de que los bosques, por su cantidad de biomasa y extensión en el mundo, pueden jugar un papel muy importante en la mitigación del cambio climático que amenaza la existencia humana en el planeta tierra.

Una de las muchas alternativas que se han propuesto para la mitigación del bióxido de carbono como gas de efecto invernadero, es la alternativa del uso del suelo, que se basa en el valor de la vegetación como almacenadora de este elemento. Los árboles en particular, mediante el proceso de fotosíntesis, asimilan y acumulan en la madera, ramas, hojas y raíces grandes cantidades de carbono; almacenan de 90 a 160 tonC/ha. (hasta 280 tonC/ha) y su capacidad de absorción (como captura), va desde 6 hasta 10 tonC/ha/año (Ben H. J. -).

En este contexto, uno de los grandes servicios ambientales que proporcionan los bosques naturales es la captura de carbono, cuyo concepto normalmente se

relaciona a la idea de almacenar reservas de carbono en suelos, bosques y otros tipos de vegetación, donde dichas reservas están en peligro inminente de ser perdidas. A lo largo de muchos años, parte del carbono se almacena en los suelos mediante complejos procesos de descomposición y humificación de los residuos de materia orgánica aportados por la vegetación de los distintos ecosistemas; por lo tanto, vegetación y suelos de estos bosques, constituyen grandes reservorios de carbono. "Paradójicamente, en la actualidad la destrucción masiva de los bosques a nivel mundial ha llevado a que los ecosistemas forestales pierdan cada vez más su potencial como lugares de captura de carbono para ubicarse como la segunda fuente de emisiones netas de CO₂ a la atmósfera, después de la quema de combustibles fósiles". (Houghton *et al.*, 1992, citado por R. Masera, 1995).

También se promueve el incremento de las reservas de carbono por el establecimiento de nuevas plantaciones forestales, sistemas agroforestales y la rehabilitación de bosques degradados; sin embargo, desde que se hicieron las propuestas, ha existido mucha controversia respecto a ellos y al no formar parte del objetivo del trabajo, su análisis no se desarrolla de manera amplia en este apartado, ni en el resto de la investigación.

Pero ¿porqué los bosques y no otra alternativa de mitigación de los gases de efecto invernadero y, específicamente la reducción del CO₂ en la atmósfera?

Hay una gran variedad de métodos a través de los cuales pueden ser reducidas las emisiones de carbono; ellos incluyen mejoramiento de la eficiencia del uso de la energía, cambio de combustible, usando fuentes de energía renovable, empleando energía nuclear, y capturando y almacenando CO₂ (Greenpeace).

Muchos tipos de propuestas han sido sugeridos para solucionar el problema de efecto invernadero; sin embargo, existen cuatro posibles formas de abordarlos (UNEP, 1992).

- Reducir la tasa a la cual los combustibles fósiles son quemados, así como otros procesos industriales que producen gases de efecto invernadero.

La forma más obvia que se puede pensar para reducir el problema de efecto invernadero es usando menos energía, pero surge la duda de la viabilidad de esta propuesta y viene a colación de si los países desarrollados, que son los que actualmente consumen mucho más energía que los desarrollados, estarían dispuestos a impulsar esta propuesta. Una segunda opción, consiste en reducir la cantidad quemada de combustible fósil y substituirlo por otros recursos energéticos que no liberan dióxido de carbono. Las mejores alternativas se apoyan en la energía solar, eólica, el potencial de las mareas y, la fisión y fusión nuclear. De los anteriores, solo la fisión nuclear ofrece una alternativa inmediata, pero los accidentes fatales sobresalientes como el de Chernobyl, en la Unión soviética (hoy Federación Rusa) han dejado huellas en la comunidad mundial y a la vez la desconfianza

generalizada, lo que ha hecho que de cierta forma se rechace esta fuente de energía; la energía solar ofrece otra opción, pero este es solo en el largo plazo ya que si bien ya se está desarrollando, no se le ha dado la importancia económica suficiente por lo que su desarrollo ha sido muy lento. Un gran cambio en las fuentes energéticas tomará mucho tiempo y quizás cuando esto suceda, el problema del cambio climático sea ya irreversible; sin embargo, como una medida urgente, se debe de buscar un balance entre el uso de todas las fuentes de energía existentes actualmente con el fin de buscar reducir las emisiones de los gases que producen el efecto invernadero, principalmente el CO₂.

- Filtrar los gases emitidos durante la producción industrial y depositarlos en cualquier otra parte que no sea la atmósfera.

La idea básica de esta propuesta es filtrar los gases contaminantes y el dióxido de carbono filtrado llevarlo a estaciones especiales para ser convertido a compuestos de carbón transportables y luego ser llevados en barcos al estrecho de Gibraltar para ser hundidos en el fondo del océano donde estos compuestos se disolverían. El proyecto es técnicamente posible, pero tiene pocas posibilidades por los elevados costos en que se incurrirían.

- Recuperación de los gases de efecto invernadero cuando son liberados a la atmósfera y depositarlos en algún lugar.

Esta propuesta se fundamenta en la intención de mantener y dar a los bosques un manejo sustentable; para el caso del sector forestal, que es el caso que nos ocupa, se identifican dos opciones básicas de mitigación de carbono a) conservación, que consiste en evitar las emisiones de carbono preservando las áreas naturales protegidas, fomentando el manejo sostenible de bosques naturales y el uso renovable de la leña y mediante la reducción de incendios; b) reforestación, dedicada a recuperar áreas degradadas mediante acciones como la protección a cuencas, la reforestación urbana, la reforestación para fines de subsistencia (leña), el desarrollo de plantaciones comerciales para madera, pulpa para papel, así como de las plantaciones energéticas (producción de leña y generación de electricidad) y de los sistemas agroforestales. Acciones como estas tienen por objetivo incrementar la fijación y almacenaje de carbono. (Masera, 1995).

- Aceptar los cambios ambientales y adaptarse a ellos.

La agricultura es una actividad que se caracteriza por su dinámica adecuación a las variaciones climáticas en forma relativamente rápida, por lo que de darse el cambio climático, a la par se irán creando nuevas variedades agrícolas, diferentes cultivos y nuevas técnicas de cultivo, por dar un ejemplo de adaptación; sin embargo habría que analizar las diferencias entre los cultivos comerciales de los de subsistencia, ya que los últimos son los más vulnerables a los cambios climáticos.

Por otro lado, la agricultura no es la única actividad que resultará dañada al darse el cambio climático, ya que con esto, según los científicos, los niveles del mar crecerán por la expansión térmica más que por el deshielo de los polos con el consecuente desplazamiento de grandes cantidades de habitantes a nivel mundial creando grandes problemas sociales, por lo que sin duda, esta propuesta, desde el punto de vista personal, sería la última alternativa a adoptar.

De las cuatro alternativas anteriores, la mejor es la tercera opción por ser de un relativo corto plazo y, de acuerdo al Protocolo de Kioto, esta es una alternativa que relaciona a países desarrollados y subdesarrollados en la lucha contra el cambio climático, cada uno con sus proyectos y posibilidades. Además, ayudaría a la conservación de los bosques y en consecuencia, la conservación de la biodiversidad, ya que la disminución de esta, entendida tanto como extinción o desaparición de especies animales y vegetales como de hábitats, es uno de los problemas más graves que afectan a todo el planeta, pero con especial intensidad al mundo tropical y ecuatorial; muchos de ellos no se conocen y menos su utilidad; como tampoco se conoce el papel que juegan en el complejo entramado que mantiene a los ecosistemas.

Cuadro 3. Estrategias del sector forestal para la mitigación de gases de efecto invernadero.

<i>Reducir la emisión de GEI</i>	<i>Mantener los actuales sumideros de GEI</i>	<i>Extender los sumideros de GEI</i>
- Implantar técnicas agrícolas sostenibles. - Reducir la frecuencia y extensión de las quemas de bosques y sabanas para crear pastizales. - Disminuir el consumo de bosques para proyectos agrícolas y de desarrollo. - Mejorar el rendimiento de combustión de biomasa en estufas domésticas e industriales. - Disminuir la producción de residuos forestales.	- Conservar los bosques maduros como reserva de biomasa. - Introducir sistemas de ordenación de los bosques naturales. - Hacer que las reservas extractivas produzcan madera y productos no maderables de manera sostenible. - Mejorar el rendimiento de la cosecha forestal con un método de aprovechamiento de bajo impacto. - Extender las plantaciones de leña para la generación de energía y reducir la presión sobre los bosques naturales.	- Mejorar la productividad de los bosques por medios de ordenación y técnicas biológicas. - Establecer plantaciones forestales. - Restaurar ecosistemas forestales y de sabana depauperados por regeneración natural y reforestación. - Incrementar la cantidad de carbono almacenado dejando para ello en el suelo residuos de la cosecha y fomentando la agrosilvicultura.

Fuente: Andrasko, K. 1990

En términos generales, los ecosistemas forestales, conservan de 20 a 100 veces más carbono por unidad de superficie que los ecosistemas agrícolas y desempeñan una función esencial en la reducción del nivel del CO₂ en el medio, en virtud del proceso de fotosíntesis que les permite utilizar carbono atmosférico para incrementar la biomasa leñosa (FAO, 1990).

En los bosques boreales de América del Norte se ha fijado en 9.7 mil millones de toneladas métricas el contenido de carbono en su biomasa (Botkin y Simpson, 1990). En un bosque templado, el ciclo del carbono se encuentra ahora en equilibrio, ya que el incremento anual es más o menos igual a la madera que se cosecha, más la deforestación que se practica para dar paso al

crecimiento urbano y a otros usos de la tierra. En un bosque tropical, la selva tropical húmeda promedia entre 155 y 160 toneladas de carbono por hectárea (t C/ha) de biomasa en pie, en América Latina y Asia, y alcanza 187 t C/ha en África. El bosque tropical seco tiene por término medio 27 t C/ha en América Latina y Asia y 63 t C/ha en África (Brown, 1988).

La importancia de la cobertura vegetal del planeta, radica en que contribuye sustancialmente a que el clima y la atmósfera sean adecuados para la sobrevivencia humana. En particular, se considera a los bosques y selvas como ecosistemas importantes por su cobertura densa y su funcionamiento en términos de captura de carbono, ciclo hidrológico, protección de suelos y biodiversidad.

En general, el mosaico de ecosistemas representa la base natural de la economía internacional, y un recurso que el ser humano necesita preservar, tanto por su significación económica, actual y futura, como por el valor que representa la naturaleza en sí misma.

Un punto importante es que los árboles y otras formas de biomasa pueden actuar de sumideros de carbono, pero en su madurez o en su nivel de crecimiento óptimo se deben introducir planes para utilizar la biomasa como una fuente de combustible para sustituir los combustibles fósiles u otros usos tales como el fomento a la producción industrial de artículos de madera obtenida de

manera sostenida de bosques naturales debidamente ordenados. De otro modo, se perderán los muchos años de inversión para retener y proteger el carbono en los árboles ya que estos se pudrirán y/o quemarán descontroladamente.

4.1.5. La deforestación y sus aportaciones negativas al cambio climático global

Uno de los principales problemas que amenazan a los bosques es la deforestación derivado del cambio de uso de suelo, y es que esta y la degradación de los mismos han generado y generan preocupación a nivel mundial. Lo anterior no es solo un problema, sino que de este se derivan otros más complicados como es la liberación de carbono, gas que contribuye al cambio climático global. La liberación total de carbono por la deforestación desde 1850 ha sido aproximadamente de 120 billones de toneladas; actualmente, la pérdida anual de aproximadamente 17 millones de hectáreas de bosques cada año libera cerca de 1.8 billones de toneladas de carbono, cerca del 20% de las emisiones totales (www.ecosur.mx).

Se ha calculado que la deforestación se produjo a razón de 15.5 millones de hectáreas por año durante el período de 1980 a 1990 en los países en vía de desarrollo y de 13.7 millones de hectáreas entre 1990 y 1995. El área forestal total perdida durante el período de 15 años fue de aproximadamente 200 millones de hectáreas, y para poner esta cifra en perspectiva, es una superficie superior a la de México o Indonesia (FAO, 1997).

Causas, hay muchas, por eso la deforestación es una consecuencia de la acción de la diversidad de ellos, ello refleja el pobre estado actual del monitoreo y la evaluación inadecuada de los recursos que prevalecen en el sector forestal. En el Cuadro 4 se reúne la información de una variedad de fuentes e intenta clasificar los agentes importantes de deforestación por región geográfica.

Cuadro 4. Fuentes y agentes de deforestación por región geográfica.

Región	Principales agentes de deforestación
Africa	1. Agricultores de roza y quema 2. Agricultores comerciales 3. Madereros 4. Pastores de ganado mayor y menor 5. Refugiados de conflictos civiles
Asia – Oceanía	1. Agricultores comerciales 2. Agricultores de roza y quema 3. Madereros 4. Dueños de plantaciones forestales 5. Planificadores de infraestructura
América Latina Y el Caribe	1. Agricultores de roza y quema 2. Ganaderos 3. Agricultores comerciales 4. Madereros 5. Planificadores de infraestructura

Fuente: Adaptado de FAO, 1997. Comisión mundial sobre bosques y desarrollo sostenible 1998.

Sin embargo, no es importante saber quienes son los responsables de la deforestación, sino conocer sus motivos o causas para que la deforestación se lleve a cabo. Hay cuatro aspectos de las causas de la deforestación: las condiciones facilitadoras, las causas directas, las causas indirectas y el papel

de la explotación forestal y del desarrollo de las plantaciones en la pérdida de los bosques naturales. Las condiciones facilitadoras crean un ambiente en el que la deforestación puede ocurrir. Las causas directas son las más visibles, las más fácilmente identificables y las que se asocian más rápidamente con los agentes de la deforestación. Las mismas están motivadas por otras fuerzas socioeconómicas menos visibles, las causas indirectas.

Las condiciones facilitadoras, son creadas por la sociedad. Estas condiciones se cuentan entre los problemas más sistémicos y difíciles que frustran el progreso humano y el desarrollo sostenible. Una de estas condiciones y la más importante es el crecimiento demográfico; otra condición favorable es la pobreza, especialmente en las áreas rurales. Se han llevado a cabo estudios sobre la relación entre la pobreza rural y la deforestación y entre el crecimiento de la población y la deforestación; en la mayoría de los casos, la creciente presión demográfica y las condiciones de pobreza rural son factores importantes que facilitan la deforestación.

Dentro de las causas indirectas, se encuentran las políticas fiscales y de desarrollo gubernamentales, acceso y tenencia de la tierra y, las presiones del mercado (oferta y demanda); las causas directas son la agricultura de roza y quema, la agricultura comercial, la cría de ganado, la explotación petrolera y minera y, el desarrollo de infraestructura.

En algunos casos, la deforestación puede ser beneficiosa. Dada la combinación de necesidades sociales, oportunidades económicas y condiciones ambientales, puede ser una conversión racional de un tipo de uso de la tierra a otro más productivo. La tragedia es que la mayor parte de las tierras que han sido deforestadas no son adecuadas para la agricultura o la ganadería a largo plazo y que se degradan rápidamente una vez que los bosques han sido talados y quemados.

Numerosas son las consecuencias sociales de la deforestación, que a menudo tienen impactos a largo plazo devastadores; aunque esta consecuencia no deja de ser importante, la consecuencia más seria y más a plazo de la deforestación es probablemente la pérdida de la biodiversidad; además, aunque hay mucha discusión en cuanto al ritmo de calentamiento de la atmósfera, existe acuerdo general en el hecho de que se está calentando: los modelos aceptados predicen un aumento de 0.3% de grado Celsius por década en las temperaturas globales durante el siglo próximo (Ciesla, 1995). Lo anterior se debe, como se ha mencionado, a la deforestación de grandes áreas forestales y a otros factores. Se piensa que 2.000 millones de toneladas de carbono, alrededor del 25% del total de las emisiones de CO₂ son una consecuencia directa de la deforestación y de los incendios forestales (WCFSD, 1998).

Las consecuencias negativas de este calentamiento global serían, catastróficas: aumento de la sequía y de desertificación, malas cosechas, inundaciones costeras y sustitución de los principales regímenes de vegetación.

El impacto a largo plazo de la deforestación sobre los recursos del suelo pueden ser graves. El aclaramiento de la cubierta vegetal para la agricultura de roza y quema, expone a la tierra a la intensidad del sol y de las lluvias; ello compacta el suelo, reduce el material orgánico y otros efectos que hacen marginal al suelo para la agricultura.

Los anteriores son algunos de los efectos de la deforestación, sin embargo, para el tema que nos ocupa, el efecto de la deforestación en el cambio climático global es el que tiene mayor importancia, sin dejar de lado los otros efectos de la deforestación, lo anterior, aunado al uso de combustibles fósiles ha hecho que la comunidad científica busque alternativas para la mitigación de gases de efecto invernadero, que en este caso es el CO₂.

La vegetación, en términos de ecosistema forestales, se divide en bosque boreal, bosque templado y bosque tropical. En los siguientes subcapítulos, dada la finalidad de esta investigación, se centrará en los bosques tropicales y su importancia en la mitigación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), principalmente el CO₂, así como los mecanismos existentes que involucran el servicio de "captura de carbono".

4.2. Los bosques tropicales, su importancia en la mitigación del CO₂ atmosférico y la venta del servicio de captura.

4.2.1. Los bosques tropicales

Las selvas tropicales proveen a nuestro planeta la mayor parte de su diversidad biológica o biodiversidad. Cada especie selvática resguarda un enorme acervo de información y variación genética y este gran banco de genes, asegura que se sostenga un ecosistema saludable y equilibrado; permiten los procesos de selección natural, base fundamental de la evolución de los organismos.

Los bosques tropicales son ecosistemas sumamente complejos y frágiles; en la actualidad representan una pequeña parte de la superficie del planeta, pero en ellos se encierra una riqueza incalculable, el legado de millones de años de evolución, miles de especies que han acompañado al hombre en su viaje por el universo.

Aparte de su gran valor biológico, las selvas son también fuente de estabilidad climática y de muchos recursos usados por el hombre, que van desde alimento hasta productos farmacéuticos. El hombre extrae de ellas diariamente gran número de productos que van más allá de los netamente forestales, como materias primas: resinas, aceites comestibles, aceites industriales, fibras, frutas y nueces, seda natural, etc., que colectivamente tienen un elevado valor comercial.

A fines del siglo XX, hay aproximadamente 3.500 millones de hectáreas de bosques en el mundo, lo cual representa 27% del uso de la tierra. De esta superficie total, 2.000 millones de hectáreas se encuentran en los países en vías de desarrollo, principalmente en regiones tropicales y subtropicales (FAO, 1997).

