



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

INCORPORACION DE LA CAPTURA DE CARBONO  
COMO PROPUESTA DE MANEJO FORESTAL  
INTEGRAL: ESTUDIO DE CASO EN UNA  
COMUNIDAD DE LA MESETA PUREPECHA,  
MEXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A :

MARCELA ITZEL OLGUIN ALVAREZ



FACULTAD DE CIENCIAS  
UNAM

DIRECTORES DE TESIS: DR. ALEJANDRO VELAZQUEZ MONTES

DR. OMAR MASERA CERUTTI



FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCION ESCOLAR

291739



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**MAT. MARGARITA ELVIRA CHÁVEZ CANO**  
**Jefa de la División de Estudios Profesionales de la**  
**Facultad de Ciencias**  
**Presente**

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis: Incorporación de la  
captura de carbono como propuesta de manejo forestal integral:  
estudio de caso en una comunidad de la meseta Purépecha, México.

realizado por Marcela Itzel Olguín Alvarez

con número de cuenta 9455538-5 , pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis

Propietario Dr. José Alejandro Velázquez Montes

Propietario Dr. Gerardo Bocco Verdinelli

Co-Director de Tesis

Propietario Dr. Omar Raúl Masera Cerutti

Suplente M. en C. Gonzalo Cortez Jaramillo

Suplente Dr. Alejandro Jorge Toledo Ocampo

FACULTAD DE CIENCIAS

Consejo Departamental de Biología

*Edna María Suárez Díaz*

Dra. Edna María Suárez Díaz

DEPARTAMENTO  
DE BIOLOGÍA

Esta tesis mía  
con cariño la dedico,  
por su esfuerzo día a día  
a mis padres tan queridos

A mis abuelas y mis abuelos,  
personas sabias y distinguidas  
con sus historias, con sus vidas,  
enseñaron nuestros caminos

Gracias Carlos, María y Gabriela,  
gracias amigos y amigas,  
gracias ¡ay Andrés mío!,  
que ya me voy, que ya me despido  
que les doy gracias por su cariño,  
que no se acabe, que siga vivo

*...“Después de dos semanas de temblores en los que se organizaron rogativas y rosarios, el 20 de febrero de 1943 surgió el volcán Parícutín, a cinco kilómetros al sur de San Juan, en medio de ruidos y lenguas de fuego. Temblaron tanto la tierra y los cimientos que las campanas repicaron sin que hombre alguno les ordenase. Nadie sabía a ciencia cierta qué pasaba y las primeras interpretaciones hablaban de un castigo divino”...*

Las historias y los hombres de San Juan

César Moheno

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Alejandro Velázquez y Gerardo Bocco por haberme involucrado y entusiasmado tanto en este trabajo. Por tantas alegrías en el campo, por tantas pláticas. Por su amistad y por su cariño.

Gracias también a Omar Masera, por haberle dado una nueva perspectiva al trabajo de tesis. Por haberme integrado al Laboratorio de Bioenergía, donde terminó esta odisea y comenzaron otras más. Gracias sinceramente.

Un especial reconocimiento a Gonzalo Cortez quien siempre estuvo dispuesto a colaborar como asesor y buen amigo. Sin él no se hubiese podido consolidar toda la información forestal.

A Alejandro Toledo, porque a pesar de que no pudimos coincidir tanto en el tiempo, sí en el espacio de las ideas. Gracias por tu confianza.

A Cristina Siebe por permitirme utilizar datos no publicados sobre estudios de suelo en Nuevo San Juan. A Manuel Mendoza y Jesús Junco por su paciente ayuda en el uso del Sistema de Información Geográfica. A Benjamín Ordoñez por la información proporcionada sobre algunos parámetros del modelo de CO<sub>2</sub> Fix.

A la Dirección Técnica Forestal de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, por todas las facilidades brindadas para la realización del proyecto.

Al programa de becas de licenciatura PROBETEL-Fundación UNAM, a la Fundación TELMEX y DGAPA, por su apoyo económico. También al proyecto de "Sinecología de ecosistemas montanos mexicanos: un enfoque deductivo-inductivo para la conservación de los recursos naturales renovables", el cual fue coordinado por el Laboratorio de Biogeografía y Sinecología de la Facultad de Ciencias, UNAM.

A Andrés Valle, por las revisiones al manuscrito y la ayuda logística para la presentación de la tesis.

A Janik Granados y Rolando Prado. Sin ustedes no hubiese podido realizar la mayor parte de mi estancia en Morelia. Gracias por su hospitalidad y solidaridad. Gracias al "consulado chilango" en Michoacán.

A mis compañeros del Laboratorio de Biogeografía y Sinecología de la Facultad de Ciencias. Queridos Lucy, Tammo, Ale-Ale, Mario "machetes", Char, Joaquín, Sony, Hector, Marta y Mardo, se les extraña.

Un profundo agradecimiento a mis amigos del Laboratorio de Geoecología del DERN, Chucho, Manuel, Erna, Ale, Paco, Chente, Juan, Otoniel, Gonzalo y Lorenzo (gracias por el papel para imprimir la tesis). Siempre me acordaré de sus bromas, sus consejos, los bailongos, pero sobretodo de su calidad humana.

A mis compañeros del Laboratorio de Bioenergía del DERN. Porque no he dejado de aprender tantas cosas junto a ustedes. Gracias en especial a René y Alejandro, mis queridos ángeles de la guarda. También a los GIRAdos Tamara y Rodolfo, por su fraterna disposición para ayudar.

A Juan Manuel Rodríguez, por su amistad y toda la orientación proporcionada durante mi estancia en la facultad. Así también a Dora y a Lety.

A José Luis Alvarez, Oscar Sánchez y Polo, maestros admirados y muy queridos.

A la fauna de la Facultad de Ciencias y bichos anexos, entre los que destacan, el Tapir, la Burra, la Loro, la Cuca, la Rata, la Ardilla, el Caballo, los Borregos, el Mau, la Sarigüey, la Merluza, el Dago, la Cubo, la Marcianita y la Leoncia. Gracias, porque han hecho mi vida muy dichosa.

## RESUMEN

---

El cambio de uso de suelo y la deforestación son procesos relacionados con problemas de trascendencia mundial como el aumento de los gases de efecto invernadero y el Cambio Climático. Lo nocivo de sus efectos ha hecho necesario el diseño e implementación de una gran variedad de mecanismos y opciones de mitigación, en donde el manejo de las áreas forestales se ha visto como parte del problema pero también de la solución. Entre los principales retos para llevar a la práctica estas opciones están las dificultades metodológicas para cuantificar el nivel de beneficios ambientales, ecológicos y socioeconómicos de estos proyectos, así como la participación comprometida de científicos, políticos y poseedores de los recursos.

El presente estudio se desprende como un anexo al trabajo desarrollado en coparticipación entre una comunidad de la Meseta Purépecha, la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP), y los Institutos de Ecología y Geografía de la UNAM. El objetivo del trabajo fue explorar nuevas alternativas conjuntas para el manejo forestal de la CINSJP, mediante la estimación del contenido de carbono a largo plazo de los subrodiales con *Pinus pseudostrobus*. A partir de la selección de variables dasométricas, fisiológicas y de manejo de esta especie y con el empleo del modelo de captura de carbono CO<sub>2</sub> Fix, se calculó la densidad y el contenido total de carbono para dos calidades de aprovechamiento forestal. Esta información se relacionó con el mapa de rodales y subrodiales de la comunidad, lo que permitió distinguir entre regiones de alta (237 tonC/ha) y moderada (216 tonC/ha) densidad de carbono. Otro aspecto evaluado en el estudio fue el balance total de carbono conforme a los siguientes escenarios a 100 años: 1) un escenario de preservación, en donde no se realicen procesos de cosecha o aclareo y 2) un escenario de manejo alterno, en donde la producción forestal se oriente a la elaboración de materiales de larga duración (v.g. muebles). Bajo el primer escenario el contenido de carbono para la calidad alta oscila entre 228 y 283 tonC/ha, mientras que en la moderada varía entre 205 y 251 tonC/ha. En cambio, en el escenario de manejo alterno se alcanza un valor de 247 tonC/ha en la calidad alta y de 224 tonC/ha en la calidad moderada. A partir de estos escenarios se propone al servicio ambiental de captura de carbono como una opción de manejo forestal complementaria al aprovechamiento de madera, principal actividad de la CINSJP.



7.6.Representación espacial .....	40
7.7.Escenarios .....	41
8.Resultados .....	43
8.1. Base de datos: calidad de sitio e incremento corriente anual .....	43
8.2. Tablas de crecimiento .....	43
8.3. Balance de carbono: contenido total y por hectárea .....	46
8.4. Escenarios de Preservación y Manejo .....	50
9.Discusión y Conclusiones .....	58
9.1. El contenido de carbono en <i>Pinus pseudostrobus</i> .....	58
9.2. Los escenarios de conservación y manejo alternativo en la CINSJP .....	58
9.3. El modelo de CO <sub>2</sub> Fix y esta experiencia .....	61
9.4. La valoración de la captura de carbono y el manejo forestal .....	63
10..Literatura Citada .....	65

#### ANEXOS

Anexo A Características de <i>Pinus pseudostrobus</i> .....	72
Anexo B. Cronología de los convenios y organismos establecidos a nivel internacional y nacional en torno al Cambio Climático .....	73

## INTRODUCCIÓN

---

En la actualidad, la inadecuada utilización de los recursos naturales, la desigualdad social y económica tanto entre los países como al interior de ellos, así como el riesgo de un colapso ecológico, son pruebas de que la humanidad enfrenta una gran crisis mundial (Leff, 1998). La comunidad científica interesada en resolver esta situación ha admitido que los efectos nocivos presentes, tanto a escala local como global, son el resultado histórico de la relación del ser humano con la naturaleza, pero sobretodo de la racionalidad económica que ha imperado en las formas de apropiación de esta última (Hoffmann, 1996).

Existen elementos que sugieren que ya desde los inicios de la ocupación y expansión de la humanidad sobre los ecosistemas de la Tierra, ésta pudo haber desencadenado importantes transformaciones; por ejemplo, en la desaparición de ciertos géneros de mamíferos herbívoros (Toledo, 1998). Sin embargo, los efectos antropogénicos más severos causados a su entorno natural, tienen su origen en el modelo básico de desarrollo económico que comenzó a promoverse a finales del siglo XVIII (Challenger, 1998). A partir de entonces, la industrialización de las sociedades propició que los recursos naturales fuesen vistos como simples insumos o factores de producción, lo que sin duda llevó en las décadas posteriores a la simplificación y contaminación de los ecosistemas (Challenger, 1998).

Hoy se reconoce que para frenar este serio proceso de degradación ambiental, es necesario comprender e integrar de forma sistemática diversos factores humanos, ecológicos y económicos. De hecho desde la elaboración del Informe Brundtland en 1987 con "Nuestro Futuro Común" y más tarde con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo y Ambiente en Río en 1992, los representantes de más de 100 países han acordado estrategias comunes para alcanzar un *desarrollo sustentable* (Panayotu, 1994).

Un caso prioritario del desarrollo sustentable es el referente al manejo de los ecosistemas forestales (GEF-UNEP, 1999). Los bosques del mundo cubren un total de 3,454 millones de hectáreas, es decir 25% del planeta (FAO, 1999), pero sufren una pérdida anual cercana al 0.5% (GEF-UNEP, 1999). Las graves consecuencias de su disminución, como la pérdida de la biodiversidad y el aumento de gases de efecto invernadero (Vitousek, 1994), ha incentivado a nivel mundial al establecimiento de acuerdos generales sobre el manejo y preservación de todos los tipos de bosques (Dixon *et al.*, 1993; FAO, 1999). La diversificación del manejo de los bosques naturales destinados a la producción de madera (FAO, 1999) y el reconocimiento y la valoración económica-ecológica de sus bienes y servicios ambientales, constituyen algunos de sus principales desafíos.