En las zonas rurales de estos países, que es donde en la mayoría de los casos se ubican estos recursos naturales, el deterioro de estos no solo destruye el medio ambiente, sino también mina el fundamento mismo del cual depende el crecimiento económico y la prosperidad a largo plazo. El impacto catastrófico de la deforestación puede observarse en la acelerada erosión de los suelos, lo que resulta en la pérdida permanente de productividad agrícola, en el avance de la desertificación acompañada de sequía y hambre, en la decadencia de agua dulce y salada que amenaza la seguridad alimenticia, en el uso inadecuado de productos agroquímicos que envenenan tanto a la población como al medio ambiente, en la alarmante sedimentación en los arrecifes de coral; y en la destrucción de los humedales ricos en biodiversidad. Sin embargo, ninguno de estos problemas relativos a los recursos naturales es más amenazante, ninguno requiere una acción más inmediata, que la destrucción de los bosques tropicales, con la consecuencia inmediata de la degradación ecológica y ambiental.

Probablemente, más de diez millones de hectáreas son degradadas cada año por las acciones de los madereros, recolectores de leña y pastores de ganado.

La principal causa de degradación forestal es la tala de explotación con el corte selectivo de especies forestales, daño causado en el bosque residual por el derribamiento de árboles, daño al suelo por la construcción de caminos y el arrastre de los troncos y el desplazamiento de aves y mamíferos

Estos bosques tropicales representan una esperanza para resolver los actuales problemas de hambre y de enfermedad, y una promesa para el futuro de la humanidad. Prestan muchos servicios, algunos tangibles y otros intangibles: como madera, pulpa de papel, captación de agua, resinas, fibras, alimento, medicamentos, aire puro, protección de la biodiversidad, conservación de suelos, retención de carbono, entre muchos otros, por lo que su conservación es de vital interés a nivel mundial.

4.2.1.1. Importancia de los bosques tropicales

Importancia ecológica

Los bosques tropicales cumplen un papel especial en la conservación de la diversidad biológica. En ellas se alberga el 70% de las especies de animales y plantas del mundo, más de 13 millones de especies diferentes (Anónimo, 1996). Contienen el 70% de las especies de plantas vasculares, el 30% de toda las especies de aves, el 90% de los invertebrados. Muchos de los mamíferos se cuentan entre los famosos íconos de la historia natural – los grandes gatos, los primates y los ungulados de las regiones del este de África.

Estos bosques influyen en el clima local y probablemente en el mundial. Moderan la gama diurna de temperaturas del aire y mantienen los niveles de humedad atmosférica, absorben el carbono de la atmósfera y reponen el oxígeno en el aire que respiramos.

Estos bosques se encuentran entre uno de los absorbentes más eficientes de carbono del planeta; se dice que una hectárea de bosque tropical lluvioso puede capturar 200.000 toneladas de CO₂, al elaborar moléculas bioorgánicas, producto de la fotosíntesis. Finalmente lo integran como parte de su biomasa. Por esta razón, se les compara con esponjas de carbono y en la actualidad, esta función se ha vuelto de mucha importancia.

Importancia socioeconómica

En los bosques tropicales o en sus orillas viven alrededor de 500 millones de personas, las cuales necesitan de estos bosques para la obtención de muchos productos importantes y servicios ambientales; también depende de este su modo de vida, puesto que no solo satisfacen sus necesidades económicas de alimento y abrigo, sino que además forman parte integral de su cultura y sus tradiciones espirituales.

Estos bosques no están vacíos, ellos son el lugar de millones de personas que conforman poblaciones indígenas y comunidades locales, que viven en los bosques o cerca de ellos, dependiendo de los recursos que éstos les provean.

Los bosques tropicales brindan una amplia gama de productos industriales que utilizamos en la vida cotidiana – madera, tableros contrachapados, postes, palos, pulpa y papel -. Los productos industriales de madera representan un valor de 400 mil millones de dólares estadounidenses de la producción mundial, alrededor del 2% del producto interno bruto (WCFSD, 1998). Los bosques tropicales originan aproximadamente el 25% de esta producción.

Además de los productos de la madera, el bosque tropical brinda una gran variedad de productos forestales no madereros, los llamados productos forestales “menores” o no maderables, que en muchos casos son “mayores” para las poblaciones locales. Entre ellos se incluyen las fibras, las resinas, el látex, las frutas y los medicamentos tradicionales. Los bosques tropicales son también muy importantes económicamente para el mejoramiento genético de cultivos, fuentes importantes de nuevos productos farmacéuticos para combatir las enfermedades humanas.

4.2.1.2. La deforestación de los bosques tropicales

Hasta hace pocos años, nadie se detenía a analizar el valor monetario de la provisión de agua, de la protección de la biodiversidad, la recreación o la fijación de carbono por parte de los bosques, pues se creía que este de por sí tendría que brindar estos y otros servicios; sin embargo, la alta deforestación de los bosques tropicales ha puesto de manifiesto y enfrentado al ser humano a reconocer la gran cantidad de bienes y servicios que están desapareciendo.

Aunque el área forestal mundial ha estado disminuyendo durante siglos, recién en la segunda mitad del siglo veinte el proceso se aceleró hasta alcanzar proporciones alarmantes. A partir de 1960 ha habido un gran cambio en el ritmo que los bosques tropicales están siendo eliminados (Anónimo, 1996).

En Latinoamérica como en el resto del mundo, las selvas del trópico húmedo han estado sujetas en los últimos 40-50 años a un rápido proceso de destrucción y fragmentación como resultado de prácticas de manejo de la tierra incompatibles con la conservación y el aprovechamiento razonado de los recursos naturales que tales selvas resguardan. Aunado a lo anterior, el acelerado crecimiento de las poblaciones humanas y la fuerte demanda de espacio y alimento contribuyen a la rápida desaparición de estos ecosistemas en el mundo (Erllich & Wilson, 1991)

La mayor parte de la deforestación se concentra en relativamente pocos países. Los 10 principales países desforestadores son responsables de la pérdida de 7.4 millones de hectáreas de bosques o alrededor del 50% de toda la deforestación anual.

En el Cuadro 5 se presentan los países que ocupan los 10 primeros lugares en deforestación en cuanto a la pérdida total de bosques (hectáreas) anual, 1995.

Cuadro 5. Superficies de deforestación por país

País	Lugar	Has.	País	Lugar	Has.
Brasil	1	2550000	Venezuela	6	500000
Indonesia	2	1080000	Malasia	7	400000
Congo	3	740000	Myanmar	8	390000
Bolivia	4	580000	Sudán	9	350000
México	5	510000	Tailandia	10	330000

Fuente: FAO, 1997

Brasil es el país que posee la mayor área de bosque tropical y, al mismo tiempo, sufre la mayor deforestación cuyos agentes más notorios son los ganaderos a los cuales se les suman decenas de miles de pequeños agricultores

Además de los diez países principales, otros han tenido tasas anuales de deforestación muy elevadas. El área total de bosque tropical que se pierde cada año puede no ser muy grande, pero debido al impacto que ejerce sobre la superficie forestal restante, la diversidad biológica de esta última y su capacidad continuada de prestar funciones ambientales y proporcionar bienes económicos se ven seriamente amenazados.

En términos económicos, los usuarios de los bosques forestales tropicales tienen una comprensión incompleta del valor de los bienes y servicios proporcionados por estos o del costo real del manejo forestal sostenido. Como consecuencia de ello, los bosques están subvalorados y por lo tanto tienen un

papel menos importante en las decisiones que afectan la asignación del recurso, las prioridades de desarrollo y la utilización de la tierra. Por lo tanto son más susceptibles de sufrir la conversión a otros usos que se consideran como más beneficiosos.

Si los bosques tropicales son percibidos de tener poco valor económico, estos serán talados y reemplazados por otros usos más rentables de la tierra, de ahí la importancia de que la percepción que se tenga de ello, esté basada en una completa conversión del verdadero valor de todos los bienes y servicios que proporcionan. Uno de entre muchos de estos servicios es el potencial económico del secuestro de carbono y de la capacidad de almacenamiento de estos bosques, el cual podría ser enorme en virtud de los acuerdos de implementación conjunta que están surgiendo de la convención sobre el cambio climático.

El problema que surge de la situación anterior es que la deforestación en el trópico es también una fuente importante de CO₂. Cuando los árboles se mueren o son talados, el carbono almacenado es desprendido. Parte de este carbono se integra a la materia orgánica de la que se componen los suelos forestales, donde, dependiendo de las condiciones climáticas, puede permanecer por mucho tiempo. El restante es liberado a la atmósfera, sobre todo bajo la forma de CO₂ y otros gases de efecto invernadero. Los estimadores más confiables oscilan alrededor de los 1.500 millones de toneladas métricas por año, el 18% de las emisiones totales de carbono a la atmósfera. También

aportan otros gases como el metano y óxidos nitrosos, en el orden de 250 y 150 millones de toneladas equivalentes de carbono al año, respectivamente. Debido a lo anterior, una de las mayores consecuencias de la tala indiscriminada de los bosques es la alteración artificial del efecto invernadero, el cual trae consigo el aumento de la temperatura de la superficie terrestre.

El aporte total de la deforestación en el trópico al efecto invernadero, incluyendo el consumo de leña y las emisiones de metano y óxidos nitrosos, es de aproximadamente 2.000 millones de toneladas equivalentes de carbono anuales. Se estima que al menos un tercio de estas emisiones es contrarrestado con la regeneración de bosques en tierras intervenidas. A pesar de la enorme magnitud de emisión de carbono, son relativamente insignificantes en proporción con la cantidad de carbono depositadas en los bosques de la región; unas 150.000 millones de toneladas de carbono, por lo que la mejor contribución del sector forestal tropical a la estabilidad del efecto invernadero es detener la deforestación, conservando la mayor parte posible de los bosques existentes en su estado natural y, ampliar la cobertura boscosa del planeta.

4.2.2. Los bosques tropicales y la captura de carbono

La comunidad internacional, particularmente a partir de la Cumbre de Río de Janeiro sobre medio ambiente y desarrollo en 1992, entró en un proceso gradual de concientización sobre la responsabilidad compartida del sector público y el privado en la conservación y manejo sostenible de los recursos

naturales y el ambiente. Como consecuencia, ha reconocido una serie de servicios que brinda el bosque a la sociedad, tanto nacional como internacional; de ahí la necesidad de conservar y manejar los recursos naturales, particularmente los bosques, de forma tal que se garantice, tanto a los presentes como a las futuras generaciones, la posibilidad del disfrute de los bienes y servicios que allí se originan.

Muchos autores coinciden en señalar que los bosques naturales de la tierra, además de productos maderables, proveen otros beneficios a la sociedad, llamados servicios ambientales y entre los que se tienen a los siguientes: provisión de agua, protección de cuencas hidrográficas y suelos, conservación de la biodiversidad, belleza escénica, provisión de productos no maderables y regulación del clima global a través de la captura del carbono.

Un servicio intangible que proporciona el bosque es la captura de carbono. En este apartado se tratará de mencionar brevemente la capacidad del ecosistema bosque tropical de absorber y almacenar el carbono, componente esencial de la biomasa de la vegetación, ayudando a la mitigación del CO₂ de la atmósfera, un gas de efecto invernadero que en los últimos años está jugando un papel importante en el denominado Cambio Climático Global.

La capacidad de absorción del C por los árboles está en función de la especie, la tasa de crecimiento, la longevidad, el sitio, el clima, el período de rotación, etc, Cuadro 6. En general, fijan más carbono los bosques secundarios y las

plantaciones jóvenes. Los bosques primarios y las plantaciones maduras alcanzan un estado de equilibrio respecto a la absorción de C, ya que liberan la misma cantidad mediante la descomposición de la madera muerta y de los árboles enfermos (Ciesla, 1995). Los trópicos poseen un potencial muy importante para secuestrar y conservar la mayor cantidad de C (80%), seguido por la zona templada (17%) y la zona boreal (3%) (Trexler y Haugen, 1995).

Cuadro 6. Estimaciones globales de la cantidad de C que podría ser secuestrado y conservado por medio de prácticas de manejo forestal de 1995 a 2050.

Zona climática/ práctica mitigación	Superficie Disponible (10^6 ha)	C secuestrado y disponible (Pg)	Costo \$ / tonC	Costo total (10^9 \$)
Tropical				
Frenar la deforestación	138	10.8	2	22
Regeneración natural	217	11.5	2	22
Plantaciones forestales	67	16.4	7	97
Agroforestería	63	6.3	5	27
Templada				
Plantaciones forestales	115	11.8	6	60
Agroforestería	5	0.7	5	3
Boreal				
Plantaciones forestales	95	2.4	8	17
Total	700	60		247

Fuente: Trexler y Haugen, 1995.

En los bosques tropicales, más de la mitad del C se acumula en el suelo (Dixon *et al*, 1994). El suelo contiene fracciones de carbono con período de residencia mayores en relación con la biomasa, por lo que los cambios en estas fracciones tendrían grandes efectos sobre la capacidad de los ecosistemas terrestres para secuestrar carbono a largo plazo (Canadell, *et al*, 1996). A más de un metro de profundidad, los suelos forestales, sobre todo en los de bosque templado,

contienen más carbono que la biomasa aérea; hasta el 15% de este carbono se recicla en un lapso de varios años ó hasta décadas. Así, la actividad que afecte los ingresos de carbono a las profundidades del suelo, puede también afectar el almacenamiento neto de C en el suelo (Nepstad *et al.*, 1994). Según Houghton *et al* (1991), la capacidad promedio anual de secuestro para el trópico americano es de 60 tonC/ha.

En términos de almacenamiento de carbono, los bosques primarios tienen ventajas comparativas respecto al bosque plantado y de tipo secundario, Cuadro 7. Los bosques primarios muestran acumulaciones de biomasa total por encima del suelo superiores a los 134 ton / ha en promedio, que significan niveles de almacenamiento de carbono de 60 tonC / ha. En promedio, en los bosques secundarios, los mayores niveles de biomasa se presentan entre los 20 y 35 años de edad, cuando llegan a 150 ton/ha. En promedio, utilizando un estimado de 45% que representa el contenido de carbono por tonelada de biomasa (Brown, *et al*, 1989), esto significa un almacenamiento de carbono de 67.5 ton/ha. Sin embargo, en edades menores a los 20 años y superiores a los 40 años, los niveles de biomasa se reducen a hasta 96 y 112 ton / ha para un almacenamiento de 50 tonC/ha. El bosque secundario muestra tasas de fijación neta de promedio de 2.5 tonC/ha/año, mientras que los bosques primarios manejados oscilan entre las 0.21 y 1.04 tonC/ha/año y las plantaciones muestran tasas de fijación neta anual desde 2.8 hasta 9 tonC/ha/año. (Ortiz, *et al.* -)

Cuadro 7. Acumulación promedio de biomasa (ton/ha), almacenamiento (tonC/ha) y fijación (tonC /ha/año) de carbono en ecosistemas forestales y su valoración.

<i>Ecosistemas forestales</i>	<i>Tasa Fijación Promedio (tonC/ha/año)</i>	<i>Biomasa Promedio (ton/ha)</i>	<i>Almacenamiento de C (tonC/ha)</i>	<i>Valor de tonC = US\$10 (precio de negociación (Costa Rica) d=(c)*10</i>	<i>Valor en términos de mitigación de CO2 (US\$154 tonC/ha) e=(a)*154</i>
	(a)	(b)	(c) = (b)*0.45		
Bosque primario Finca testigo (Costa Rica)	0,83	117.6	52.9	529	127.8
Bosque primario intervenido, Dosel protector (Costa Rica)	0,21	121.3	54.5	545	32.34
Bosque primario intervenido de Lomerío (Bolivia)	1.04	153.6	69.1	691	160.16
Bosque secundario (Costa Rica)	2.5	150	67.5	675	385
Plantaciones (Chile)	2.8	144.5	65	650	431.2
Plantaciones (Costa Rica)	4				

Fuente: Ortiz, *et al.* con corrección propia de cálculos

La importancia de los bosques tropicales deja en claro que no se debe dejar de lado su conservación ya que las prácticas tendientes a aumentar la cubierta vegetal o reducir su remoción, incrementan el potencial de captura de carbono. Se ha estimado que una combinación de reforestación, agroforestería y protección del bosque en 300 a 600 millones de hectárea disponibles en lo trópicos, podrían conservar y secuestrar 36-71 Pg C por más de 50 años (Winjum *et al.* 1992).

Además de las anteriores, otras prácticas como dar un manejo forestal sostenible y aplicado, disminución de la deforestación y maderero de bajo impacto, disminuyen las emisiones o conservan el carbono y garantizan no solo el mantenimiento del stock de carbono en el bosque, sino que también garantizan un incremento del mismo durante todo el ciclo de corta. A las anteriores se agregan la restauración de bosques degradados y establecimiento de plantaciones que capturan o secuestran Carbono.

4.2.3. La venta del servicio de captura decarbono

4.2.3.1. Los servicios ambientales

Según la Ley forestal 7575 de Costa Rica, por *servicios ambientales* se entienden como los que brindan el bosque y las plantaciones forestales y que inciden directamente en la protección y mejoramiento del medio ambiente. Son los siguientes: 1. Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (fijación, reducción, secuestro, almacenamiento y absorción); 2. Protección del agua para uso urbano, rural o hidroeléctrico; 3. Protección de la biodiversidad, de ecosistemas, forma de vida y belleza escénica natural para fines turísticos y científicos.

La sola existencia de un bosque o plantación forestal, proporciona, en términos generales, una amplia gama de beneficios a la sociedad. Muchos de estos bosques proporcionan productos y servicios económicos tradicionales como

materias primas, frutos, empleos, etc. Pero adicionalmente se derivan de ellos otros servicios no tradicionales tales como captación de carbono y transformación en oxígeno, producción de material genético, medicamentos y materias primas para su producción, etc.

El reconocimiento de que la actividad de protección del bosque genera una serie de servicios ambientales muy valiosos, obliga a cambiar el esquema de pensamiento. Los servicios ambientales no cuentan con un valor o precio de mercado, razón por la cual, quienes lo brindan no reciben una apropiada remuneración con el resultado de que entonces se producen en cantidades menores a lo que se considera socialmente aceptable. Establecer un sistema de retribución por servicios ambientales, obliga a establecer científicamente el valor de cada uno de los servicios, de manera que los proveedores de los servicios puedan cobrarlos a los usuarios.

El valor económico total de un bosque bajo esta perspectiva, debe calcularse con base en valores que se determinan a través del mercado y por otra parte, mediante el cálculo de los valores asociados con los servicios ambientales que éstos brindan a la sociedad. Estos, transados y valorados a través del mercado, se disfrutan libremente por distintos beneficiarios.

4.2.3.2. Valoración económica de los servicios ambientales

Los productos forestales que se intercambian en mercados establecidos, requieren de la determinación de su oferta y demanda para obtener la

estimación de su valor correspondiente. Sin embargo, dada la naturaleza de los servicios ambientales que proporcionan los bosques, cuyo problema reside en la estimación de su valor económico, el cálculo de su valor se basa en diferentes metodologías que aunque sea un valor considerable, al no existir reglas fijas, nunca podríamos darle un valor exacto.

A continuación se mencionarán algunas de estas metodologías y en que consisten, pero dada la amplia bibliografía que existe y con la intención de no crear confusiones, solo se tomarán párrafos del escrito presentado por Eguiluz *et al*, 1997: Criterios de manejo forestal sustentable para la producción de servicios ambientales.