Recientemente, ante la gravedad del posible cambio climático, los bosques han adquirido mayor importancia en su papel como sumideros del CO<sub>2</sub> atmosférico. Este tema tiene alta prioridad considerando sus implicaciones ecológicas, socioeconómicas y políticas, tanto en el ámbito global como local:

- a) *Escala global*: Los bosques son el segundo elemento importante asociado a la emisión y absorción del CO<sub>2</sub> (principal promotor del efecto invernadero y el cambio climático), debido a su capacidad de acelerar o revertir, según sea su manejo, el incremento de este gas en la atmósfera (FAO, 1999). Si bien la deforestación y el deterioro de los bosques tropicales ocasionan que los bosques del mundo sean actualmente fuente neta de carbono, estas regiones son a la vez las que concentran el 80% del potencial total de captación y conservación de carbono (Beaumont y Merenson, 1999).

Con la firma del Protocolo de Kioto (PK) y bajo el Mecanismo para el Desarrollo Limpio (MDL), los países industrializados pueden compensar algunas de sus emisiones mediante el comercio internacional de reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero en proyectos forestales con

países no industrializados (art. 12 PK). El potencial estimado del MDL es de entre 144 y 723 MtonC año<sup>-1</sup> (MtonC= 10<sup>6</sup>tonC), con un precio de venta de US\$13-42 y un costo menor de los US\$10 por tonelada de carbono capturada por proyecto (Beaumont y Merenson, 1999). De estos proyectos una gran parte se realiza en Latinoamérica (Beaumont y Merenson, 1999).

- b) *Escala nacional*: México es el mayor emisor de CO<sub>2</sub> en Latinoamérica (FAO, 1999) y la pérdida de su cobertura forestal la segunda causa más importante de emisión (Maser *et al.*, 1997). Sin embargo, en el total de hectáreas forestales (incluyendo vegetación semiárida), almacena hasta 8600 tonC, cifra superior a las emisiones globales anuales de CO<sub>2</sub> de origen antropogénico (Maser *et al.*, 1997). El 95% del manejo forestal se realiza en bosques primarios, siendo el 80% de los poseedores de estos recursos comuneros y campesinos (Carabias *et al.*, 1994; Thoms y Betters, 1998). Y aunque el 72% del suelo es de vocación forestal (INE-SEMARNAP, 2000), solo un tercio de los bosques maderables son aprovechados para ese fin (INE-SEMARNAP, 2000).
- c) *Escala regional*: En nuestro país los patrones de deforestación varían notablemente por regiones (Bocco *et al.*, 1999). La región de la Meseta Purépecha es una de las más afectadas, pues se encuentra en el estado con la mayor tasa de deforestación en bosques templados del país (Maser *et al.*, 1998 y Bocco *et al.*, 1999). En menos de medio siglo la cobertura forestal de la Meseta Purépecha disminuyó en un 50% (Mas-Porrás, 1992), quedando en 1993 una superficie de 175,532 ha (Maser *et al.*, 1997). Un gran número de sus habitantes son indígenas, dedicados principalmente a actividades forestales; empero, las condiciones de pobreza en la que muchos viven hace que migren a los Estados Unidos en busca de mejores oportunidades (Carabias *et al.*, 1994; Maser *et al.*, 1998; Velázquez *et al.*, en prensa).

El presente trabajo de tesis es parte de un proyecto de investigación y colaboración conjunta entre una comunidad indígena de la Meseta Purépecha, la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP), y un grupo de especialistas de los Institutos de Geografía y Ecología de la UNAM. Utiliza un enfoque espacial, análisis integral del paisaje, como marco para la propuesta de vías alternas en el uso sostenible de los recursos forestales (Velázquez *et al.*, en prensa). En este caso en la generación de los elementos iniciales (estimación del contenido de carbono y escenarios alternos) para la valoración del servicio ambiental de captura de carbono.

La CINSJP depende principalmente de la actividad forestal y debido al aprovechamiento integral y diversificado de sus bosques, ha recibido varios reconocimientos a nivel nacional e internacional (Álvarez-Icaza, 1993). Incluso sus productos forestales cuentan desde 1998 con el *Sello Verde*, una certificación avalada por el Consejo Silvícola Mundial que les reconoce y compromete a mantener un manejo forestal sustentable (Velázquez *et al.*, en prensa). El interés de la CINSJP por participar en mercados que implican un manejo forestal integral, también ha permitido realizar en la zona actividades de ecoturismo, educación ambiental y estudios sobre el uso de suelo y la conservación de flora y fauna (ver los trabajos de Ortiz, 1997; Reyna, 1998; Rosete, 1998; Lobato, 1999; Fregoso, 2000; Sánchez, 2000; Cortez, en preparación, Chávez, en preparación; Torres, en preparación; entre otros).

Por último, este trabajo parte de la premisa de que la planificación de los recursos naturales debe realizarse conforme a las características de cada lugar y a los intereses de sus propios manejadores. Sin embargo, espera ser un ejemplo que contribuya en alguna forma a la promoción de alternativas para el uso y conservación de los bosques templados en otros sitios, que hoy todavía descansan bajo el manejo de una importante población nacional indígena y campesina.

## HIPÓTESIS

---

El servicio ambiental de captura de carbono constituye una alternativa de manejo de recursos naturales, que es compatible con la actividad forestal favoreciendo un uso sostenible.

## OBJETIVOS

---

### *Objetivo General*

- ◆ Ampliar el espectro del manejo forestal de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro a mediano y largo plazo, mediante la estimación de la densidad de carbono en la superficie forestal con *Pinus pseudostrobus*.

### *Objetivos Particulares*

- ◆ Calcular el contenido de carbono por superficie total y por hectárea en las unidades de manejo (subrodales) con *Pinus pseudostrobus*.
- ◆ Generar escenarios alternos de manejo y preservación considerando el servicio ambiental forestal de captura de carbono.
- ◆ Establecer los criterios básicos para la incorporación de un modelo espacio-temporal de la captura de carbono dentro del plan de manejo forestal.

## HIPÓTESIS

---

El servicio ambiental de captura de carbono constituye una alternativa de manejo de recursos naturales, que es compatible con la actividad forestal favoreciendo un uso sostenible.

## OBJETIVOS

---

### *Objetivo General*

- ◆ Ampliar el espectro del manejo forestal de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro a mediano y largo plazo, mediante la estimación de la densidad de carbono en la superficie forestal con *Pinus pseudostrobus*.

### *Objetivos Particulares*

- ◆ Calcular el contenido de carbono por superficie total y por hectárea en las unidades de manejo (subrodas) con *Pinus pseudostrobus*.
- ◆ Generar escenarios alternos de manejo y preservación considerando el servicio ambiental forestal de captura de carbono.
- ◆ Establecer los criterios básicos para la incorporación de un modelo espacio-temporal de la captura de carbono dentro del plan de manejo forestal.

## MARCO TEÓRICO

---

A continuación se presenta un panorama general sobre la valoración de los recursos naturales, desde la perspectiva histórica de la racionalidad económica y desde la visión ecológico-económica de los bienes y servicios ambientales. Se hace especial énfasis en el papel de los bosques en la captura de carbono, como un servicio ambiental clave a la luz de los efectos del cambio climático global. Finalmente, se proporciona información sobre las opciones y mecanismos de mitigación que se han establecido desde la firma del Protocolo de Kioto, destacando los requisitos para la implementación de proyectos forestales en el marco del Mecanismo para el Desarrollo Limpio.

### 5.1. La valoración de los recursos naturales

#### 5.1.1. Consideraciones generales

Los elementos naturales que conforman a un ecosistema (recursos bióticos y abióticos) así como las interacciones que ocurren entre éstos (procesos ecológicos), constituyen un factor determinante en la formación y establecimiento de cualquier sociedad humana. Cada grupo cultural aprovecha de manera directa como indirecta la gama de funciones ecológicas presentes en su entorno natural (Scott *et al.*, 1998), lo que no sólo garantiza su bienestar inmediato, sino que promueve en ellos la creación de una serie de *valores* al respecto (GEF-UNEP, 1999).

La valoración de la naturaleza implica la resolución de temas filosóficos fundamentales respecto al establecimiento de un contexto socio-cultural, la definición de objetivos y de sus preferencias (Daily, 1997). De esta manera, la caracterización de la biodiversidad y otros servicios en el ambiente no constituye únicamente una propiedad de los sistemas biológicos, sino también de los culturales (Toledo, 1998).

Uno de los factores más importantes del deterioro ambiental y pérdida de la biodiversidad actual, ha sido el valor que las sociedades les han asignado en términos de su utilidad económica (Daly, 1997). De hecho, con la industrialización de las sociedades se consolidó un sistema económico en donde la valoración de los recursos naturales fue subordinada a la producción y consumo masivo de éstos (Challenguer, 1998).

Entre los elementos que han dominado esta visión destacan:

- a) *El creer que los recursos naturales son ilimitados.* Se refiere a la visión judeocristiana en donde el hombre se considera "amo de la naturaleza". Max Weber (1904) atribuyó esta creencia como base del pensamiento de la economía capitalista (Weber, 1904 citado en Challenguer, 1998, p.728)
- b) *El perseguir la eficiencia económica sin importar los costos sociales.* Este aspecto se relaciona con la eficiencia económica de un proceso de producción. Es decir, se refiere únicamente a los beneficios netos maximizados generados de este proceso, sin distinguir qué personas acumulan los beneficios y por ende no importa la equidad social (Field, 1995)
- c) *El seguir un sistema económico con fallas de mercado.* Se refiere a que los costos sociales y ambientales derivados de los procesos de producción no son reflejados en las transacciones monetarias o de mercado (Azqueta, 1994; Belausteguigoitia y Soriano, 1996; Challenguer, 1998). Un ejemplo es la calidad ambiental, que por considerarse un bien público y no tener un lugar definido en el mercado, se emplea y degrada sin que por ello exista alguna compensación (Field, 1995; ver también "The tragedy of the commons" de Hardin, 1968).

### 5.1.2. Bienes y servicios ambientales

Desde la celebración de la "Cumbre de la Tierra" en Río de Janeiro, se enfatizó que a fin de alcanzar la conservación y manejo sostenible de los recursos naturales es necesario generar estructuras que internalicen los costos y beneficios de los procesos productivos en los sistemas de mercado (Montoya *et al.*, 1995). En este sentido varios autores han coincidido en incorporar una perspectiva integral económico-ecológica, basada principalmente en los bienes y servicios ambientales (BSA) (McNeely, 1988; Constanza, 1991; Bingham *et al.*, 1995; Belausteguigoitia y Soriano, 1996; Daily *et al.*, 1996; FAO, 1999). El reconocimiento de los BSA, además de establecer un valor económico a los beneficios que la naturaleza brinda de forma gratuita, alerta a las sociedades sobre pérdidas de elementos y funciones ecológicas que son sustento de la actividad económica y de su propio bienestar (Daly *et al.*, 1996).

Los BSA son diferentes entre sí. Mientras los bienes ambientales son producto de las funciones ecológicas (v.g. alimentos y agua), los servicios son los atributos de éstas; por ejemplo, ciclaje de nutrientes, formación y retención del suelo, flujo y almacenamiento del agua (Constanza *et al.*, 1997; Scott *et al.*, 1998) (Cuadro 5.1). Sin embargo ambos dependen de la estructura y diversidad presente en cada ecosistema (Christensen y Franklin, 1997), por lo que la cantidad y la calidad de los BSA se pone en peligro al deteriorarse los procesos u otros elementos de base que mantienen las condiciones óptimas de los ecosistemas (Scott *et al.*, 1998).