El Método de Valoración Contingente

Este método utiliza encuestas para elicitación del consumidor su disponibilidad para pagar o su disponibilidad para aceptar los bienes y servicios de interés. El método asume que los consumidores son capaces de responder un cuestionario dirigido a revelar su preferencias respecto a bienes o servicios de índole público. El método recibe el nombre de contingente porque las preguntas de valoración son enmarcadas en algún escenario hipotético de mercado.

En general, este método consiste en tres partes. En la primera, el investigador elabora el mercado hipotético y se lo presenta al consumidor para su asimilación y entendimiento. Cuando esto ocurre, el consumidor es capaz de

describir el bien o servicio, el método ideal de pago por uso o disfrute del bien o servicio, y la forma apropiada de compensación por la falta de acceso al bien o servicio a valorar. En la segunda etapa, se explota el escenario hipotético de mercado por medio de una serie de preguntas iterativas las que están convenientemente organizadas para elicitación del consumidor su disponibilidad para pagar por el bien o servicio ambiental. En la tercera parte, se aplica un cuestionario cuyo objetivo es coleccionar información específica del perfil del consumidor, como por ejemplo, edad, ingreso, experiencia previa respecto al bien o servicio valorado.

Si el cuestionario es cuidadosamente planeado y ejecutado, las respuestas a la secuencia de las preguntas planteadas llevará a estimar los cambios en disponibilidad para pagar o aceptar los cuales también son consistentes con la teoría marginal del bienestar. Sin embargo, es importante enfatizar que el método se basa en la suposición de que el consumidor entiende perfectamente los bienes o servicios que se valoran, el estado actual de los mismos, el alcance de los cambios hipotetizados en su calidad y magnitud, así como la congruencia del método de pago implementado. Asimismo, es importante que el consumidor entienda que los pagos sugeridos representan su disponibilidad máxima para pagar y no necesariamente el pago justo por los bienes y servicios valorados.

El Método de Costo de Traslado

Este método indirecto asume que aún cuando no haya un pago instituido para entrar a un sitio público recreativo, los consumidores pagan un “precio implícito” para disfrutar los atributos o servicios del lugar que visitan. Este precio implícito es el costo de traslado al sitio de interés. El costo de traslado incluye los costos relacionados al uso de medio de transporte, así como también los costos de tiempo invertido en el traslado. El esquema se complementa reconociendo que los visitantes provienen de diferentes orígenes distantes y existe variación en el número de viajes realizados desde cada origen y por cada visitante. Esta información sirve para derivar una función de demanda para el número de viajes y ésta se utiliza para generar estimaciones individuales de disponibilidad para pagar.

El método de costo de traslado se basa en diferentes suposiciones relativamente exigentes. Primero, se asume una separabilidad débil entre la demanda de recreación y la demanda de bienes de mercado. Segundo, se asume que todas las opciones disponibles de recreación se consideran simultáneamente y que el número de viajes hacia un sitio específico se determina al inicio de la estación recreativa. Tercero, los viajes de diferente duración se consideran como experiencias diferentes aún cuando sean realizados al mismo lugar. Cuarto, todos los bienes, sitios recreativos y precio son conocidos con certeza. Finalmente, se asume que todos los precios, costos e ingresos de sitio son exógenos a las decisiones individuales de cada visitante.

Modelos de apreciación Hedónica

Estos modelos se basan en la hipótesis de que los bienes son en realidad una agregación de características múltiples y que por lo tanto la demanda de esos bienes debe de estar relacionada a las características identificadas. La implicación de esto es que las características son los verdaderos argumentos de las funciones de utilidad y que las transacciones efectuadas entre los individuos reflejan el intercambio de grupo de características deseadas.

Los modelos de apreciación hedónica se han propuesto para cuantificar los componentes de uso y de apreciación utilitaria que conforman los precios de mercado. La primera es el considerar que los precios de los bienes reflejan condiciones de equilibrio de mercado. La segunda se refiere a que tanto los compradores como los vendedores de bienes poseen información perfecta respecto a los componentes de uso y de apreciación utilitaria y que además, las transferencias de bienes por ajustes del mercado ocurren sin costo alguno. La tercera indica que existe independencia entre la disponibilidad para pagar por una característica y la disponibilidad para pagar por otras características.

De los métodos mencionado anteriormente no se abunda bastante debido a que el objetivo del trabajo no es hacer una valoración de los servicios ambientales que proporciona el bosque del lugar de estudio, y debido a que se utilizarán algunos datos respecto a estos temas, los que sean necesarios se tomarán del estudio elaborado por Torres, 2001.

4.2.3.3. El valor del bosque como almacén de carbono: fijación y sumidero.

Desde que el hombre existe, ha reconocido la cantidad de bienes y servicios tan variados que producen los bosques. Ahora, por un problema de gran magnitud como lo es el calentamiento del planeta Tierra, la humanidad ha puesto su mirada en los ecosistemas forestales para reconocer su vital papel en lo que se podría llamar la limpieza de la atmósfera. Los bosques, son sumideros de carbono .

A partir del Protocolo de Kyoto, en que se establecen compromisos vinculantes de reducción de las emisiones de GEI para los países del anexo B (desarrollados), se ha planteado la posibilidad de incluir los proyectos de cambio de uso de suelo y manejo forestal como una opción para mitigar las emisiones de GEI, a través de la absorción de CO₂.

El Protocolo de Kyoto, fijó una serie de herramientas que ayudarán a tal fin con el menor costo posible, herramientas que también se les denomina, "mecanismos de flexibilidad". Estos mecanismos incluyen: el comercio de derechos de emisión, el mecanismo para un desarrollo limpio y las actividades conjuntas; los cuales se mencionaron anteriormente.

En este protocolo, con el fin de cumplir los objetivos de una forma justa y equitativa de acuerdo a la capacidad de cada una de las partes, se plantea la división de los países signatarios en tres grupos. En el anexo 1 del Protocolo se

incluye a los países desarrollados y aquellos con economías en transición (o economías de mercado); el anexo 2 contiene una lista de los países del anexo 1 que deberán prestar ayuda económica y tecnológica a las partes de la convención con menores recursos para enfrentar los impactos del cambio climático; y, el grupo tres incluye a los países no anexo 1 y está constituido por países en vías de desarrollo (como México) que no pertenecen a ninguno de los anexos mencionados.

Uno de los problemas al que se está enfrentando este protocolo es el relacionado con la reducción de emisiones, específicamente lo referente al equilibrio de responsabilidades entre los países desarrollados y subdesarrollados. Recientemente, el Gobierno de Estados Unidos de América desconoció los acuerdos establecidos en este protocolo. Las reacciones no tardaron y se espera que muy pronto sea reconsiderada esta posición tan negativa.

Los servicios de almacenamiento y fijación neta de carbono plantean diferencias en términos de su valoración. Para el servicio de almacenamiento (stock) de carbono se considera un precio por evitar que esas toneladas de C pasen o se liberen a la atmósfera, es decir, se paga por evitar el cambio de uso y sus emisiones potenciales; y, en el caso de fijación neta (flux) de carbono, se valora la acción de remover partículas de CO₂ que están actualmente en la atmósfera, y su valor se estima a través del costo de mitigación de remover esas partículas.

Es importante definir algunos términos que se refieren a la captura de carbono, los cuales se presentan a continuación.

Como **depósito** se entiende cualquier componente del sistema climático en que está almacenado un gas de efecto invernadero; dado lo anterior, los bosques maduros son enormes reservorios o depósitos de carbono, su conservación es fundamental para evitar un incremento en la concentración de CO₂ atmosférico.

Sumidero, se entiende como tal el proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas de efecto invernadero.

El costo de establecimiento, conservación y manejo de un paisaje forestal junto con los costos de oportunidad de ingresos perdidos de una producción alternativa, proveen un costo de captura de carbono. La productividad forestal y la oportunidad perdida, dependen del uso de suelo actual y prospectivo y su potencial productivo. El potencial de captura de carbono, por lo tanto, necesita ser calculado por separado para cada compra. Se ofrece entonces un precio por hectárea a las comunidades de acuerdo con ciertas condiciones de manejo forestal.

Según Ortiz y Kanninen, 1998 en su trabajo "Evaluación económica del servicio de sumidero de carbono en diferentes ecosistemas forestales", para la valoración del servicio del bosque como sumidero de carbono, utilizaron dos precios de referencia: se consideró el precio máximo de mercado de

US\$10/tonC, precio negociado por Costa Rica en sus iniciativas en mecanismos de desarrollo limpio (MDL) con el gobierno de Noruega el cual se asume como un precio por el servicio de almacenamiento de carbono. La negociación entre Costa Rica y Noruega, fue fase piloto en la estrategia mundial para legitimizar este tipo de transacciones.

Además, se utilizó el precio de US\$154/tonC por el servicio de fijación neta de carbono que corresponde al máximo costo marginal social estimado para la mitigación de CO₂. El costo marginal social de mitigación se refiere al costo que para la sociedad tiene el mitigar una unidad adicional de CO₂ que va a la atmósfera. Usualmente se mide a través de un análisis costo beneficio que descuentan bajo la óptica de una tasa de actualización social (Fankhauser, S. And Tol, R. 1995)

La forma de negociar los proyectos tendientes a desarrollar MDL entre dos países deben considerar el tipo de servicio que ofrece el país dueño de bosque (fijación neta o almacenamiento) lo que va a determinar el monto del pago y la periodicidad del mismo.

La rentabilidad de la actividad forestal en lomerío se incrementa considerablemente cuando se incluye en el análisis financiero los beneficios obtenido por una venta potencial del servicio de almacenamiento y fijación de carbono. Esto se comprueba por el hecho de que el Valor Actual Neto (VAN) del análisis de este estudio (a una tasa de descuento de 18%), se incrementó en un

20, 36 y 181% con respecto a su valor original (sin pago por servicio ambiental), utilizando precios de 0.56, 1.0 y 5.0 dólares por tonelada de carbono, respectivamente. (Soliz, *et al*; 1998)

Es necesario tomar en cuenta que los resultados dependerán en gran medida de la tasa de descuento que se utilice y por lo tanto, cualquier decisión sobre este tema debe estar debidamente justificada.

Existen diversas iniciativas de “actividades de implementación conjunta” por parte de países industrializados que buscan reducir o mitigar de alguna forma las emisiones de GEI. Entre ellas están: (i). Iniciativa de Implementación conjunta de Estados Unidos (USIJI) que promueve inversiones de entidades estadounidenses (empresas privadas) en proyectos para reducir la emisión de gases fuera de Estados Unidos, y (ii) las iniciativas por parte de países europeos, como Noruega y Holanda. A continuación, en el cuadro 8 se concentra una distribución relativa por países inversores y países huéspedes de actividades de implementación conjunta.

Cuadro 8. Distribución relativa por países inversores y países huéspedes de actividades de implementación conjunta

		P A I S E S I N V E R S O R E S										TOTAL
		Suecia	E.E.U.U.	Holanda	Noruega	Australia	Japón	Alemania	Bélgica	Francia	Suiza	
P A I S E S H U É S P E D E S	Latvia	22		1				1				24
	Estonia	20										20
	Lituania	9										9
	C. Rica		7	1	1							9
	F. Rusa		4	3				1				8
	México		4		1							5
	Honduras		3	1								4
	Rumania			3							1	4
	Rep. Checa		1	1						1		3
	Hungría			3								3
	Polonia			2	1							3
	Slovakia			2	1							3
	Ecuador		1	1								2
	Indonesia		1			1						2
	Bolivia			2								2
	Belize		1									1
	Burkina F.				1							1
	Bután			1								1
	Croacia								1			1
	Fiji					1						1
	India				1							1
	I. Salomón					1						1
P A I S E S H U É S P E D E S	Nicaragua		1									1
	Panamá		1									1
	Sri Lanka		1									1
	Bulgaria			1								1
	China						1					1
	Tailandia						1					1
	TOTAL	51	25	22	6	3	2	2	1	1	1	114

Fuente: Eduardo Gitli, *et al*, 1999).

Un aspecto importante es que el ingreso que puede obtener el finquero como pago del servicio de fijación y almacenamiento de carbono ayuda a mejorar su flujo de caja y, por ende, su rentabilidad. Pero no será por carbono que los reforestadores y manejadores de bosque puedan percibir altos ingresos. El monto de este pago puede oscilar entre US\$30 y US\$60 por hectárea al año. Es decir, en un ciclo de 20 años, el ingreso total será entre US\$600 y US\$1200 por hectárea, si el cálculo se realiza suponiendo que el precio por la tonelada métrica de carbono es de US\$10. (Alfaro, 1997).

5. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

5.1. Aspectos generales

El ejido Noh Bec, cuenta con una superficie total de 23,100 hectáreas. Su primera dotación se remonta a 1937, cuando por decreto presidencial les fue otorgada una superficie de 18,480 hectáreas. Tratándose de una comunidad chiclera, el criterio de dotación fue el de proporcionar tierra suficiente a cada chiclero, para que a partir de su aprovechamiento pudiera satisfacer sus necesidades básicas. De esta forma, se calculó una dotación per capita de 427.7 ha. El resto de la superficie que constituye el catastro actual de ejido, les fue dotada a través de un decreto de ampliación expedido en 1942. En el Cuadro 9 se presenta la clasificación de uso de suelo por superficie.

Cuadro 9. Clasificación de uso del suelo del Ejido Noh bec.

Uso del suelo en el Ejido Noh bec	
Superficie total	23,100 hectáreas
Selva mediana, régimen de manejo Forestal	18,000 hectáreas
Selva mediana y baja, régimen de reserva ejidal	400 hectáreas (300 mediana y 113 baja)
Selva baja no comercial	1,377 hectáreas
Matorral y sabana	107 hectáreas
Área de uso agropecuario	2,800 hectáreas
Area utilizada por caminos permanentes	300 hectáreas
Cuerpos de agua	106 hectáreas

Fuente: Argüelles, *et al.* 1998

El derecho de uso de los recursos del ejido, ha venido cambiando según ha evolucionado el padrón de ejidatarios. A principios de los años treintas fueron 34 los jefes de familia que se asentaron a las orillas de la laguna de Noh Bec. En los años cuarentas la población de ejidatarios había crecido hasta 54 socios. Para 1989 se contaban con 114 derechos en el ejido. En la actualidad el padrón ejidal reconoce sus derechos a 216 socios, que en términos de ley son los propietarios de las tierras de uso común del ejido y por tanto son los beneficiarios directos del uso de los recursos naturales del predio.

El núcleo de población cuenta con los siguientes servicios: camino de acceso asfaltado, dos corridas diarias de autobús, una caseta de servicio telefónico, energía eléctrica, agua potable, señal de televisión y radio y clínica rural. En materia de educación cuenta con un Jardín de niños, Primaria, Secundaria Técnica y Bachillerato

5.2. Aspectos físicos

5.2.1. Localización y ubicación geográfica

El ejido Noh Bec se encuentra ubicado al sur del municipio de Felipe Carrillo Puerto, Estado de Quintana Roo, entre los paralelos 19° 02' 30" y 19° 12' 30" latitud norte y los meridianos 88° 13' 30" y 88° 27' 30" longitud oeste de Greenwich y colinda al norte con el ejido Petcacab, al sur con el ejido Chacchoben, Ejido Manuel Ávila Camacho y Ejido Los Divorciados; al este con

el ejido Cuauhtémoc, predios particulares, predio "La Lagunita" del gobierno estatal (cedido en comodato al ejido Noh Bec) y laguna Noh Bec; al oeste con los ejidos los Divorciados y Díaz Ordaz. (Argüelles, 1997)



Figura 3. Croquis de localización del ejido Noh bec

5.2.2. Fisiografía

Según la subdivisión fisiográfica de la Península de Yucatán hecha por Miranda (1959), la zona de estudio se localiza en la región Peninsular dentro de la subregión "Planicies del Caribe y del Noreste". Esta subregión se caracteriza por ser prácticamente una planicie con ondulaciones donde los desniveles varían entre 2 y 3 metros. En ella, se presentan terrenos bajos inundables que pueden ser muy extensos y pueden formar en sus partes más hondas lagunas y aguadas.

5.2.3. Altitud

La altitud de los terrenos de Noh-Bec es de 60 metros sobre el nivel del mar. No se proporcionan límites superior e inferior porque prácticamente no existen diferencias de altitud significativas.

5.2.4. Orografía

Noh-Bec es una “planicie”, las partes más bajas son dos franjas casi paralelas que atraviesan el ejido en dirección SW – NE, en las que corre el agua en la época de lluvias. La transición de “planicie” a “bajos” se da en distancias muy cortas, que se caracterizan por su escasa pendiente.

5.2.5. Hidrografía

El predio está situado dentro de la región hidrológica N° 33 de la República Mexicana, dentro de la cuenca denominada “Bahía de Chetumal y otras” (INEGI, Carta hidrológica de aguas superficiales 1:250,000). Con la excepción de su extremo sur, la península de Yucatán se caracteriza por la falta de ríos y arroyos. A pesar de la elevada precipitación el desarrollo del drenaje superficial es casi nulo debido a la elevada permeabilidad de las rocas, a la escasa pendiente y a la presencia de abundante vegetación arbórea. Donde la permeabilidad de las rocas no llega a eliminar el agua de precipitación, el drenaje superficial se limita a escorrentías temporales.

De acuerdo con las condiciones de relieve y permeabilidad se reconocen en el predio dos unidades de escurrimiento superficial, que se dividen de acuerdo con coeficientes de escurrimiento que expresan los rangos del porcentaje de agua total precipitada que escurre o se acumula en la superficie:

1. Zonas de planada, con alta permeabilidad, en las que el coeficiente de escurrimiento es muy bajo (de 0 a 5% del agua total precipitada), sin áreas visibles de erosión. El escurrimiento se presenta por infiltración a través de los mantos calcáreos muy permeables que conforman el subsuelo.
2. Zonas de bajos, con baja permeabilidad, en las que el coeficiente de escurrimiento es moderado (de 10 a 20%). Esta unidad coincide por lo general con zonas de inundación. Los sistemas de bajos o bien reemplazan la función de las corrientes superficiales o bien son cuencas de captación durante la temporada de lluvias que van desaguando más lentamente su volumen a través del drenaje subterráneo.

En relación a cuerpos de agua, se localiza la Laguna de Noh Bec, de gran dimensión, poca profundidad y forma alargada (aproximadamente 15 x 1 Km.). La cabecera de dicha laguna está localizada fuera del predio, junto al poblado de Noh Bec, edificado a los márgenes de la misma. La mitad sudoeste de la laguna está localizada dentro del predio, donde el cuerpo de agua se hace más somero hasta que se pierde y se continúa en el bajo mencionado. La fracción de este cuerpo de agua localizada dentro del predio suma 106 hectáreas.