### 5.1.3. Valor Económico Total

Dependiendo de si los BSA son consumidos directamente, de su importancia en el sostenimiento de la vida y de su capacidad para proveer valores éticos y culturales, se han agrupado en cuatro clases: valor de uso directo, valor de uso indirecto, valor de opción y valor de existencia (Belaustiguigoitia y Soriano, 1996). Esta clasificación se conoce dentro de la economía ambiental como Valor Económico Total (Figura 5.1).

Cuadro 5.1. Lista de funciones, bienes y servicios ambientales (Constanza *et al.*, 1997)

Número	Función	Bien o servicio
1	Regulación de la composición química atmosférica	Regulación de gases
2	Regulación de la temperatura global, la precipitación y otros procesos biológicos mediados por el clima a niveles local o global	Regulación del clima
3	Amortiguamiento e integridad de los ecosistemas en respuesta a las fluctuaciones ambientales	Regulación de disturbios
4	Regulación de flujos hidrológicos	Regulación del agua
5	Almacenamiento y retención del agua	Provisión de agua
6	Retención del suelo dentro de un ecosistema	Control de la erosión y retención de los sedimentos
7	Procesos de formación del suelo	Formación del suelo
8	Almacenamiento, ciclaje interno, procesamiento y adquisición de nutrientes	Ciclaje de nutrientes
9	Recuperación de nutrientes móviles y remoción de compuestos xénicos	Tratamiento de residuos, basura.
10	Movimiento de gametos de la flora	Polinización
11	Regulaciones tróficas dinámicas de las poblaciones	Control biológico
12	Hábitat para poblaciones residentes y pasajeras	Refugio
13	Porción de la producción primaria bruta extraíble como comida	Comida
14	Porción de la producción primaria bruta extraíble como materia prima	Materias primas
15	Fuente de materiales y productos biológicamente únicos	Recursos genéticos
16	Ofrecimiento de oportunidades para actividades recreativas	Recreación
17	Ofrecimiento de oportunidades para usos no comerciales	Valores estéticos, artísticos, científicos, entre otros

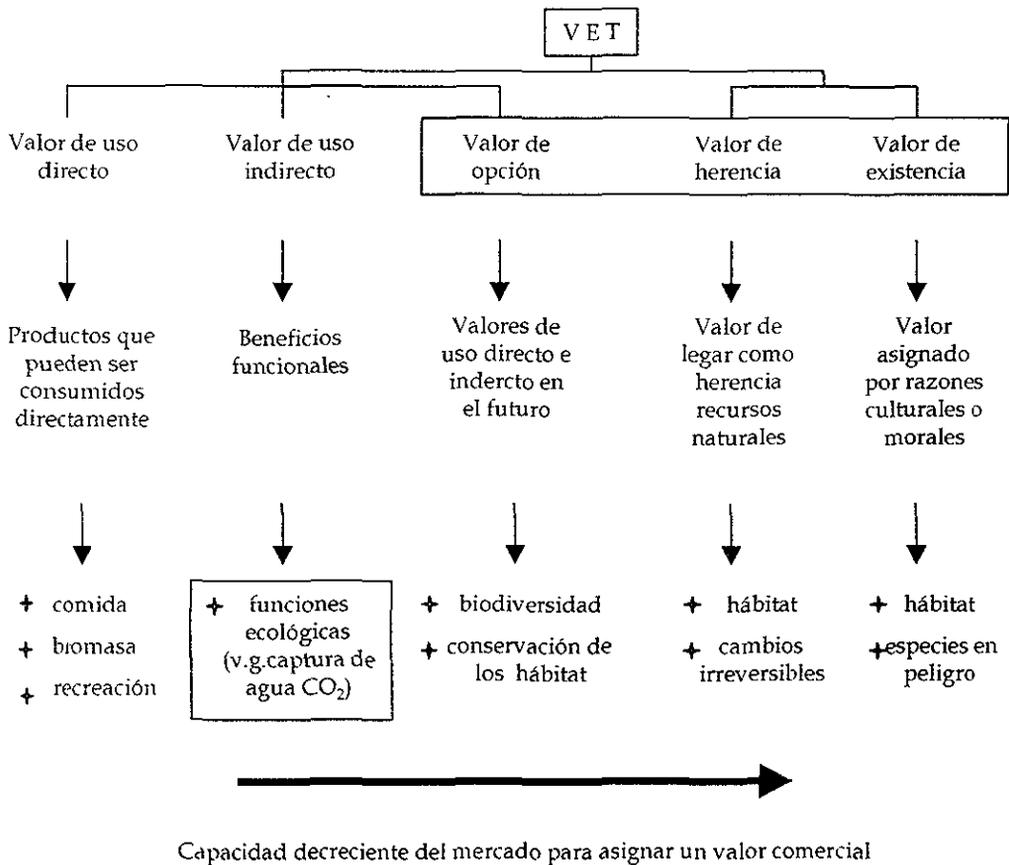


Figura 5.1. Valor Económico Total. Los valores de herencia y existencia son considerados dentro de los de no uso (Belausteguigoitia y Soriano, 1996). En el presente trabajo se aborda el caso de un valor de uso indirecto.

El Valor Económico Total es un concepto que señala los costos o beneficios de un cambio en los componentes y funciones del ambiente. Para ello considera tres características estructurales de los BSA que son: la *irreversibilidad*, una vez que se eliminan los BSA, tienen poca probabilidad de regeneración; la *incertidumbre*, es difícil estimar los costos de su desaparición; y en el caso de los valores de existencia la *unicidad*, pues existen atributos que son considerados únicos (Toledo, 1998).

Una de las fuentes de mayor número de servicios ecológicos reconocidos son los ecosistemas forestales (Constanza, 1991; Montoya *et al.*, 1995; Hoffman, 1996). Recientemente, los bosques han recibido gran atención debido a su potencial para mitigar el exceso de las emisiones del CO<sub>2</sub> a la atmósfera y su repercusión en un cambio climático global.