En cuanto a drenaje subterráneo, al igual que en otras regiones de la península de Yucatán existe un sistema de drenaje subterráneo, que por lo plano del relieve no forma ríos sino mantos subterráneos con dirección regional oeste-este. La zona centro oriental de la península, dentro de la cual está situado el ejido Noh Bec, es de origen más antiguo que su parte norte y está caracterizada por la escasez de cenotes. En el predio existe solamente un cuerpo de agua de este tipo, denominado Cenote Noh Bec. En la parte noroeste del predio existe un pozo artificial que según la tradición local data de la época de la Guerra de Castas, denominado Pozo May. Es el único pozo en toda el área forestal permanente del predio. El nivel del agua en el mismo se localiza aproximadamente a 10 m. de profundidad.

5.3. Clima

El clima es cálido subhúmedo con un periodo de lluvias en verano y otro periodo corto de lluvias ligeras en febrero y marzo denominado "cabañuelas". La temperatura media anual oscila entre 24 y 26 °C, la precipitación media anual es de 1,200 mm. Según la clasificación de climas de Köpen modificada por Enriqueta García (1976) el de Noh-Bec es del tipo Aw(x ')i.

5.4. Geología y suelos

5.4.1. Geología

El ejido Noh-Bec está dentro de la formación geológica de la Península de Yucatán denominada "Carrillo Puerto" (INEGI). Al igual que toda la península es parte de una placa calcárea de origen marino que emergió a causa de una serie de movimientos epirogénicos que se iniciaron desde el cretácico superior. Se caracteriza porque sus niveles inferiores están constituidos por coquinas de alrededor de 1 m de espesor cubiertas por calizas impuras y arcillosas, que originan suelos de color amarillento a rojizo producto de la oxigenación del hierro.

5.4.2. Suelos

El hecho que el material parental sea solamente de tipo calcáreo hace que la variación de los suelos dependa de los accidentes topográficos y de los factores de intemperización. Esto significa que los tipos de suelo que se presentan tienen una relación directa con las escasas variaciones del relieve que hay en la zona, así como de la precipitación media anual. En los pequeños cerros y las lomas se presentan los suelos más delgados (menos de 15 cm), la profundidad aumenta conforme se llega a las zonas más bajas (más de 40 cm). Esto es resultado de la acumulación del material arrastrado en la época de lluvias.

Según la clasificación de FAO (1963) los suelos de la zona se pueden dividir en tres grupos:

Grupo 1. Aquí se encuentran suelos que solamente presentan horizontes AC y en algunos casos el horizonte B que inicia su formación, tienen escasa capacidad de retención de agua y fuerte riesgo de erosión cuando se ubican en las partes más altas del relieve. Se encuentran aquí litosoles, regosoles, rendzinas y cambisoles.

Grupo 2. En este grupo los suelos tienen los horizontes ABC bien desarrollados, ricos en arcilla, que los hace relativamente pesados, con capacidad de drenaje moderada sin peligro de erosión. En las planadas y laderas de débil pendiente se localizan luvisoles y en la orilla de los bajos en donde se inician los procesos de acumulación de material de arrastre se localizan vertisoles.

Grupo 3. En este grupo se encuentran gleysoles, que son suelos muy arcillosos, ubicados en las zonas más bajas del relieve, tienen baja capacidad de drenaje por lo que acumulan agua en la temporada de lluvias.

En la región es muy común entre los campesinos y técnicos el uso de la clasificación desarrollada por los mayas con fines agrícolas, por lo que se utilizan como criterio de clasificación los accidentes del relieve relacionándolos con la fertilidad y la productividad agrícola.

5.5. Vegetación

5.5.1. Vegetación primaria

Según la clasificación hecha por Miranda y Hernández (1938), en la zona de estudio existe “Selva alta o mediana subperennifolia con *Manilkara zapota*, *Bucida buceras* y *Chrysophylla argentea*. A su vez ésta se subdivide en varios tipos de los cuales se encuentran en la zona los siguientes:

- Selva con *Manilkara zapota* y *Swietenia macrophylla*.
- Selva subperennifolia con abundante *Manilkara zapota*.
- Selva de *Bucida buceras* y *Swietenia macrophylla*.
- “Escobales” de *Chrysophylla argentea* (Huano Kum), en la vegetación de la selva subperennifolia con *Bucida buceras*.

Las especies más abundantes en la zona de estudio son el ramón y el chicozapote, ambas llegan a formar comunidades en donde son dominantes. A las cuales se les conoce como “ramonales” y “zapotales” respectivamente.

Una clasificación que reviste importancia para identificar los tipos de vegetación del área de estudio es la hecha por Sarukhán (1968) donde considera como tipos varias asociaciones que Miranda describe como asociaciones no óptimas.

Sarukhán distingue dos tipos principales de vegetación:

- Selva alta o mediana subperennifolia. Esta se define como una comunidad muy densa, con gran cantidad de especies arbóreas, abundantes bejucos y trepadoras. Los árboles dominantes son de alturas mayores a los 15 m y del 25 a 50% de los árboles dominantes pierden las hojas en la época de sequía

(marzo - mayo). Este tipo de vegetación cubre aproximadamente el 85% de los terrenos de Noh-Bec.

- Selva baja subperennifolia. Esta repite las características de la anterior pero se diferencia porque los árboles dominantes no alcanzan alturas mayores a 15 m. La especie emergente más característica es *Bucida buceras*. Este tipo de selva forma dos franjas que corren de SW a NE siguiendo las zonas inundables por las que corre el agua durante la época de lluvias. Representan aproximadamente el 2% de la superficie de Noh-Bec.

5.5.2. Vegetación secundaria

La vegetación secundaria existente es el resultado de las prácticas agrícolas de los ejidatarios. Estas áreas se encuentran en las márgenes de los terrenos inundables, ya que ahí están los mejores suelos para las actividades agropecuarias (yaaxhom). La composición es muy heterogénea porque estas zonas representan áreas de transición de selvas medianas a selvas bajas que al ser desmontadas y quemadas inician la sucesión vegetal. Generalmente solo pasan la etapa herbácea e inician la etapa arbórea constituida por especies blandas arbustivas y arbóreas de rápido crecimiento, porque de nuevo son desmontadas para uso agrícola o en su defecto algunas son transformadas en pastizales.

5.5.3. Composición general del bosque tropical del ejido Noh bec

Argüelles, *et al.* (1998), realizó un estudio para el Programa de Manejo Forestal del bosque tropical del Ejido Noh bec, en donde reporta que existen 119 especies en el área inventariada, quedando 97 árboles como desconocidos ante la imposibilidad de identificarlos. De las 119, se concentraron aquellas cuya muestra fue inferior a 10 individuos en una categoría denominada "Otros", quedando así 60 especies.

En el Cuadro 10 se muestran las 18 especies con las mayores existencias de volumen y área basal. Estas especies representan el 84% del área basal y del volumen de fuste limpio del bosque; asimismo el 72% de los árboles pertenece a alguna de ellas. Este grupo incluye la mayoría de las que tienen importancia comercial, sin embargo están ausentes de la lista, el cedro, siricote, jobo y machiche, que son prácticamente inexistentes en el área y el granadillo y jabin con existencias poco notables.

Cuadro 10. Preponderancia de las especies

AREA MUESTREADA COMPLETA NUMERO DE SITIOS = 1380						
Especie	Vol. Fuste Limpio		Area basal		Numero de árboles	
	m ³ /ha	%	m ² /ha	Especie	/ha	%
Chicozapote	31.70	23.7	5.26	22.5	40.4	6.1
Zapotillo	10.23	7.6	2.18	9.3	124.0	18.8
Ramon	7.38	5.5	1.21	5.2	23.8	3.6
Caobas	7.63	5.7	0.87	3.7	7.9	1.2
Chaka	6.09	4.5	1.00	4.3	25.0	3.8
Sac chaká	6.00	4.5	1.00	4.3	23.3	3.5
Huano	5.89	4.4	0.84	3.6	53.0	8.1
Amapola	5.48	4.1	1.13	4.8	10.8	1.6
Chechen	5.40	4.0	0.91	3.9	19.1	2.9
Chakte kok	5.09	3.8	0.94	4.0	22.3	3.4
Tabaquillo	5.07	3.8	1.03	4.4	53.2	8.1
Pasaak	3.89	2.9	0.64	2.8	14.6	2.2
Kaniste	3.18	2.4	0.60	2.5	15.4	2.3
Katalox	2.73	2.0	0.44	1.9	4.3	0.7
Yaaxnik	2.69	2.0	0.57	2.4	9.7	1.5
Palo de sol	2.09	1.6	0.48	2.0	21.0	3.2
Tzalam	1.68	1.3	0.39	1.7	6.7	1.0
Subtotal	112.22	83.8	19.49	83.3	474.5	72.0
Otros	21.74	16.2	3.91	16.7	183.6	28.0
TOTAL	133.96	100.0	23.40	100.0	658.1	100

Fuente: Argüelles, *et al.* 1998.

5.5.3.1. Características de la masa forestal

Distribución por clase diamétrica

La curva normal de distribución del arbolado, Figura 4, muestra que en promedio, la masa forestal del área de este plan está prácticamente balanceada. La discrepancia que se puede observar en la primera clase se debe a que ésta es más ancha que las otras, pues incluye diámetros desde 10 hasta 25 cm.

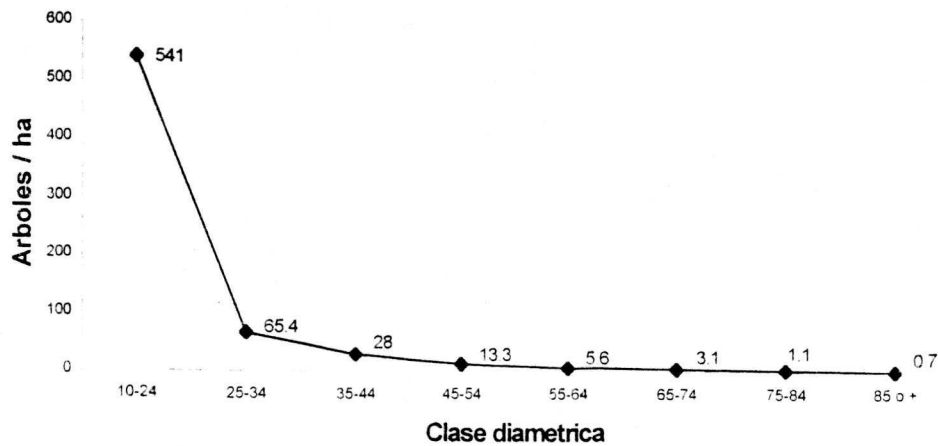


Figura 4. Distribución del arbolado por clase diamétrica

La población total media de 658 árboles por hectárea no difiere de lo que se espera habitualmente en esta zona para suelos kankab.

La diversidad del bosque no solo se refiere a la variedad de especies que lo forman, sino que es un mosaico de estratos de diversa estructura. Como se había mencionado, la curva normal de la población arbórea está bastante balanceada en promedio; pero esto no quiere decir que estos estratos estén también balanceados. Resaltan algunos estratos con un número de árboles por hectárea significativamente superior a la media, particularmente los ubicados en la esquina sureste del área, otro en el sur ubicado al este del bajo central, otro cerca de la esquina noreste y un cuarto en el centro del lindero oeste. También resaltan estratos en el caso opuesto, aquellos con poblaciones significativamente menos abundantes que la media resaltando los ubicados al centro del lindero norte y uno grande en la región Suroeste del área.

Estos estratos difieren significativamente en su composición, no solo por las especies que los habitan, sino por su estructura de tamaños y abundancia de árboles.

Sanidad

En el inventario se registra el estado fitosanitario del árbol. En el Cuadro 11 se muestra la distribución de problemas sanitarios por clase diamétrica.

Cuadro 11. Distribución de problemas sanitarios

CLASE DIAMÉTRICA	ENFERMOS (%)	BASE DE CALCULO
10-14	12.5	10799
15-24	19.2	7568
25-34	24.6	2835
35-44	25.7	1635
45-54	25.9	677
55-64	27.6	256
65-74	32.8	126
75-84	11.1	49
85 o +	40.8	61
TOTAL	17.65	24006

Fuente: Argüelles, *et al.* 1998

5.5.3.2. Inventario según usos actuales y potenciales

Importancia comercial del bosque

En el Cuadro 12 se muestran los usos óptimos para cada especie y el status de comercialización que tiene. En algunos casos como el Chicozapote varios de los usos posibles son óptimos; se han agregado los datos de número de árboles por hectárea y volumen de fuste limpio por hectárea. Este volumen incluye todos los diámetros existentes independientemente de que sean cortables o no.

Asi mismo se ha asignado un uso óptimo a cada especie. Esto no quiere decir que ese sea el mejor uso posible fuera del contexto del ejido. No se ha considerado un cambio tecnológico en la transformación de la madera. Por ello, solo se ha asignado uno de tres usos posibles a cada especie:

- . Aserrió de tablas
- . Aplicación en construcciones rústicas
- . Sin uso actual, lo que no implica que las especies así clasificadas no puedan usarse en producir astillas o carbón, etc.

Cuadro 12. Usos y status comercial de las especies

ESPECIE	NUMERO / HA	VFL (m3/ha)	USO OPTIMO	VALOR COMERCIAL
Amapola	10.84	5.48	Tabla	<<<<
Anonillo	2.35	0.10	Sin uso	<
Boop	4.06	0.75	Construccion	<<<
Caimito	3.41	0.38	Construcción	<<<
Caoba	7.88	7.63	Tabla	<<<<<
Chackax	4.16	0.58	Sin uso	<
Chactkok	22.32	5.09	Tabla	<<<<
Chacteviga	1.52	0.42	Construcción	<<<<
Chaka	24.97	6.09	Tabla	<<<<
Chauche	4.15	0.24	Sin uso	<
Chechen	19.07	5.40	Tabla	<<<<
Chicozapote	40.39	31.70	Tabla, resina y	<<<
Chintok	1.46	0.30	Construccion	<<<
Chobenche	2.41	0.17	Construccion	<<<
Copal	14.97	1.42	Sin uso	<
Ekhulub	13.94	0.97	Construccion	<<<
Elemuy	7.42	0.44	Construccion	<<<
Granadillo	1.07	0.32	Tabla	<<<<<
Guacatche	2.93	0.32	Sin uso	<
Guaya	0.94	0.16	Construccion	<<<
Guayabillo	1.12	0.16	Sin uso	<
Higo	1.54	0.37	Tabla	<<
Huano	53.03	5.89	Construccion	<<<<
Huayancox	1.49	0.21	Sin uso	<
Jabin	7.10	1.28	Construccion	<<<<
Jobillo	2.99	0.68	Construccion	<<<
Kanatzin	3.30	0.46	Construccion	<<<
Kaniste	15.36	3.18	Tabla	<
Kaskaat	4.94	0.98	Construccion	<<<
Katalox	4.32	2.73	Tabla	<<<<
Kitamche	5.36	1.31	Construccion	<<<
Laurel	15.59	0.93	Sin uso	<
Limonaria	3.57	0.16	Sin uso	<
Majahua	4.84	0.34	Construccion	<<<
Naranjillo	1.62	0.18	Sin uso	<
Oknom	3.84	0.58	Sin uso	<
Palo de	0.87	0.06	Sin uso	<
Palo de gas	0.74	0.10	Sin uso	<
Palo de sol	21.03	2.09	Sin uso	<
Pasaak	14.61	3.89	Tabla	<<<<
Perezcuch	1.33	0.11	Construccion	<<<
Pimienta	6.01	0.49	Sin uso	<
Ramon	23.83	7.38	Tabla	<<
Sabasche	0.44	0.10	Construccion	<<<
Sacchaka	23.28	6.00	Tabla	<<<<<
Silil	3.71	0.41	Construccion	<<<
Tabaquillo	53.17	5.07	Sin uso	<
Tadsi	2.59	0.29	Sin uso	<
Tamay	1.68	0.25	Sin uso	<
Tastab	8.86	1.52	Tabla	<<
Toyub	2.16	0.31	Sin uso	<
Tres Marias	0.38	0.07	Sin uso	<

Continuación.....

Tusikche	2.06	0.37	Sin uso	<
Tzalam	6.74	1.68	Tabla	<<<<<
Uvilla	4.06	0.76	Sin uso	<
Xuul	0.39	0.09	Construccion	<<<
Yaaxnik	9.73	2.69	Tabla	<<
Yaiti	14.49	1.04	Construccion	<<<<
Zapote rojo	123.99	10.23	Construccion	<<
Otros	11.77	1.60		
TOTAL	658.19	134.00		

<<<<< Venta asegurada de cualquier existencia

<<<< Se comercia habitualmente pero no se vende la posibilidad

<<< Se comercia esporádicamente

<< No se comercia, pero tiene potencial

< No hay mercado ni tiene potencial claro

Fuente: Argüelles, *et al.* 1998

El chicozapote es un caso especial, debido a que es difícil evaluar si producirá más ganancia vendiéndolo como postes o como tablas, en ambos casos tiene mucho potencial. Adicionalmente también genera ingresos sin derribarlo. El que se haya clasificado una especie como de aserrío no quiere decir que éste sea el único uso. De hecho, los diámetros menores servirán mejor como elementos de construcción y los muy pequeños que se corten tendrán que desperdiciarse o usarse para astillas o carbón.

5.5.3.3. Análisis de las existencias de algunas especies preponderantes

En el Cuadro 10 se encuentran las 18 especies que más volumen aportan al bosque de esta zona de Noh-Bec. A continuación se hace una descripción de las más importantes de esas dieciocho:

Caoba

La caoba representa el 1.2% del arbolado, el 3.7% del área basal y el 5.7% del volumen, de donde se deduce que esta especie se caracteriza por tener una mayor proporción de individuos grandes que la media (diferencia entre los porcentajes del número de árboles por hectárea y del área basal por hectárea) y que estos a su vez tienden a ser más altos que el resto de los árboles voluminosos del ejido.

Indudablemente es la especie más importante desde un punto de vista comercial ya que genera utilidades notablemente mayores a las de las otras especies comerciales. La caoba es un árbol pionero de crecimiento rápido que necesita luz y sitios perturbados para regenerarse. La población de caoba en el área de estudio tiene la estructura que se muestra en la Figura 5.

Es evidente que se trata de una población desbalanceada; los árboles de diámetros inferiores a 35 cm tienden a escasear, lo que indica las dificultades

que ha tenido la regeneración de esta especie. Se puede pensar que si no se eliminan los problemas de regeneración, los volúmenes cortables de la especie tenderán a reducirse apreciablemente después del segundo ciclo de 25 años.