## 5.2. Los bosques y el Cambio Climático Global

### 5.2.1. El efecto invernadero

El clima global y en especial la temperatura están reguladas por la composición y abundancia de ciertos gases presentes en la atmósfera llamados gases de efecto invernadero (v.g. H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub> y HFCs). Estos gases absorben y remiten la radiación infrarroja, que emite la superficie terrestre al calentarse con la energía solar, formando una capa en la atmósfera inferior de mayor temperatura que el exterior (CMNUCC, 1992; Beaumont y Merenson, 1999; Masera *et al.*, 2000). De no ocurrir este fenómeno, llamado *efecto invernadero*, la temperatura de la superficie terrestre sería de -18°C. Es decir, 33°C menos de lo que es actualmente, con lo cual no existirían las formas de vida que hoy conocemos (Masera, 1999; Beaumont y Merenson, 1999).

Con la revolución industrial, algunos de los gases de efecto invernadero (GEI) incrementaron su concentración en la atmósfera desequilibrando el balance de los flujos entre ésta y la Tierra (Masera, 1999). A este cambio en la composición de los GEI en la atmósfera y su posible relación con el aumento de la temperatura mundial, se le conoce como *Cambio Climático* (CMNUCC, 1992; Masera, 1999). De hecho, en los últimos 120 años la temperatura promedio de la Tierra aumentó cerca de 0.5 grados Celsius (INE-SEMARNAP, 2000), mientras la concentración de algunos GEI como el bióxido de carbono y el metano aumentaron respectivamente en un 25% y en un 100% (Beaumont y Merenson, 1999).

Si bien aún no se tiene completa certeza sobre las consecuencias de estas modificaciones al finalizar el presente siglo, se han pronosticado, entre otros cambios importantes, la alteración de los patrones estacionales y de la precipitación mundial, la elevación en el nivel del mar de entre 0.2 a 0.95 metros, así como cambios en el crecimiento y la distribución de especies vegetales (Bazzaz *et al.*, 1990; Bazzaz y William, 1991; Vitousek, 1994; Masera 1999; INE-SEMARNAP, 2000). Sobre este último, la FAO (1993) prevé que cerca de un tercio de los bosques del mundo serán afectados, lo que no solo tendrá repercusiones ecológicas graves, sino también económicas, políticas y sociales.

### 5.2.2. Fuentes, sumideros y depósitos de CO<sub>2</sub>

Un primer paso en la solución de este problema es el reconocimiento y cuantificación de las fuentes y los sumideros de los gases de efecto invernadero (INE-SEMARNAP, 1999). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático Global (1992) define como *fuentes* a "cualquier proceso o actividad que libera un gas de invernadero, un aerosol o un precursor de un gas invernadero en la atmósfera" y *sumidero* como cualquiera que los absorba.

De todos los GEI afectados por las actividades humanas, el CO<sub>2</sub> es el más importante tanto por su abundancia como por su posible influencia en el calentamiento global (Dixon *et al.*, 1993; Beaumont y Merenson, 1999). En la actualidad se estima que su concentración es de 355 ppmv, siendo sus principales fuentes las que se derivan del sector energético y del cambio en el uso de suelo y actividades forestales (Beaumont y Merenson, 1999). El uso de combustibles fósiles en el mundo emite cerca de 7 GtonC (GtonC = 10<sup>9</sup> tonC), mientras que por deforestación se emiten entre 0.6 y 3.6 GtonC (Masera *et al.*, 1997; Masera, 1999). La proporción de emisiones varía al analizarse por separado los países desarrollados y en desarrollo; por ejemplo, Olander (2000) reporta que en Latinoamérica el 70% de las emisiones de bióxido de carbono se debe al cambio de uso de suelo y la deforestación.

Si bien la destrucción actual de la cobertura forestal a nivel mundial es la segunda causa de emisión en el balance global de carbono, las actividades en torno a la conservación y reforestación de éstos podrían constituir un valioso sumidero capaz de reducir en los próximos 100 años de entre 1 a 3 GtonC año<sup>-1</sup> (Masera *et al.*, 1997). De esta forma los bosques son los ecosistemas con mayor potencial de captura del medio terrestre, pues en el largo plazo tienen la capacidad de disminuir entre un 20 a 50% de las emisiones netas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Dixon *et al.*, 1993).

Para estimar el flujo de carbono entre la atmósfera y la vegetación es necesario saber el contenido de carbono depositado en todo el sistema forestal. Los bosques, a través de los procesos de fotosíntesis, respiración y descomposición, mantienen un equilibrio complejo que regula el almacenamiento del carbono entre la vegetación, la materia orgánica muerta y el suelo asociado (Masera *et al.*, 2000).

Los ecosistemas forestales constituyen grandes depósitos de carbono. Dixon *et al.* (1993) mencionan que los bosques contienen cerca del 60% del carbono total sobre la superficie de la tierra y el 45 % del carbono en suelo. Esto representa entre 20 y 100 veces más contenido de carbono por unidad de área que en los sistemas agrícolas o en las praderas (Masera, 1999).

Finalmente, los ecosistemas forestales pueden comportarse como fuentes o sumideros según el manejo que se les dé (Beaumont y Merenson, 1999; INE-SEMARNAP, 2000). Así para los bosques manejados es importante considerar, además de los depósitos en vegetación, materia orgánica en descomposición y suelo, el carbono contenido en productos forestales (v.g. muebles y papel) y el carbono ahorrado por la sustitución de combustibles fósiles (v.g. proyectos bioenergéticos). De esta manera el total del carbono fijado en el sistema, *captura unitaria de carbono*, resulta del balance de los flujos de carbono y la suma total de sus almacenes (Masera, 1995).