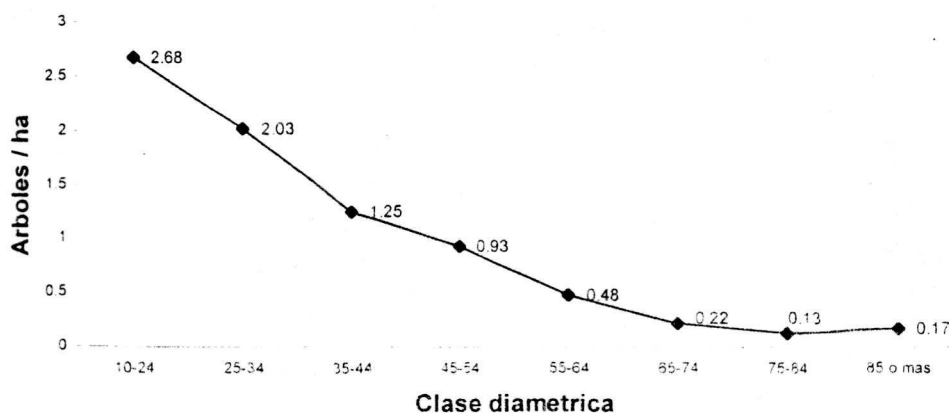


Figura 5. Estructura de la población de caoba

Siendo la caoba de importancia capital para la sana economía del ejido este problema debe analizarse a conciencia y se debe empezar a buscarle soluciones. El volumen de fuste limpio de los árboles cortables de caoba (55 cm y mayores) es de 3 m³/ha, lo que se traduce en una expectativa de aprovechamiento de 2.6 m³/ha. La distribución de la caoba no es homogénea en el área, pero hay existencias en toda el área salvo en la esquina sureste del lote.

Esto es particularmente importante porque significa que existen árboles semilleros en todo el lote, que se pueden incluir en la planeación de las operaciones silvícolas de apoyo a la regeneración de esta especie. La caoba tiene la siguiente distribución de la sanidad en función de la clase diamétrica:

En el Cuadro 13 se puede ver la dificultad que tienen los individuos de esta especie de sobrepasar los 75 cm de diámetro conservándose sanos.

Cuadro 13. Distribución de sanidad de la caoba

CLASE	ENFERMOS	BASE DE
10-14	6.4	47
15-34	3.4	403
35-54	3.0	604
55-74	9.4	192
75 o +	27.2	81
Total	4.4	1,327

Fuente: Argüelles, *et al.* 1998

Sac chaká

El Sac chaká junto con el Tzalam han alcanzado durante los últimos un nivel de demanda similar al de la caoba, puesto que en Noh-Bec todo lo que pudiera extraerse se vende. Esta especie es muy abundante en el lote (mucho más que el Tzalam), por lo que se la ha considerado en este Plan como una segunda especie guía acompañando a la Caoba en ese rol.

Esta especie blanda representa el 4.5% del volumen, el 4.3% del área basal y el 3.5% de los árboles del bosque del lote. No es un árbol tan robusto como la caoba pero alcanza diámetros de hasta 60 cm. En relación a la Figura 6 se puede concluir que la población está prácticamente balanceada salvo un exceso de individuos de 10 a 24 cm de diámetro.

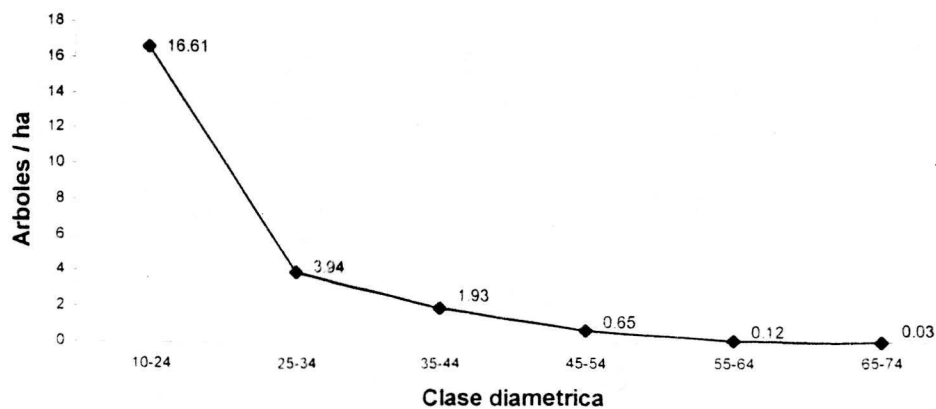


Figura 6. Estructura de la población de sac chaká

Esta heliófita cubre prácticamente toda la superficie del lote, con mayor o menor densidad. La distribución es muy heterogénea, pues el rango entre el segundo y el noveno decil es de 45 árboles por hectárea. En los quemadales de la parte este del lote la población alcanza densidades mayores a los 80 árboles por hectárea, lo que muestra como los incendios favorecen su regeneración, esto refuerza la idea de la necesidad de fuertes perturbaciones para mantener indefinidamente poblaciones numerosas.

El Cuadro 14 muestra un incremento continuo del porcentaje de árboles con problemas de sanidad a medida que aumenta el diámetro, llegando al 15% para los árboles con DAP mayor de 45 cm.

Cuadro 14. Distribución de sanidad del sac chaka

CLASE	ENFERMOS	BASE DE
10-24	3.5	573
25-44	9.5	327
45 o +	15.1	53

Fuente: Argüelles, *et al.* 1998

Tzalam

Esta especie que ha alcanzado una demanda alta en el mercado, no es muy abundante en este lote; sus existencias representan el 1.3% del volumen, el 1.7% del área basai y el 1% del arbolado. Esto indica que se trata de una especie caracterizada por alcanzar diámetros más gruesos que la media, pero de fustes limpios más cortos que la mayoría de las especies de grosor similar. Su distribución por clase diamétrica es la siguiente:

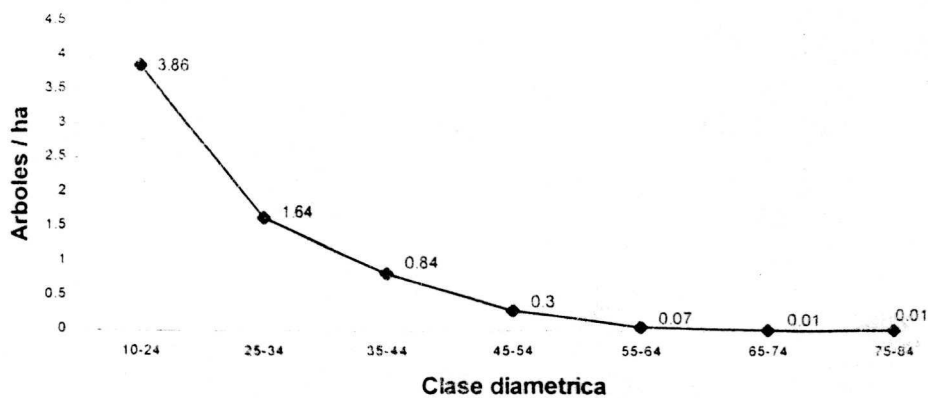


Figura 7. Estructura de la población de Tzalam

Esta distribución muestra una curva ligeramente desbalanceada con existencias de los individuos de diámetro entre 35 y 64 cm por encima de lo esperado. La

abundancia de esta heliófita está asociada a las grandes perturbaciones. Las existencias cortables están en pequeños manchones diseminados por el lote, aunque son más frecuentes en el lado Este.

El estado de sanidad del Tzalam queda descrito en el Cuadro 15 donde se puede ver que es una especie más sana que la media.

Cuadro 15. Distribución de sanidad del tzalam

CLASE	ENFERMOS	BASE DE
10-24	7.5	133
25-44	9.7	143
45 o +	8.1	86

Fuente: Argüelles, *et al.* 1998

Amapola

La amapola es una especie blanda que conforma el 4.1% del volumen, el 4.8% del área basal y el 1.6% del arbolado del bosque. La curva muestra un exceso de árboles en la clase diamétrica de 65 a 74 cm.

La amapola se distribuye sobre casi todo el lote, pero hay algunas zonas principalmente en el lado Oeste del lote en donde no existe o tiene una presencia mínima. En la parte sur del bloque Este y en la esquina Noreste del predio la presencia de la amapola es muy importante (más de 20 árboles por hectárea) aunque se trata de árboles pequeños.

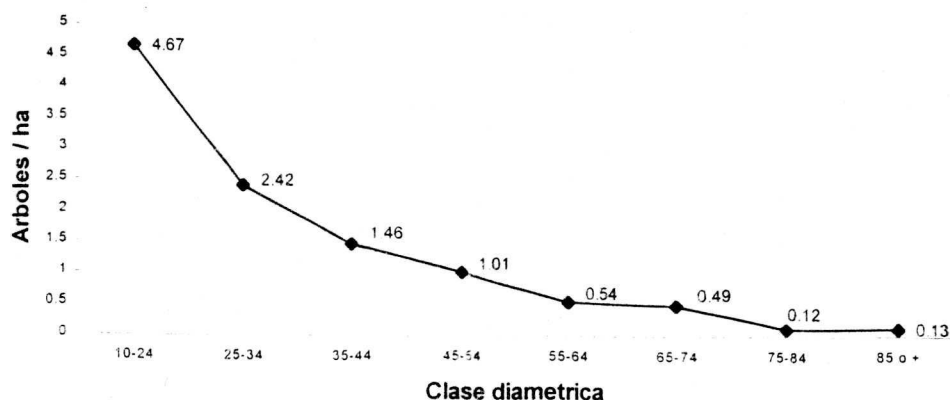


Figura 8. Estructura de la población de amapola

Cuadro 16. Distribución de sanidad de la amapola

CLASE	ENFERMOS	BASE DE
10-14	3.6	55
15-24	5.7	106
25-34	7.8	122
35-44	8.9	101
45-54	8.6	70
55 o +	12.5	88

Fuente: Argüelles, *et al.* 1998

La amapola, como el Tzalam, es una especie con mayor porcentaje de individuos sanos que lo esperado.

Chaká

El chaká interviene en la composición del bosque con el 4.5% del volumen, el 4.3% del área basal y el 3.8% del arbolado y tiene la siguiente distribución diamétrica.

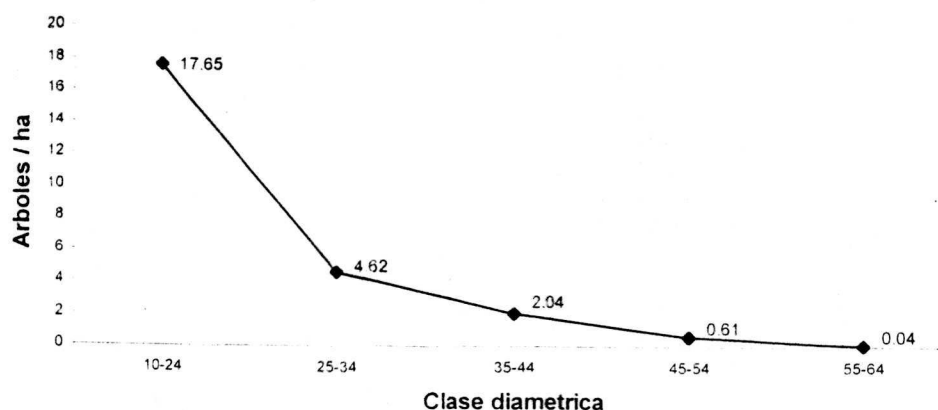


Figura 9. Estructura de la población de chaká

Donde muestra una población bastante balanceada con un ligero exceso de individuos en la clase de 35 a 44 cm. La distribución geográfica es bastante heterogénea aunque esta abundante especie cubre toda el área con manchones de diferente densidad que van desde los 2 árboles por hectárea hasta más de 60.

En el Cuadro 17 se muestra que es una especie muy sana en comparación a las demás.

Cuadro 17. Distribución de sanidad del chaka

CLASE	ENFERMOS	BASE DE
10-14	2.4	332
15-24	2.5	277
25-34	6.8	228
35-44	6.4	14
45 o +	4.4	45

Fuente: Argüelles, *et al.* 1998

Pasaak

El Paasak forma el 2.9% del volumen, el 2.8% del área basal y el 2.2% del arbolado. Esta heliófita tiene la siguiente distribución diamétrica, que describe una población bastante desbalanceada con problemas de regeneración. Su distribución geográfica es bastante homogénea y cubre el área completa. Se trata de una población relativamente abundante.

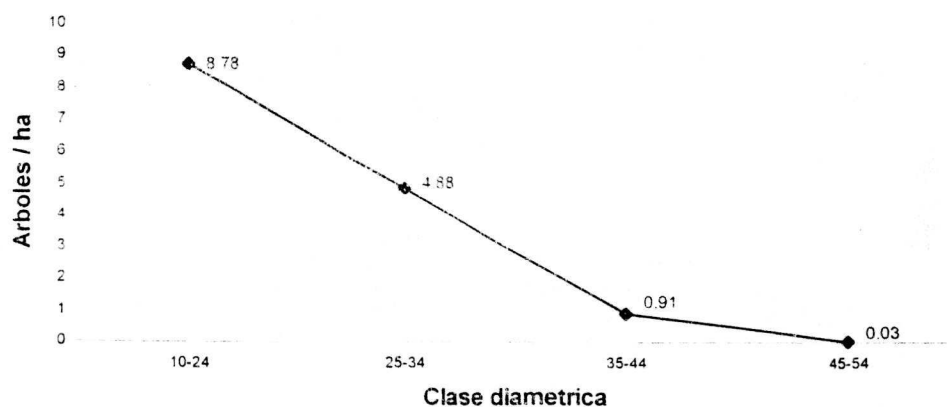


Figura 10. Estructura de la población de paasak

La especie es muy sana como puede observarse en el Cuadro 18, pero los árboles mayores de 35 cm indican un porcentaje con problemas de sanidad del orden del doble de los más pequeños.

Cuadro 18. Distribución de sanidad del paasak

CLASE	ENFERMOS	BASE DE
10-14	5.6	90
15-24	3.8	213
25-34	4.8	247
35 o +	9.5	63

Fuente: Argüelles, *et al.* 1998

Chakte kok

El chakte kok ocupa el 3.8% del volumen, el 4.0% del área basal y el 3.4% del arbolado. Su distribución diamétrica es la siguiente.

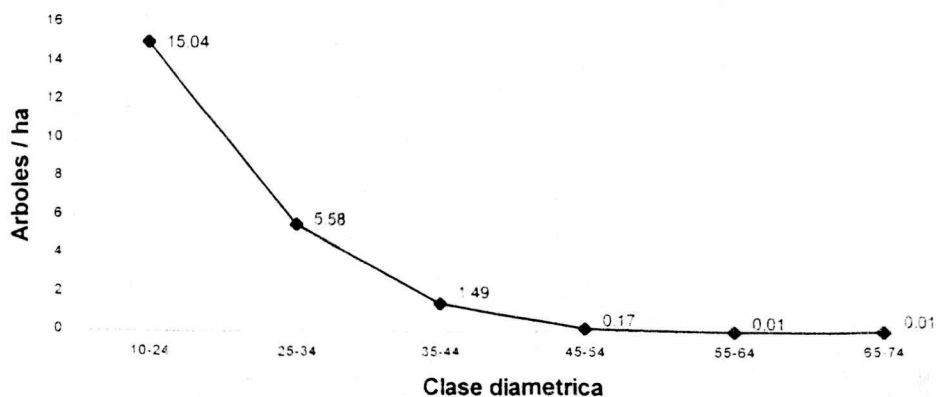


Figura 11. Estructura de la población de chakte kok

El chakte kok tiene también una tendencia a tener problemas de regeneración aunque no tan acusados como la caoba y el paasak. La especie cubre por completo el área, salvo en una zona amplia en el quemadal del extremo Sureste. En el Cuadro 19 se indica que esta especie tiene muchos problemas fitosanitarios, pues más del 40% de los árboles está afectado. El índice se incrementa de los árboles más pequeños a los más grandes.

Cuadro 19. Distribución de sanidad del Chakte kok

CLASE	ENFERMOS	BASE DE
10-14	26.7	165
15-24	34.5	354
25-34	51.1	271
35-44	68.0	103
45 o +	83.3	12

Fuente: Argüelles, *et al.* 1998

Chechén

El Chechén es una especie de la misma importancia que el Chakte kok en el predio estudiado; representa el 4% del volumen, el 3.9% del área basal y el 2.9% del arbolado. La distribución por diámetro indica que aunque la población no está completamente balanceada no tiene mayor problema.

El Chechén existe en toda el área aunque se concentra en algunos manchones muy densos de hasta más de 40 árboles por hectárea. El estado sanitario del Chechén se resume en el Cuadro 20 donde se puede apreciar una tendencia muy definida a encontrar más individuos enfermos entre los de mayor talla.

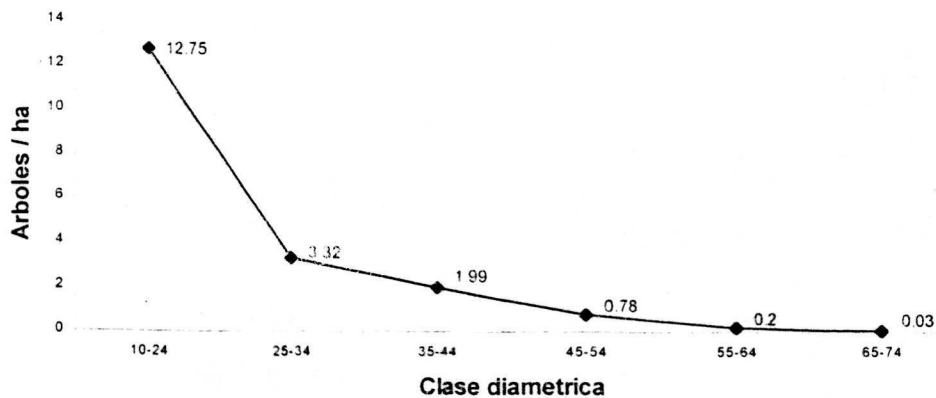


Figura 12. Estructura de la población de chechén

Cuadro 20. Distribución de sanidad del Chechén

CLASE	ENFERMOS	BASE DE
10-14	5.1	235
15-24	8.3	205
25-34	10.4	160
35-44	23.4	137
45-54	35.2	54
55 o +	52.0	16

Fuente: Argüelles, *et al.* 1998

Katalox

El katalox es mucho menos frecuente que las especies mencionadas, aun así se ubica entre las dieciocho especies preponderantes con el 2% del volumen del bosque, el 1.9% del área basal y el 0.7% del arbolado. En el predio se tiene la siguiente distribución diamétrica.

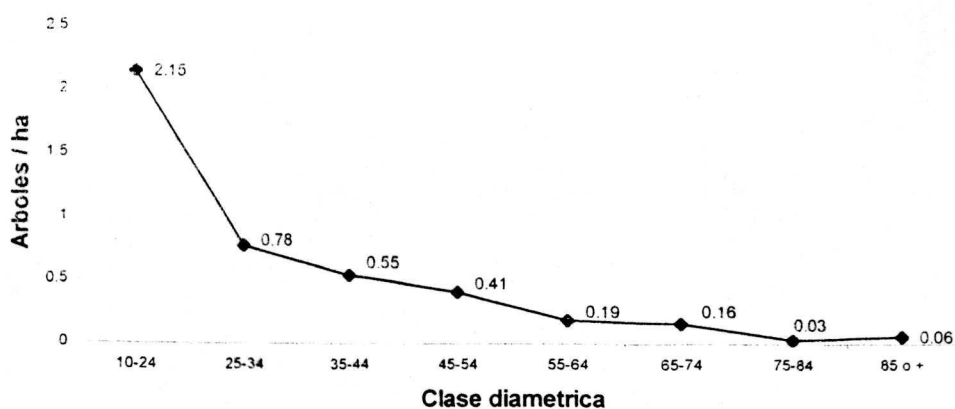


Figura 13. Estructura de la población de katalox

Hay densas concentraciones de katalox en el bloque oriental del lote. El Cuadro 21 muestra una tendencia al deterioro similar a la del Chechén aunque más pronunciada.

Cuadro 21. Distribución de sanidad de katalox

CLASE	ENFERMOS	BASE DE
10-14	5.4	74
15-24	7.9	43
25-34	34.2	38
35-44	53.6	28
45 o +	73.3	30

Fuente: Argüelles, *et al.* 1998

Zapotáceas

Tres zapotáceas tolerantes a la sombra; chicozapote, zapotillo y kanisté forman el 32.7% del volumen, el 34.3% del área basal y el 27.2% del arbolado. Ninguna de estas se utiliza para madera. Del chicozapote se extrae el chicle, pero no todos los árboles se explotan, las otras dos especies no tienen mercado en ninguna forma. El zapotillo es un árbol extremadamente abundante (más de 120 árboles / ha), de tamaño pequeño que rara vez alcanza los 30 cm de diámetro. El kanisté, mucho menos frecuente (15 árboles / ha). La falta de demanda de estas especies genera condiciones en las que su desarrollo se ha visto muy favorecido en el pasado cercano, ya que la explotación selectiva de las heliófitas aunada al efectivo control de los incendios forestales en Noh-Bec permite que la mayoría de los claros dejados por la explotación sean más favorables a las zapotáceas y al ramón que a la regeneración de las heliófitas

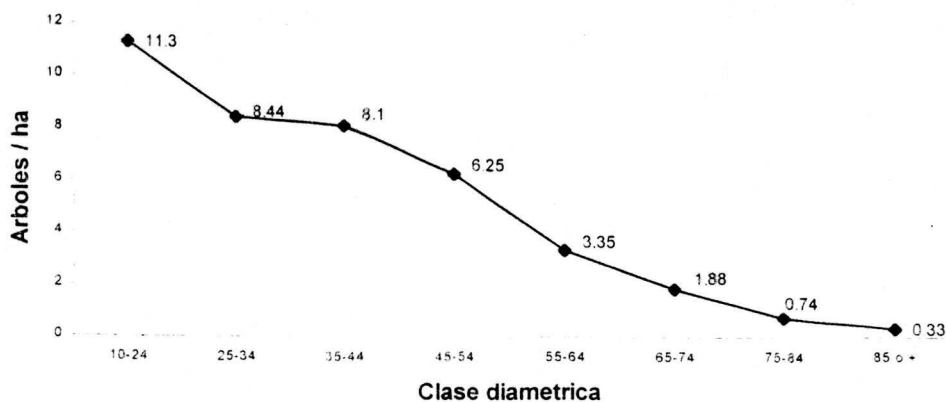


Figura 14. Estructura de la población de chicozapote

Esta población muestra un mayor número de árboles en los diámetros comprendidos entre 35 y 75 cm. Son árboles mucho más robustos que la media de las especies, lo que se traduce en una dominancia muy marcada en el predio. El chicozapote tiene el potencial para aumentar sensiblemente su importancia comercial, la madera aunque muy densa es trabajable, de aspecto agradable y grano fino, lo que se traduce en que tiene buenas posibilidades de ser aceptada en el mercado. Por otra parte es una de las especies más apreciadas para la construcción rústica local, aplicación en que su resistencia a la pudrición la incluye entre las preferidas para postes y vigas.

El chicozapote se distribuye en forma bastante homogénea por toda la superficie del predio, aunque hay algunos rodales donde la concentración de chicozapote incrementa su dominio hasta hacerlo casi total y otros donde su abundancia no es tan notable y hay especies con mayor presencia (particularmente en los quemadales jóvenes). Si se lograra obtener información

de inventarios realizados en el área hace 30 o más años se podría examinar la hipótesis de que la protección originada en la extracción de chicle, ha generado un incremento de la dominancia de esta especie, situación que puede ser similar al caso del ramón, que también ha sido protegida por decisión de los propietarios. Es posible, que hace 50 o 70 años las poblaciones de estas especies tolerantes fueran menores que las actuales. La extracción selectiva de heliófitas aunada a la reticencia a cortar estas tolerantes posiblemente ha generado el bosque actual, en el que ha influido decisivamente la intervención humana.

Es importante estudiar a fondo la inclusión de estas zapotáceas y del ramón en un plan de manejo sustentable, que evite una paulatina transformación del bosque que lleve a una composición no solo indeseable desde el punto de vista de la economía de la comunidad, sino que tampoco es natural.

El zapotillo es una especie de pequeño diámetro y fuste corto, muy tolerante a la sombra que, aunque no tiene ningún uso, es de importancia capital en el predio debido a su abundancia y al espacio que ocupa. Los individuos de esta especie rara vez llegan a los 35 cm de diámetro. La importancia del zapotillo se puede observar en los datos; el 19% de los árboles del predio pertenecen a esta especie con más de 120 individuos por hectárea en promedio. Su abundancia implica que a pesar de su tamaño pequeño el 7.6% del volumen y el 9.3% del área basal del bosque le correspondan Su distribución en el predio es muy homogénea.

Ramón

El ramón es la tercera especie de importancia por volumen de fuste limpio (5.5%) y por área basal (5.2%). Existen en promedio 24 individuos por hectárea de esta especie de árboles bastante robustos y de fuste largo. También el ramón ha sido protegido por su valor forrajero (aunque casi nadie la usa) y su posibilidad de sustituir al maíz en la alimentación humana en casos de emergencia. Su distribución diamétrica se puede apreciar en la Figura 15, que a su vez muestra que se trata de una población muy balanceada.

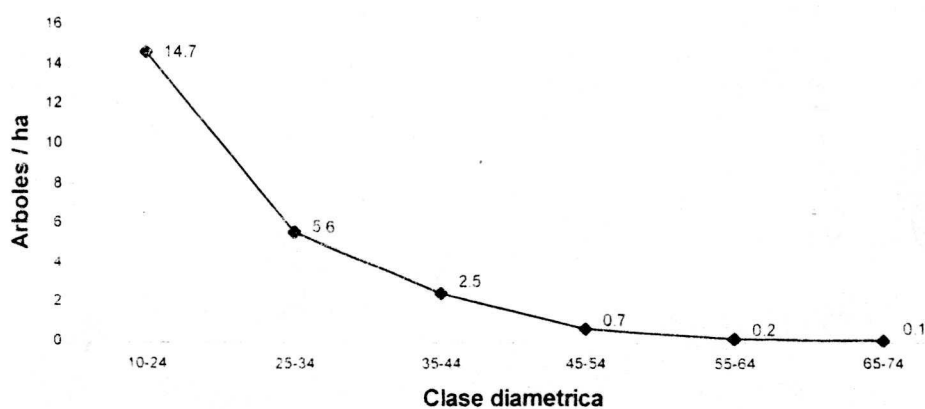


Figura 15. Estructura de la población de ramón

Aunque el ramón está distribuido por todo el ejido muestra una tendencia a formar manchones de muy alta densidad, aunque solamente está ausente en perturbaciones recientes y muy intensas.

6. METODOLOGÍA

Para realizar la evaluación económica y cubrir así los objetivos de este trabajo, se cuantificó el contenido de carbono de las especies más representativas en cuanto a volumen se refiere y una vez teniendo esta información, se realizó la evaluación económica, para lo cual se utilizaron dos criterios, a saber: precio internacional promedio pagado por este servicio ambiental y el costo de oportunidad de la madera no aprovechada.

6.1. Cálculo de stock de carbono

Para definir el contenido de las especies existentes en la selva tropical de Noh Bec, primeramente se estimó la biomasa aproximada de 11 árboles correspondientes al mismo número de especies, los cuales representaron aproximadamente el 66% del volumen total por hectarea del bosque tropical del Ejido Noh Bec; se incluyó un renglón como "todas las otras especies", los cuales representaron el otro 34% del volumen total restante. Luego se determinó el contenido de carbono en muestras de madera de las especies seleccionadas. Con ambos trabajos se determinaron el Factor de Expansión de Biomasa (FEB) y el factor de conversión de biomasa a carbono (FCC) para estas 12 especies, incluyendo "todas las otras especies". Ambos factores fueron utilizados para la estimación del stock de carbono del bosque tropical.

6.1.1. Medición de la biomasa

Los bosques tradicionalmente han sido usados para obtener de ellos muchos productos, tales como madera, combustible y forraje. Determinando la biomasa de bosques es una forma usual de proporcionar estimaciones de existencias de esos productos. Evaluando el total de la masa aérea de los bosques, definida como densidad de biomasa cuando es expresada como peso húmedo por unidad de área, es una manera usual de cuantificar la cantidad de recursos disponibles para todos los usos tradicionales.

Sin embargo, la forma de biomasa de cada componente forestal (hojas, fuste y raíces) varía con la biomasa total y por tipo de bosque, tales como bosques naturales o plantados y bosques cerrados o abiertos.

La biomasa de los bosques es también muy relevante para problemas relacionados con el cambio climático global. Por ejemplo, el papel de los bosques tropicales en los ciclos biogeoquímicos, especialmente el ciclo del carbono y su relación al efecto invernadero, ha incrementado el interés en estimar la densidad de la biomasa de los bosques tropicales. La biomasa de los bosques tropicales provee estimaciones de carbono almacenado en la vegetación forestal debido a que alrededor del 70% de este es carbono. Consecuentemente, la biomasa representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera como dióxido de carbono cuando el bosque es limpiado o quemado.

Estimaciones de la densidad de la biomasa también provee medios para calcular la cantidad de dióxido de carbono que puede ser removida de la atmósfera restaurando bosques o estableciendo plantaciones, ya que ellos establecen las proporciones de producción de la biomasa y los límites superiores de carbono a secuestrar.

La estimación de biomasa de bosques de países tropicales, en particular, son necesarios ya que globalmente ellos están sufriendo las más grandes tasas de cambio y las estimaciones de biomasa fiables son pocas. Su biomasa y contenido de carbono es generalmente alta, los cuales influyen en su papel en el ciclo global de carbono. Además, los bosques tropicales tienen un gran potencial de mitigación de CO₂ a través de la conservación y manejo (Brown *et al.*, 1996).

La *biomasa* se define como la cantidad total de materia orgánica en árboles que vive sobre la tierra expresada en materia seca como toneladas por unidad de área. Se refiere como densidad de la biomasa cuando es expresada como masa por unidad de área. La biomasa total para una región o país, se obtiene del producto de la biomasa y la correspondiente área del bosque.

El término biomasa también es usado para describir la suma total de materia orgánica viva de las plantas fotosintéticas en una unidad de área (g/cm², kg/m², ton/ha), tanto por encima como por debajo del suelo. Su monto se puede

expresar en términos de peso verde o seco, o bien de peso seco libre de ceniza (peso orgánico), siendo lo más común referirla como peso seco por metro cuadrado.

Otros autores definen a la biomasa como toda materia orgánica que existe en la naturaleza y sea susceptible de transformarse en fuente de energía utilizable (árboles, arbustos, algas marinas, desechos agrícolas, animales y, estiércol y otros).

La cantidad de biomasa en un bosque es el resultado de la diferencia entre producción a través de la fotosíntesis y consumo por respiración y procesos de cosecha.

Los principales componentes de la biomasa son: fuste de los árboles, ramas, corteza, follaje, estructuras reproductivas y raíces, con excepción de ramas y raíces muertas.

6.1.2. Método de estimación

Se han hecho estimaciones de la densidad de la biomasa para muchos bosques del mundo, pero todos fueron basados en estudios ecológicos creando severos problemas con su uso para análisis a escala global. Los estudios ecológicos son generalmente designados para caracterizar estructuras de bosques locales y los sitios de estudio usualmente no son verdaderamente

escogidos al azar ni representan la población de interés (Brown y Lugo, 1992). Estos tipos de estudios son convenientes para estudiar bosques locales, pero no para hacer inferencias acerca de grandes poblaciones (Brown *et al.* 1989). Además, el área total cubierta por estos estudios es una fracción muy pequeña del área forestal total; ejemplo, menos de 0.00001% de bosques tropicales (Brown and Lugo, 1984).

Otro problema con el uso de datos de biomasa provenientes de estudios ecológicos para análisis nacionales a globales es el prejuicio de los ecologistas para ajustar la colocación de parcelas sobre la noción de que un bosque maduro debe ser estar poblado con árboles de diámetros grandes. El efecto de hacer esto, es sobreestimar la densidad de la biomasa de los bosques debido a que la biomasa por árbol incrementa geométricamente con el incremento de su diámetro. Por lo tanto, los datos de estudios ecológicos deben ser usados con precaución ya que ellos no representan la densidad de la biomasa de grandes áreas forestales.

Para la mayoría de los bosques o formaciones del árbol, la densidad de la biomasa estimada será basada únicamente sobre la biomasa en árboles con diámetros mayores o iguales a 10 centímetros. Sin embargo, para bosques o árboles de menos estatura, tales como aquellos en zonas áridas o montañosas, bosques degradados o bosques secundarios, deben escogerse diámetros mínimos más bajos.

Existen dos métodos para calcular la biomasa. Método de corte o método directo, también llamado de cosecha; se usa para medir la biomasa mediante la cosecha individual o aquella establecida por unidad de área, interrumpiendo de esta forma la función biológica de las plantas. Supone cosechar toda la vegetación existente en un área suficientemente representativa, lo cual es en la mayoría de los casos impracticable, costoso y no siempre más exacto que el método de muestreo. No obstante, existe una compensación de esta interrupción biológica ya que sirve como suplemento valioso por ser un apoyo en las medidas reales de la biomasa. El método de estimación que se empleó en este trabajo fué el método indirecto.

Método de estimación indirecta; determina alguna característica que esté íntimamente relacionada con la producción forrajera. Una vez establecida esa relación, será solo necesario hacer una nueva medición al atributo medible de otras plantas para obtener su peso estimado. En un inicio, estos métodos requieren del método de corte para obtener los pesos reales y compararlos con los pesos estimados.

Existen dos aproximaciones para estimar la densidad de la biomasa de formaciones maderables basadas en el uso de datos de inventarios forestales existentes. La primera aproximación, que se usó en este trabajo, se basa en el uso de medidas de estimación de volumen existentes (m^3/ha), convertida a densidad de biomasa (ton/ha) usando una variedad de herramientas.

La segunda aproximación es estimar la densidad de biomasa directamente usando ecuaciones de regresión de biomasa. Estas ecuaciones de regresión son funciones matemáticas que relacionan la biomasa seca por árbol como una función de un solo o una combinación de dimensiones del árbol.

La ventaja de este segundo método es que produce estimaciones de biomasa sin tener que hacer estimaciones de volumen, mediante la aplicación de factores de expansión para contabilizar los componentes de árboles no inventariados. La desventaja es que un número pequeño de inventarios reportan tablas de tolerancias de clases diamétricas pequeñas para todas las especies. Para usar cualquiera de estos métodos, el inventario debe incluir todas las especies de árboles, ya que de otra manera no se puede extrapolar.

Cálculo de densidad de biomasa sobre datos de volumen existentes
(volumen total)

Este método se basa en la existencia de datos de volumen por hectárea y se recomienda usarlo para bosques secundarios y cerrados solamente, debido a que la base de datos original usada para desarrollar esta aproximación fue basada en bosques cerrados. El dato principal necesario para esta aproximación es VFL/ha., que es el volumen inventariado sobre el fuste limpio por hectárea, es decir, desde el tocón hasta el límite de la copa o hasta la primera rama principal o en su caso el volumen total (VT/ha). El volumen inventariado debe incluir todos los árboles, sea comercial o no, con un diámetro

mínimo de diez centímetros a la altura del pecho o arriba del tocón si el árbol es muy alto. Si el diámetro mínimo es algo más grande, la información de VFL/ha se puede usar con algunos ajustes como se mostrará más adelante. Sin embargo, tales ajustes a los datos primarios introducen errores grandes en la estimación.

Ecuación general

La densidad de biomasa puede ser calculada del VFL/ha estimando primero la biomasa del volumen inventariado y entonces se expande este valor para tener en cuenta la biomasa de los otros componentes sobre el suelo como sigue (Brown and Lugo 1992): NOTA: en lugar de VFL, se utilizará el VT, el cual, se sustituirá en las siguientes fórmulas.

$$\text{DBM (ton/ha)} = \text{VT} \cdot \text{DB} \cdot \text{FEB} \quad (1)$$

Donde:

DBM (ton/ha) = Densidad de biomasa sobre el suelo (ton/ha)

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).

* DB

La densidad de la madera como la masa seca por unidad de volumen verde (ya sea tons/m³ o grams/cm³). Las densidades de madera para árboles de bosques tropicales de América tienden a ser reportadas en estas unidades. La densidad de la madera se expresa en unidades de masa de madera a 12% de contenido de humedad por unidad de volumen al 12% de contenido de humedad. Reyes *et al*, (1992) desarrolló una ecuación de regresión para convertir la densidad de la madera basada en 12% de contenido de humedad a densidad de la madera basada en masa seca y volumen verde (ecuación 2).

$$Y = 0.0134 + 0.800X \quad (2)$$

($r^2 = 0.99$; numero de datos $n = 379$)

Donde:

Y = Densidad de la madera basada en masa seca / volumen verde

X = Densidad de la madera basada en 12% de contenido de humedad

Idealmente, aquí mejor se usa un valor de densidad promedio (basado en el volumen como medida de dominancia de cada especie) calculado como sigue:

$$DB = \{(V_1/V_t)*DB_1 + (V_2/V_t)*DB_2 + + (V_n/V_t)*DB_n\} \quad (3)$$

Donde:

$V_1, V_2, \dots, V_n$ = volumen de especies 1, 2, n especies

V_t = volumen total

$DB_1, DB_2, \dots, DB_n$ = densidad de la madera de las especies 1, 2, n especies

* FEB

Se define como la relación entre la densidad de la biomasa seca total sobre la superficie del suelo con un mínimo de 10 cm de diámetro a la altura de pecho o más y la densidad de la biomasa del volumen inventariado.

$FEB = \text{Exp} \{3.213 - 0.506 \cdot \ln(BV)\}$ para $BV < 190 \text{ t/ha}$

1.74 para $BV \geq 190 \text{ t/ha}$ (4)

(Tamaño de la muestra = 56, r^2 ajustada = 0.76)

Donde:

BV = Biomasa del volumen inventariado en t/ha, calculado como el producto de VOB/ha (m^3/ha) y la densidad de la madera (t/m^3).