### 5.3. El Protocolo de Kioto

#### 5.3.1. Hacia una visión integral del Cambio Climático

Ante la preocupación mundial sobre las repercusiones ecológicas, económicas, políticas y sociales de un cambio climático global, en las últimas dos décadas se han realizado importantes foros, convenciones y acuerdos internacionales en torno a la reducción de las emisiones por actividades humanas de los GEI a la atmósfera. De ellos destacan, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC), formado en 1988 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM); y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) aceptada en 1992 durante la "Cumbre de la Tierra", cuyo órgano máximo de decisión es la Conferencia de las Partes (COP).

Entre ambos, los representantes de gobiernos y científicos de todas partes del mundo promueven la investigación en torno al sistema climático, sus posibles impactos y plantean mecanismos para enfrentarlos. Lo que se persigue es estabilizar la concentración de los GEI en la atmósfera, en un periodo en el cual los ecosistemas se adapten de manera natural al incremento de estos gases y en el que las actividades relacionadas al desarrollo económico y a la producción de alimentos continúen de forma sustentable, sin afectar al sistema climático (CMNUCC, 1992).

Debido a lo poco exitoso que resultaron en un principio las medidas establecidas por la CMNUCC para la reducción voluntaria de las emisiones, en 1997 durante la tercera Conferencia de las Partes en Japón (COP-3), se aprobó la implementación del Protocolo de Kioto. El Protocolo de (PK) impone a los países de mayor emisión de GEI medidas adicionales y obligatorias respecto a la disminución cuantificada de las emisiones de GEI y al establecimiento de mecanismos de flexibilidad para lograrla (Beaumont y Merenson, 1999; INE-SEMARNAP, 2000).

El Protocolo y la CMNUCC reconocen responsabilidades comunes pero diferenciadas entre los países, pues si bien los países industrializados han contribuido significativamente a la emisión de estos gases, su efectiva mitigación requiere de la participación de todos, conforme a sus capacidades, condiciones sociales y económicas (INE-SEMARNAP, 2000; Olander, 2000). Las tres categorías en las que el PK designa las responsabilidades de los países firmantes son:

- a) *países del Anexo 1*, se conforma por 39 países desarrollados o con economías de mercado en transición y son los de mayor responsabilidad y capacidad de acción ante el cambio climático. En 1990 produjeron cerca del 55% de las emisiones totales (PK, 1997; INE-SEMARNAP, 2000)

- b) *países del Anexo II*, constituido por un subconjunto de 25 países desarrollados del Anexo I, los cuales proporcionan ayuda económica y tecnológica a los países del *No Anexo I* a fin de enfrentar el cambio climático (PK, 1997)
- c) *países del No Anexo I*, son países cuyas economías están en desarrollo, a los cuales no se les obliga a reducir o a contabilizar sus emisiones de GEI. México forma parte de esta categoría (PK, 1997; INE-SEMARNAP, 2000)

### 5.3.2. Propuestas de mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub>

Una de las medidas que se han adoptado, además de reducir los riesgos y daños producidos por el cambio climático, es la de mitigar y controlar la cantidad de GEI liberados a la atmósfera (INE-SEMARNAP, 2000). De acuerdo con el PICC, en el caso de los bosques estas medidas de tipo preventivo incluyen (para más detalle ver a Masera *et al.*, 2000):

- a) la *preservación* de áreas naturales protegidas, manejo sustentable de bosques y el uso óptimo de la leña
- b) la *reforestación* de áreas degradadas a través de la protección de cuencas, reforestación urbana, restauración para fines de subsistencia, entre otros
- c) la *sustitución* de productos hechos mediante el uso de combustibles fósiles y de cemento por productos hechos de madera

A través de cualquiera de las medidas anteriores se pretende que los países del Anexo I, al finalizar el primer periodo de compromiso (2008-2012), reduzcan sus emisiones de GEI en un 5% por debajo de los niveles de 1990 (Beaumont y Merenson, 1999).

### 5.3.3. Mecanismos de implementación

Para que los países industrializados compensen parte de sus compromisos de reducciones de emisión de GEI, el protocolo de Kioto prevé mecanismos de flexibilidad mediante el establecimiento de acciones de captación de emisiones en

participación con otros países (Beaumont y Merenson, 1999). Los mecanismos de implementación son: implementación conjunta, comercio de emisiones y el mecanismo de desarrollo limpio.

El mecanismo de implementación conjunta se basa en que la reducción de los GEI en la atmósfera no depende del sitio del sumidero o de la fuente, por lo que un país puede compensar algunas de sus emisiones domésticas y cubrir parcialmente su compromiso de reducción de los niveles de emisión mediante el financiamiento de proyectos de mitigación en otro país (artículos 3.3 y 4.2a del PK, 1997). El comercio de emisiones se refiere a que aquellos países cuyas emisiones sean menores a sus objetivos, pueden intercambiar con otro país ese exceso de reducción (Beaumont y Merenson, 1999).

El mecanismo para el desarrollo limpio (artículo 12 del PK) fue inspirado en la implementación conjunta, sólo que a diferencia de ésta se reconocen créditos de reducción de emisiones. El mecanismo para el desarrollo limpio (MDL) resulta muy importante para los países en desarrollo ya que es la única vía de cooperación entre éstos y los países industrializados (Haites y Yamin, 2000). Es decir, por un lado ayuda a los países del Anexo I a cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones establecidas en el artículo 3 del PK, a la vez que ayuda a los del No Anexo I a lograr un desarrollo sostenible y cumplir con el objetivo último de la convención. Así, para la adopción del MDL se requiere de la certificación de cada parte involucrada y la cuantificación de beneficios reales a largo plazo (adicionalidad ambiental y financiera), respecto a la mitigación del cambio climático (Beaumont y Merenson, 1999; INE-SEMARNAP, 2000).