6.1.3. Determinación de contenido de carbono

Para la determinación de contenido de carbono se utilizó un digestor o analizador de carbono orgánico TOC 5050 A de la marca Shimadzu, el cual usa una técnica de combustión elevando la temperatura hasta 800°C. De la muestra se oxida el carbono orgánico y este se registra por la absorción de longitudes de onda del infrarrojo. El principio básico del funcionamiento del TOC 5050 A es la *coulometría*.

La ***coulometría*** es un método analítico para determinar la concentración desconocida de una sustancia en solución mediante la conversión completa de la sustancia de un estado de oxidación a otro, y al ser una medida absoluta no requiere ninguna norma química o de calibración; es por consiguiente muy valioso para hacer determinaciones de concentraciones absolutas.

Debido a la polarización de la concentración es muy difícil de oxidar o reducir completamente una especie química a un electrodo. Por consiguiente, la coulometría se hace normalmente con un reactivo intermediario que reacciona cuantitativamente con el analizando. El reactivo intermediario es electroquímicamente generado de un exceso de un precursor para que no ocurra la polarización de la concentración. Un ejemplo es la oxidación electroquímica de I⁻ (el precursor) a I₂ (el reactivo intermediario). I₂ puede entonces usarse para oxidar químicamente especies orgánicas.

El punto al que el analizando se ha convertido al nuevo estado de oxidación se llama punto final y se determina por algún tipo de indicador que también está presente en la solución. La concentración del analizando se calcula de la reacción stoichiometrica y la cantidad de carga que fue requerido para producir un reaccionante suficiente que reaccione con todo el analizando.

Una parte sencilla, pero importante, de la obtención de espectros infrarrojos es la preparación de muestras, ya que de ella depende bastante la calidad del espectro. Pueden registrarse espectros infrarrojos de sustancias en fase gaseosa, líquida y sólida, así como en disolución. Normalmente, la muestra cuyo espectro se desea obtener se coloca en una célula o celda adecuada entre la fuente de radiación y la rendija de entrada del monocromador. La celda es una cavidad, dos de cuyas paredes, hechas de un material transparente a la radiación infrarroja objeto de estudio, permiten la absorción de parte de ella por la muestra colocada en su interior.

En el caso de los sólidos, interés del estudio, la forma más sencilla de obtener espectros infrarrojos, consiste en pulverizar una pequeña cantidad del mismo (2 a 5 mg) en un pequeño mortero y mezclarla bien, con una o dos gotas de un líquido no volátil que presente pocas bandas de absorción (parafina líquida o nujol, perfluoroqueroseno, hexaclorobutadieno, etc.), hasta formar una pasta clara que se coloca entre dos placas transparentes, sujetas a un soporte metálico. Estas placas transparentes se colocan dentro de la cámara de analizador para determinar la concentración de la sustancia de interés.

A continuación se describe el procedimiento que se siguió para determinar el contenido de carbono de las 11 especies seleccionadas.

- Se seleccionaron 11 especies de acuerdo al volumen total por hectárea, sumando estas el 66% del total por ha. y se extrajeron muestras de cada una de ellas.
- Como el digestor trabaja con muestras pequeñas pero muy finas, se llevó a cabo un primer proceso de molido en el aserradero de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. La muestra molida se colectó directamente de la sierra que se utilizó para tal fin; lo anterior para evitar que la muestra molida se mezcle con otras especies.
- Las muestras molidas se llevaron al laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Postgraduados en donde se les asignó un número de lote en conjunto y un número de laboratorio por especies. Después se sometieron a un segundo proceso de molido con una licuadora propia para estos fines. Cada muestra se sometió a 1.5 minutos de molido a una velocidad constante, separándolos en bolsitas, las cuales previamente se habían identificado con el número de lote y laboratorio. Después de moler cada muestra, el recipiente se lavó cuidadosamente para evitar resultados erróneos al momento del análisis.
- Con el apoyo de un TOC 5050 A (Analizador de Carbono Orgánico Total), se obtuvieron los porcentajes de contenido de carbono por especie. En el cuadro 23 se muestran los resultados.

6.1.4. Conversión de biomasa a Carbono

El peso de carbono se obtendrá multiplicando el peso de la biomasa por el porcentaje de contenido de carbono determinado en el punto anterior; en el caso de hacer caso omiso al porcentaje de contenido de carbono calculado para cada especie, considerar el factor de 0.50 que es un valor usado generalmente en ausencia de información específica.

6.2. Valoración del almacenamiento de carbono del bosque tropical de la Empresa Ejidal Forestal Noh bec

A través de los resultados que se obtuvieron, se analizó el valor que tiene cada especie por hectarea y el valor total que tiene una hectarea del bosque tropical en términos de almacenamiento de carbono. Del valor que tuvo cada especie por hectarea se calculó el porcentaje que representa este valor respecto al valor total de una hectarea.

Para lo anterior, se consideró un precio de US\$10.00 tonC/ha/año ya que es el precio que la mayoría de los países, sobre todo Costa Rica, han pactado sus contratos de venta de certificados de bonos de emisión y que refleja únicamente el costo de oportunidad del cambio en el uso del suelo de ganadería extensiva hacia el sector forestal.

El valor por especie según el stock de carbono almacenado y el total se calculó con las siguientes fórmulas.

$$VC_i = (\text{US\$}10.00) * (\text{STC}_i \text{ tonC/ha})$$

Donde:

VC_i = Valor del carbono almacenado en la especie i ; $i = 1, 2, 3, \dots, 12$ en US\$/tonC/año

STC_i = Stock de carbono en la especie i ; $i = 1, 2, 3, \dots, 12$ en tonC/ha

Similarmente se calculará el valor total por hectárea con la siguiente fórmula:

$$VC_T = (\text{US\$}10.00) * (\text{STC}_T \text{ tonC/ha})$$

Donde:

VC_T = Valor del Contenido Total de Carbono por hectarea

STC_T = Stock de carbono en el área de manejo en tonC/ha

Se analizó la participación que tiene cada especie en relación al valor total por hectárea y con esto se formularon algunas recomendaciones.

6.3. Comparación del ingreso por aprovechamiento forestal y el ingreso que representa vender el servicio ambiental de almacenamiento de carbono.

Para realizar la comparación de los ingresos por aprovechamiento forestal, primero se calcularon los ingresos netos aproximados por este concepto; para

lograrlo, se tomaron en cuenta las especies que tienen una venta segura y que cubren la posibilidad anual para poder hacer estimaciones totales y no se tomaron en cuenta las especies que se venden pero que no cubren la posibilidad anual. Los volúmenes a aprovechar en el área de corta de interés, se obtuvieron con los datos reportados por Argüelles, *et al.* (1998) en el programa de manejo forestal realizado con fines de aprovechamiento maderable.

Los precios que se consideraron son los precios de venta que estuvieron vigentes en el ciclo de corta 2002. Del monto total de ingresos, se descontó el monto correspondiente a gastos de extracción proporcionados por el tabulador de costos de la Sociedad de Productores Forestales del Estado de Quintana Roo. (anexo).

El ingreso por especie se calculó de la siguiente manera:

$$IB_i = (VA_i \text{ m}^3) * (P_{i2003}) *$$

Donde:

IB_i = Ingreso bruto de la especie i ; $i = 1, 2, 3, \dots, 12$

$VA_i \text{ m}^3$ = Volumen aprovechable de la especie i ; $i = 1, 2, 3, \dots, 12$ en m^3

P_{i2003} = Precio de la especie i en el ciclo de corta 2003; $i = 1, 2, 3, \dots, \text{m}^3$

Con los datos por especie, se calculó el ingreso total con la fórmula siguiente:

$$ITB_{2003} = \sum (IB_i)$$

Donde:

$$IBT_{2003} = \text{Ingreso bruto total del área de manejo 2002}$$

Al monto resultante se descontó el monto correspondiente por concepto de costos de extracción, y obtener con esto los ingresos netos totales por aprovechamiento forestal.

Con este resultado y con los del subcapítulo anterior se realizó una comparación de ingresos por aprovechamiento forestal y la venta del servicio ambiental de almacenamiento de carbono. Del resultado se obtuvo la conclusión de este trabajo.

7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1. Cálculo del stock de carbono

7.1.1. Medición de la biomasa

Con la metodología planteada en el capítulo anterior, se procedió a calcular la biomasa de las especies existentes en el bosque tropical de la empresa forestal ejidal Noh Bec.

Las 11 especies seleccionadas fueron las siguientes: Chicozapote (*Manilkara zapota*), Ramon (*Brosimum alicastrum*), Sac chaka (*Dendropanax arboreum*), Caoba (*Swietenia macrophylla*), Chakte kok (*Sickingia salvadorensis*), Chechen (*Metopium brownei*), Paasak (*Simarouba glauca*), Tzalam (*Lysiloma bahamensis*), Katalox (*Swartzia cubensis*), Jabin (*Piscidia communis*) y Chakte viga (*Caesalpinia platyloba*), las cuales representaron en conjunto 105.23 m³/ha, siendo el 70% del volumen total. Se agregó una categoría más como "todas las otras especies", que abarca las demás especies que representan el otro 30%. De estas especies, solo el Chicozapote (*M. zapota*) representa el 32.75% del volumen total, lo que refleja la importancia de esta especie en cuanto a biomasa existente, lo que bien se podría explotar para fines de almacenamiento de carbono, más que para aprovechamiento chiclero o forestal maderable. En el Cuadro 22 se presentan los resultados.

Cuadro 22. Biomasa por especies y total del bosque tropical por hectárea.

Especie	Vol. Tot. (m3/ha)	Dens. Bas. (ton/m3)	Biomasa (ton/ha)	Fact. Exp. Biomasa	Dens. Biomasa (ton/ha)	%
Chicozapote	49.119	0.86	42.242	3.739	157.95	21.64
Ramon	9.797	0.63	6.172	9.896	61.07	8.37
Sac chaka	8.403	0.4	3.361	13.458	45.24	6.20
Caoba	8.340	0.42	3.503	13.180	46.17	6.33
Chakte kok	7.949	0.66	5.246	10.744	56.36	7.72
Chechen	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
Katalox	3.509	1.05	3.684	12.848	47.33	6.49
Jabin	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.

De las especies anteriores, las que tienen una venta segura de cualquier existencia son el Sac chaka (*Dendropanax arboreum*), Caoba (*Swietenia macrophylla*) y el Tzalam (*Lysiloma bahamensis*), sin embargo en el análisis de ingresos por aprovechamiento forestal se incluyó también el Chechen (*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 22, 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 ton/ha, siendo el 21.64% de la densidad de biomasa total del bosque; lo anterior se puede pensar que es debido a la sobreprotección que ha tenido esta especie por parte de los habitantes del Ejido Noh Bec, ya que de esta se extrae el chicle, producto principal y motivo por el cual los pobladores actuales se asentaron en este Ejido; le siguió el Ramón (*B. alicastrum*) con una densidad de biomasa de 61.07 ton/ha, representando el 8.37% de la densidad de biomasa total y en tercer lugar el Chakte kok (*S. salvadorensis*) con 56.36 ton/ha, siendo el 7.72% de la densidad de biomasa total, por mencionar las más importantes. Aunque estas especies no se aprovechan como maderables, su contribución al almacenamiento de carbono es muy importante como se verá más adelante.

Un dato importante a resaltar en la categoría de “todas las otras especies” es que si bien las especies que se ubican en esta no sobresalen por el volumen total por hectarea 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 ton/ha, siendo el 18.37%.

7.1.2. Determinación de contenido de carbono

A continuación se presentan los resultados siguiendo el procedimiento que se describió en la metodología, en el Cuadro 23 se presentan los resultados obtenidos una vez analizadas las muestras.

Cuadro 23. Porcentaje de contenido de carbono por especie

Especie	% Cont. C
Chicozapote	47.89
Ramon	45.08
Sac chaka	47.00
Caoba	48.51
Chakte kok	49.91
Chechen	49.74
Paasak	49.11
Tzalam	47.09
Katalox	51.00
Jabin	48.40
Chakte viga	51.06
Todas las otras especies	48.62

Fuente: Cálculos propios.

Como se puede observar, el porcentaje de contenido de carbono oscila alrededor del 50%, lo que 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.

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.

7.1.3. Conversión de densidad de biomasa a carbono

Teniendo los resultado de densidad de biomasa y el porcentaje de contenido de carbono por especies, se procedió a calcular el contenido de carbono de cada una de estas, para lo cual se empleó la fórmula siguiente:

$$CC_i \text{ (ton/ha)} = (\%CC_i) * DBM_i \text{ (ton/ha)}$$

Donde:

CC_i (ton/ha) = Contenido de carbono de la especie i.

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

DBM_i (ton/ha) = Densidad de la Biomasa de la especie i.

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:

$$CC_T \text{ (ton/ha)} = \Sigma (CC_i \text{ (ton/ha)})$$

Donde:

CC_T (ton/ha) = Contenido de carbono total por hectárea.

En el Cuadro 24 se muestran los resultados. El contenido total de carbono por hectarea fue de 353.341 tonC/ha, que si se multiplica por 600 hectareas que es lo equivalente al area de corta 2003, se tiene un estimado de contenido de carbono por area de corta igual 212004.60 tonC. Tambien se observó que el Chicozapote (*Manilkara zapota*) mostró un contenido total de 75.640 tonC/ha, que representa el 21.41% del total por hectárea, lo cual es consecuencia inmediata de la biomasa existente de esta especie en el predio. Posteriormente le sigue el Chakte kok (*Sickingia salvadorensis*) con 28.131 tonC/ha, representando el 7.96% del total por hectárea y en tercer lugar el Ramón (*Brosimum alicastrum*) con 27.532 tonC/ha, representando el 7.79%.

Cuadro 24. Stock de carbono por especie y total, en toneladas por hectarea.

Especie	Dens. Biomasa (ton/ha)	% Cont.	Carbono (tonC/ha)	% del total
Chicozapote	157.95	0.4789	75.640	21.41
Ramón	61.07	0.4508	27.532	7.79
Sac Chaká	45.24	0.4700	21.261	6.02
Caoba	46.17	0.4851	22.396	6.34
Chakte kok	56.36	0.4991	28.131	7.96
Chechen	45.09	0.4974	22.427	6.35
Paasak	38.94	0.4911	19.125	5.41
Tzalam	36.97	0.4709	17.408	4.93
Katalox	47.33	0.5100	24.139	6.83
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

Fuente: Cálculos propios.

Como se mencionó anteriormente, el Chicozapote (*M. zapota*) en conjunto con la categoría de "todas las otras especies", mantienen un stock total de carbono igual a 140.827 tonC/ha, representando el 40% del stock total por hectarea.

También se puede observar el stock de carbono que mantienen las especies que anteriormente se clasificaron como de venta segura independientemente de la existencia de las mismas, incluyendo al Chechen (*Metopium brownei*); mantienen un stock de 83.492 tonC/ha, 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.

7.2. Valoración de almacenamiento de carbono del bosque tropical de la Empresa Ejidal Forestal Noh bec.

Una vez que se ha obtenido el stock de carbono por hectárea, por especie y el total, el siguiente paso fue valorar este stock en términos monetarios, que es parte del objetivo de esta investigación.

Para tal fin, se consideró el precio de US\$10.00/tonC/ha/año, precio al cual el gobierno de Costa Rica decidió, en 1997, vender certificados de mitigación de emisiones de GEI, por un total de 18 millones de toneladas, a un precio piso de US\$ 10/ton. Los mismos fueron comercializados en Estados Unidos y Noruega, precio que hasta el momento sigue vigente debido a que no se han establecido reglas claras de un mercado de carbono, y que se espera de manera optimista que una vez establecidas, las fuerzas del mercado mejoren los precios. Es importante mencionar que Costa Rica es el único país vendedor certificado a nivel internacional. El valor de US\$10/TonC fue establecido tomando en cuenta

únicamente el costo de oportunidad del cambio en el uso del suelo de ganadería extensiva hacia el sector forestal.

La valoración se realizó obteniendo el producto de stock de carbono en tonC/ha por especie y el total, por US\$10.00 tonC. 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 25 se muestran los resultados.

Cuadro 25. Valoración del stock de carbono en términos de la Moneda Nacional

Especie	Stock tonC/ha	Valor US\$/ha (US\$10.00/tonC)	Valor \$/ ha (US\$1.00 = \$10.00)
Chicozapote	75.640	756.40	7,564.02
Ramon	27.532	275.32	2,753.19
Sac chaka	21.261	212.61	2,126.05
Caoba	22.396	223.96	2,239.59
Chakte kok	28.131	281.31	2,813.05
Chechem	22.427	224.27	2,242.70
Paasak	19.125	191.25	1,912.50
Tzalam	17.408	174.08	1,740.85
Katalox	24.139	241.39	2,413.91
Jabin	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 al stock de carbono que tiene almacenado cada especie, por lo que las observaciones y los porcentajes mencionados para el Cuadro 24 siguen siendo válidos si se analiza en términos monetarios por especie.

Es importante resaltar el valor monetario que tiene en términos de almacenamiento de carbono una hectarea del bosque tropical del ejido equivalente a \$35,334.07 M.N.

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

La compañía MIQRO, concesionaria autorizada por parte del gobierno federal de los bosques tropicales, incluyendo a Noh bec, elaboró un plan de ordenación forestal que especificaba un ciclo de corta de 25 años y diámetros mínimos de 60 cm para caoba y 35 cm para otras especies tropicales. Al término de la concesión en 1983, el ejido Noh-Bec participó activamente en el proyecto denominado Plan Piloto Forestal, por lo que obtuvo permiso de extracción de madera para aprovechar directamente sus bosques. A partir de entonces los aprovechamientos forestales del ejido estuvieron en el marco del Plan de Manejo Integral Forestal elaborado por la Dirección Técnica Forestal de la Sociedad de Productores Forestales Ejidales de Quintana Roo SC (SPFEQR). En este plan de manejo también se estableció un ciclo de corta de 25 años.

Hasta 1998 se ejercieron 15 anualidades con cargo al Plan de Manejo Integral Forestal de la SPFEQR, en este periodo se extrajeron 30,000 m³ de caoba verde y poco más de 20,000 m³ de especies duras y blandas tropicales.

En 1999 el Ejido Noh-Bec se retiró de la SPFEQR, por lo que se actualizó el plan de manejo forestal, del cual se extrajeron los datos utilizados en este trabajo, para mantener vigente el permiso de aprovechamiento durante los próximos 10 años hasta concluir el ciclo de 25. Consecuentemente, el dominio geográfico es la fracción del Área Forestal Permanente todavía no aprovechada en este ciclo, es decir áreas de corta de 1999 a 2008 con una superficie total de 6000 hectáreas. Para elaborar este programa de manejo forestal (PMF) se utilizaron la base de datos de los inventarios que el ejido levantó en 1995 y 1996 con la asesoría del personal técnico de la SPFEQR.

De las 6000 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 3600 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 25 y considerando las 600 hectáreas 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.

Considerando lo concluido por Torres, (2001) en su estudio titulado "Valoración económica de los bienes y servicios ambientales de un bosque tropical", 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 este proporcione los bienes y servicios ambientales. Este monto es semejante al valor que tiene una area de corta anual en términos de almacenamiento de carbono, lo que 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 solo 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 26 se presenta el volumen a aprovechar por grupo de maderas y especies en el área de corta del 2003, estraídos del Cuadro A1 del Anexo.

Cuadro 26. Volumen a aprovechar en el área de corta del 2003 por grupo de especies

Grupo de maderas	Especie	Volumen (m ³)
Preciosas	Caoba	1468
Blandas	Sac chaká	1187
Otras blandas	Amapola	730
	Pasaak	1200
Duras	Chechen	2648
	Tzalam	355
Volumen Total		7588

Fuente: Argüelles, *et al.* 1998.

Considerando los precios a los que fueron vendidos en el 2002 las especies anteriores, Cuadro A2 del anexo, en el Cuadro 27 se presentan los ingresos brutos calculados provenientes del aprovechamiento forestal.

Cuadro 27. Ingreso bruto total por aprovechamiento maderable en el area de corta 2003. L.A.B. Bacadilla

Especie	Volumen (m ³)	Precio \$ / m ³	Ingr. Bruto \$ / M ³
Caoba	1468	3,558.00	5,223,144.00
Sac chaká	1187	1,191.90	1,414,785.00
Amapola	730	1,045.50	763,215.00
Paasak	1200	1,067.00	1,280,400.00
Chechen	2648	1,067.00	2,825,416.00
Tzalam	355	1,071.00	380,205.00
TOTAL	7588		11,887,165.00

Fuente: Cálculos propios

Al analizar los costos de extracción, Cuadro 3 del anexo, estos se diferencian por grupos, siendo el grupo de maderas preciosas el más caro con un costo de \$910.00 M.N./m³ y el más barato el de las duras cuyo costo es de \$733.34 M.N./m³, aunque el costo de extracción de las blandas, \$746.62 M.N./M³, no se diferencia mucho con el último grupo. En el Cuadro 28 se desglosan los costos de extracción de cada una de las especies consideradas como comerciales, así como el costo total por el volumen a aprovechar de cada una de ellas en el area de corta 2003.

Cuadro 28. Costos de extracción de las especies comerciables.

Especie	Volumen (m ³)	Costo de extracción / Costo/m ³	Costo total de extracción
Caoba	1468	910.00	1,335,880.00
Sac chaká	1187	746.62	886,237.94
Amapola	730	746.62	545,032.60
Paasak	1200	746.62	895,944.00
Chechen	2648	733.34	1,941,884.32
Tzalam	355	733.34	260,335.70
TOTAL	7588		5,865,314.56

Resumiendo los datos anteriores se tiene que:

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.

Aunque el ingreso por la venta del servicios ambiental de almacenamiento de carbono no deja de ser sobresaliente, mas importante es el hecho de que si no se aprovecha maderablemente el área de corta del 2003, su valor se sumará al valor del siguiente área de corta 2004 que tampoco se aprovechará, suponiendo que no hay variación en el pago por tonelada de carbono capturado

y, así sucesivamente para el resto de las áreas de corta faltantes para cubrir el ciclo de corta de 25 años. En el Cuadro 29 se observa con claridad el valor que pueden llegar a tener en términos monetarios las 3600 hectáreas faltantes de aprovechamiento al cabo de seis años en el supuesto de hacer contratos de venta del servicio ambiental de almacenamiento de carbono, sin contemplar el valor ecológico y la biodiversidad que acumulara el bosque tropical a lo largo de este periodo.

Cuadro 29. Ingresos en el tiempo que representa vender el servicio ambiental de almacenamiento de carbono, considerando las seis áreas de corta pendientes.

Año	Ingreso (\$)	Acumulado (\$)
2003	21,200,442.00	21,200,442.00
2004	21,200,442.00	42,400,884.00
2005	21,200,442.00	63,601,326.00
2006	21,200,442.00	84,801,768.00
2007	21,200,442.00	106,001,110.00
2008	21,200,442.00	127,202,652.00

Fuente: Cálculos propios

En contraste, en el Cuadro 30 se presentan los ingresos netos anuales en el supuesto de llevar a cabo los aprovechamiento forestales maderables programados en las áreas de corta faltantes para cubrir el ciclo de cortas de 25 años.

Cuadro 30. Ingresos en el tiempo que representa realizar los aprovechamientos forestales pendientes del programa de manejo.

<i>Año</i>	<i>Ingreso (\$)</i>	<i>Acumulado (\$)</i>
2003	6,021,850.44	6,021,850.44
2004	6,021,850.44	6,021,850.44
2005	6,021,850.44	6,021,850.44
2006	6,021,850.44	6,021,850.44
2007	6,021,850.44	6,021,850.44
2008	6,021,850.44	6,021,850.44

Fuente: Cálculos propios

El comportamiento que se observa se debe a que año con año se realizan los aprovechamientos en volumen semejantes y en el supuesto de que no hay incremento en los precios de venta. Lo anterior no permite que los ingresos aumenten, ya que hay que esperar otros 25 años para poder aprovechar nuevamente, por mencionar alguno, el área de corta 2003.

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, en ambos casos solo especies analizadas, Cuadro 31, se observó lo siguiente:

Cuadro 31. comparación de ingresos netos por el aprovechamiento forestal e ingresos por la venta del servicio ambiental de almacenamiento de carbono.

Especie	Ingr. Bruto \$ / M ³	Costo total de extracción	Ingreso neto (Aprob. Forest.)	Ingreso neto (Alm. 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
Chechen	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

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 Chechen, la redituabilidad es menor, cercano a ubicar el ejido en una posición de indiferencia si vender servicios ambientales de almacenamiento de carbono o de explotación forestal, que si se analiza la situación de Tzalam, especie que resulta más redituable para fines de almacenamiento de carbono.

Si se analiza de forma global, conjungando toda 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.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

1. En base a las evaluaciones realizadas y en 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 tonC/ha, que se distribuye de manera diferencial en las diferentes 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 según Brown, 1988, oscilan entre 155 y 160 tonC/ha. Si se multiplica el valor anterior por 600 hectareas, se tiene que un area de corta tiene almacenado aproximadamente 212004.60 toneladas de carbono (tonC).

2. La especie que concentra la mayor cantidad de carbono es el Chicozapote (Manilkara zapota) con un total de 75.640 tonC/ha representando el 21.4% del total por hectarea. Las especies Ramón, Sac chaká, Caoba, Chakte kok almacenan en forma conjunta el 19.52% del total por hectárea. Analizando estas cinco especies, se observa que en conjunto almacenan el 50% de contenido de carbono total. Las otras especies representan el otro 50% de contenido de carbono por hectárea.

3. El ingreso que la Empresa Forestal Ejidal Noh bec 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 area 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 area de corta anual, en este caso para el año 2003, en términos de almacenamiento de carbono es igual a \$21,200,442.00 M.N. el cual es similar a la DAA total del ejido estimado por Torres, (2001) a cambio de no realizar algun 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 un stock aproximado de 6,360,138 tonC, resultando un precio de \$83.33 por tonC., aunque este debería ser de \$100.00 = US10.00. Esta ligera variación se debe a que se trabajó con datos de hectareas promedio, mientras que no necesariamente todas las areas de corta anual tengan un area de 600 hectareas.

6. El ingreso que genera el aprovechamiento forestal por area 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. La relación de costo de oportunidad es igual si se considera el monto total por las seis áreas de corta pendientes, también por los mismos conceptos. 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 es se destinan a 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. Se deriva que el aprovechamiento de las especies maderables abre 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, 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.

8.2. RECOMENDACIONES

1. Utilizando los resultados del presente trabajo, se recomienda al Ejido Noh bec llevar a cabo la gestión que se tiene que hacer para acceder al mercado del servicio ambiental de captura y almacenamiento de carbono.

2. Una vez que la Empresa Forestal Ejidal Noh bec concluya el ciclo de corta de 25 años, debe realizar un nuevo inventario para conocer las condiciones del bosque y calcular nuevamente su contenido de carbono, así como su capacidad de captura de CO₂.

3. El presente estudio debe ser complementario con la cuantificación de la capacidad de captura de carbono del bosque del Ejido, ya que teniendo los datos precisos se puede vender el servicio de captura, cuyo precio es diferente a la valoración económica al de almacenamiento.

4. Es importante realizar prácticas silvícolas para extraer el arbolado viejo y decrepito, cuya capacidad de captura puede ser cero o negativo, con lo cual se permitiría la regeneración del bosque, incrementándose la capacidad de captura y almacenamiento de carbono.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Alfaro, M. M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en ecosistemas forestales. Revista forestal centroamericana. No. 19. Año 6.
2. Anon., 1996; World Resources: A Guide to the Global Environment 1996-1997, Oxford University Press, p. 365
3. Andrasko, K. 1990. Capítulo sobre Silvicultura en D. Lashof y D. Tirpak, eds. Policy options for stabilizing global climate. Informe al Congreso de los E.E. U.U., Washington, D.C., Environmental Protection Agency (inédito, borrador corregido).
4. Andrasko, K. 1990. Climate Change and the global forest sector. Roma, FAO (borrador inédito).
5. Argüelles S. L. A. *et al.* 1998. Programa de manejo forestal para el bosque tropical del ejido noh-bec. Tropica Rural Latinoamericana A.C. Quintana Roo, México.
6. Ben H. J. de Jong. El manejo de bosques y vegetación secundaria para la captura de carbono en Chiapas, México. ECOSUR.

7. Botkin, D. Y Simpson, P. 1990. Biomass of the North American boreal forest: a step toward accurate global measures. Documento presentado a Biogeochemistry, enero de 1990.
8. Brown, S. and A. E. Lugo, 1992. Above ground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17:8-18.
9. Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. FAO. University of Illinois, USA. 55 pp.
10. Brown, S. and A. E. Lugo, 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. *Science* 223:1290-1293.
11. Brown, L., ed. 1988. State of the world 1988. Nueva York, Norton.
12. Brown, S., *et al.* 1989. Biomass Estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35: 881-902.
13. Brown, S., J. Sathaye, M. Cannell, and P. Kauppi, 1996. *Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management*. Commonwealth Forestry Review 75:80-91.
14. Canadell, J. G. *et al.* 1996. The effects of elevated CO₂ on plant-soil carbon belowground: a summary and synthesis. *Plant and soil* 187: 391-400.

15. Ciesla, William M., 1995. Climate change, forests and forest management: an overview. FAO Forestry Paper 126. Forest Resources Division, FAO. Rome, Italy.
16. Dixon, R. K. *et al.* 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263: 185 –190.
17. Eguiluz P. T. *et al.* 1997. Criterios de manejo forestal sustentable para la producción de servicios ambientales. Chapingo, México. 109 pp.
18. Erlich, P. R. & E. O. Wilson. 1991. Biodiversity studies: science and policy. Science 253, pp. 758-762.
19. Fankhauser, S. And Tol, R. 1995. Recent advancements in the economic assesment of climate change costs. Centre for social economis research on the global environment (CSERGE) and Vrije Universiteit, Amsterdam. CSERGE-working papers No. 31. 38 p.
20. FAO. 1990. Unasyuva. Reviste internacional de silvicultura e industrias forestales. Vol. 41, No. 163.
21. FAO, 1997; State of the World's Forests. 1997. Food and agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. P. 200.

22. Gitli E. *Et al.*, 1999. Las negociaciones sobre el cambio climático y Costa Rica. Políticas para los países en desarrollo. Heredia. Costa Rica.
23. Goudie, A., 1990. The human impact on the natural environment. Basil Blackwell Ltd, Oxford, U. K. 3th Edition. 388 pp.
24. Greenpeace. ND. www.greenpeace.org
25. Houghton, R. A., Skole, D. L., Lefkowitz, D. S. 1991. Changes in landscapes of latin America between 1850 and 1985, 2: net release of CO₂ to the atmosphere. *Forest ecology and management* 38. 173-199.
26. Husch B. 2001. Estimación del contenido de carbono de los bosques. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. 18 al 20 de Octubre del 2001. Valdivia, Chile.
27. IUC, 1997. Climate Change Information Kit. UNEP's Information Unit for Conventions.
28. Kohler Pierre. 1991. Historia de nuestro planeta. Primera edición. Madrid, España.
29. Masera O., 1995. Carbon Mitigation Scenarios for Mexican Forest: Methodological Considerations and Results. *Interciencia*, 20:6, 388-395.

30. Mintzer, I. M., 1992. Confronting Climate Change. Risk Implications and Responses. Cambridge, University Press, Cambridge.
31. Nabuurs, G. J. Y G. M. J. Morthen, 1993. Carbon Fixation Through Forestation Activities. A Study or the Carbon Sequestering Potential of Selected Forest Types, Commissioned by the Fundation Face. Report Ibn 93/4. Institute for Forestry and Nature Research, Forests Absorbing Carbondioxyde Emission. Netherlands. 206 pp.
32. Nepstad, D. C. *et al.* 1994. The rcle of deep roots in the hydrological and carbon cycles of the Amazonian forest and pastures. *Nature* 372. 666-669.
33. Ordoñez Antonio. 1999. Estimación preliminar del contenido de carbono para el Ejido de San Pedro Jacuaro, Michoacán, México. Instituto de Ecología. UNAM. México.
34. Ortiz, R. *et al.* Evaluación económica del servicio de sumidero de carbono en diferentes ecosistemas forestales. CATIE. Costa Rica.
35. Reyes, G., S. Brown, J. Chapman, and A. E. Lugo, 1992. *Wood densities of tropical tree species. USDA Forest Service, General Technical Report SO-88, Southern Forest Experiment Station, New Orleans, Louisiana, USA.*

36. Sarukhán K. J. 1968. Los tipos de vegetación arborea de la zona cálida húmeda de México. En Pennington, T. D. Y Sarukhan K. J. Arboles tropicales de México. FAO. México. 250 pp.
37. Salati, E., 1990. Los Posible Cambios Climáticos en America Latina y el Caribe y sus Consecuencias. Report # 90-7-1223, Naciones Unidas and Comision Económica para America Latina y el Caribe-CEPAL. Santiago de Chile, 12-14 de Septiembre, 45 pag.
38. Soliz B., *et al.* 1998. El balance de carbono y su valor económico en un bosque subhúmedo estacional de Santa Cruz, Bolivia. CATIE. Costa Rica.
39. Smith, T. M. *et al.*, 1993. The global terrestrial carbon cycle. Water, air and soil pollution, 70 pp. 19-37
40. Schneider, S. H. 1990. The Changing Climate. In: Managing Planet Earth: Readings from Scientific American magazine. Freeman, N. Y., USA.
41. Shine, K. P., R. G. Derwent, D. J. Wuebbles & J. J. Morcrette, 1990. Radiative Forcing of Climate. In: J. T. Houghton, G. J. Jenkins and J. J. Ephraums (eds). Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.

42. Torres P. J. Antonio. 2001. Valoración económica de los bienes y servicios ambientales de un bosque tropical. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 134 pp.
43. Trexler, M.C., Haugen, C. 1994. Keeping it green: evaluating tropical forestry strategies to mitigate global warming. Washington, D.C., World Resources Institute.
44. UNEP/GEMS, ONU. 1992. Los gases que producen el efecto de invernadero (Cambio Climático Global). Libros del medio ambiente.
45. World Commission on Forest and Sustainable Development. 1998; Our Forests... Our Future. March report. WCFSD Secretariat. Winnipeg. P. 126.
46. Winjum, J. K.; Dixon, R.K.; Schroeder, P.E. 1992. Estimating the global potential of forest and agroforest management practices to sequester carbon. Water, air and soil pollution 64: 213-227.
47. World Commission on Forests and Sustainable Development, 1998; Our Forests ... Our Future, March report, WCFSD Secretariat, Winnipeg; p. 126
48. <http://org.eea.eu.int/documents/newsreleases/newsrelease20010423-es>
49. <http://www.ecosur.mx/scolel/cglobal.htm>

ANEXOS

Cuadro A1. Volumen a aprovechar por grupo de maderas y especies en el área de corta del 2003

Estimación de producción (confiabilidad 90%) – Area de corta 2003						
	Arboles			Volumen (m³)		
	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media
Preciosas	412	694	553	1,008	1,928	1,468
Amapola	72	529	301	119	1,340	730
Sac chaka	1238	2,375	1,806	775	1,598	1,187
Otras blandas	1327	2,485	1,906	805	1,595	1,200
Chakte kok	903	1,905	1,404	437	1,013	725
Chechen	2,262	3,963	3,113	1,876	3,421	2,648
Jabín	-33	234	100	-39	274	118
Katalox	931	1,884	1,408	812	2,316	1,564
Tzalam	72	529	301	53	657	355
Chicozapote	3,806	5,636	4,721	6,561	10,164	8,363
Ramón	770	1642	1,206	493	1,091	792
Total	11,760	21,876	16,819	12,900	25397	19,150

Fuente: Argüeles, 1998

Cuadro A2. Tabulador de precios / m³ del año 2002

Especies	Limpio (\$/M3RFSC)	Fuste limpio clasificado (\$/ME3RFSC)
Amapola	950.50	1045.50
Sac chaka	1083.60	1191.90
Chaka	951.00	1144.50
Paasak	889.00	1067.00
Chechen	889.00	1067.00
Tzalam	892.00	1071.00
Katalox	882.00	1067.00
Chakte kok	889.00	1067.00
Granadillo	2761.00	3175.00
Javin	889.00	1067.00
Chakte viga	869.00	1067.00
Yaaxnik	889.00	1067.00
Caoba	3234.00	3558.00
Machiche	889.00	1067.00
Pucte	889.00	1067.00
Bayo	889.00	1607.00
Bari	950.00	1195.00

Fuente: Sociedad de Productores Forestales Ejidales de Quintana Roo S.C.

Cuadro A3. Tabulador de costos / m³ del año 2002

Concepto	Preciosas	Blandas	Duras
Administración	65.20	60.98	48.05
Trabajos de campo			
Control, combate de incendios y clandestinaje	10.40	7.16	7.16
Cuadrículas	6.47	6.24	6.12
Monteo	12.47	12.13	12.13
Marqueo	1.39	1.39	1.39
Tumba y despunte	34.07	33.61	33.50
Cubicación y saneo	12.13	12.01	12.13
Documentación	9.24	9.24	9.24
Enriquecimiento del área	18.83	18.83	18.83
Producción de plantas (vivero)	19.40	9.70	9.70
Subtotal	124.39	109.81	109.49
Arrastre			
Construcción de caminos	34.65	34.65	34.65
Construcción de bacadillas	5.78	5.78	5.78
Arrastre	207.90	207.90	207.90
Subtotal	248.33	248.33	248.33
Impuestos y cuotas forestales	196.12	51.51	51.51
Carga	83.51	83.39	83.16
Transporte	192.4	192.8	192.80
TOTAL	910.41	746.62	733.34

Fuente: : Sociedad de Productores Forestales Ejidales de Quintana Roo S.C.

IMPRESA ANHER

IMPRESIONES & ENCUADERNACIONES

FRAY PEDRO DE GANTE No. 118-D
TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