Por último, la forma en que los países del No anexo I pueden obtener la bonificación y el financiamiento de créditos de reducción de emisiones es mediante

Una vez establecida la línea de base se requiere del cálculo de la *captura de carbono*. La estimación de la captura permite acreditar la diferencia de carbono entre el proyecto implementado y la línea de base, o sea la adicionalidad del proyecto. Al igual que en el caso anterior existen varios métodos entre los que destacan (Brown *et al.*, 2000): 1) almacén de carbono (carbon stock method), estima el cambio en contenido de carbono entre los almacenes del proyecto y la línea de base en un tiempo determinado; 2) almacenamiento de carbono promedio (average storage method), calcula el carbono promedio almacenado durante la permanencia del proyecto, considerando la dinámica del carbono en el sistema de manejo; y 3) el método de tonelada año (ton-year method), el cual acredita sólo una proporción del cambio total de las emisiones o almacenes de carbono en cada año del proyecto. Además, la captura también depende del *tiempo de duración* de los proyectos. Así, para algunos autores los proyectos deben de mantenerse a perpetuidad, otros consideran que la duración debe de variar según los tiempos de operación de cada proyecto y otros más consideran que la duración de los proyectos deben establecerse en el periodo de 100 años propuesto en el PK (Brown, *et al.*, 2000; Masera *et al.*, 2000).

Para calcular el *valor económico* de la captura de carbono de los proyectos de mitigación, se deben considerar los costos de establecimiento, monitoreo y operación a largo plazo del proyecto (v.g. valor de la tierra, mano de obra, beneficios perdidos por el uso alterno del suelo), así como los beneficios del proyecto con valor de mercado y otros beneficios como control de la erosión, incremento de la biodiversidad y estéticos (Montoya *et al.*, 1995; Masera, 1995). De esta forma se establece el valor presente de los beneficios netos (VPBN), el cual sirve para estimar si el proyecto propuesto es económicamente viable respecto a si no se implementara (Masera, 1995). En ese sentido Beaumont y Merenson (1999) mencionan que los proyectos forestales bajo el MDL podrían tener un precio de venta por tonelada capturada de entre US\$13-42 ton, mientras que los costos

variarían de US\$2 a 3 ton en manejo de bosques primarios, de US\$1 a 10 ton en proyectos de forestación y de US\$1 a 10 ton en proyectos de preservación de áreas protegidas.

Además de los aspectos descritos anteriormente, el éxito de un proyecto de valoración de la captura de carbono, también depende de que se consideren constantemente algunos factores como:

- a) *Fugas*. Cuando la implementación de un proyecto de mitigación desplaza o incrementa la emisión de GEI en otro lugar (Olander, 2000; Masera *et al.*, 2000). Las fugas evitan lograr beneficios netos, por lo que se han propuesto medidas para anticiparlas, como el diseño de proyectos que consideren las causas que subyacen a las emisiones; o para evitarlas, como sustraer las fugas del total capturado en los proyectos mediante cuantificación y monitoreo de los GEI (Brown *et al.*, 2000, Olander, 2000). Esto es muy importante en el caso de los países del No anexo I, pues al no requerir de inventarios nacionales de GEI, las fugas son más difíciles de detectar (Brown *et al.*, 2000)
- b) *Riesgos*. Los proyectos forestales, siempre tienen el riesgo de revertir el contenido de carbono a la atmósfera (Olander, 2000). Así, ya sea por causas naturales (v.g. incendios, enfermedades), antrópicas (v.g. tala, uso de suelo), políticas (v.g. cambios políticos, derechos de propiedad) y económicas (v.g. riesgos financieros, institucionales y de mercado), los riesgos afectan de manera negativa a los beneficios esperados del proyecto (Brown *et al.*, 2000)
- c) *Sustentabilidad*. Como queda implícito en el PK, la adicionalidad de cualquier proyecto debe también de contribuir a alcanzar el desarrollo sustentable del país anfitrión (Olander, 2000). Se supone que las inversiones en los países en desarrollo, proporcionan capital que pueden disponer en sectores prioritarios de sus economías y así promover el desarrollo sustentable (Beaumont y Merenson, 1999). Esta parte requiere de mayor análisis y negociación, sobretodo en cuanto a los criterios e indicadores de su evaluación, pero al

menos una primera aproximación se ha considerado a la certificación de los proyectos (Noble *et al.*, 2000).

En el estudio de caso que se presenta a continuación, se darán los elementos iniciales de la valoración de la captura de carbono en la CINSJP, mediante la estimación de las densidades de carbono en el sistema forestal y el desarrollo de un escenario de preservación y otro de manejo alternativo, como propuestas de mitigación de carbono.

# ÁREA DE ESTUDIO

## Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro

### 6.1. Ubicación

La Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP) se localiza en el Estado de Michoacán al suroccidente de la Meseta Purépecha, entre los 19° 21'00" y 19°34'45" Latitud Norte y los 102° 08'15" y 102° 17'30" Latitud Oeste. Los límites y colindancias de la CINSJP son: al Norte, con la Comunidad Indígena de Angahuan y pequeñas propiedades de Zacán; al Sur, colinda con la Comunidad Indígena de Tancítaro; al Este, con el Ejido "La Quinta " de Nuevo Parangaricutiro; y al Oeste, con la Comunidad Indígena de San Salvador Combutzio (DTF-CINSJP,1998).

Posee una extensión de 18,318 ha, lo que representa el mayor porcentaje (78%) de los terrenos que administrativamente pertenecen al Municipio de Nuevo San Juan Parangaricutiro, uno de los municipios más pequeños y recientes de Michoacán (Topete, 1996). Los terrenos forestales de la CINSJP se localizan a 5 Km al poniente del pueblo de San Juan Nuevo, en el kilómetro 8 de la carretera San Juan Nuevo - Tancítaro.



Figura 5.1. Ubicación de la zona de estudio (Atlas Encarta, 1998)

## 6.2. Aspectos biofísicos

### *Geología*

La zona forestal de la CINSJP forma parte de la Meseta Puerépecha, que a su vez corresponde a la provincia morfotectónica del Eje Neovolcánico Transversal. Los terrenos comunales se originaron durante el Cenozoico Medio y debido a la intensa historia volcánica dominan en el paisaje rocas ígneas extrusivas basálticas, andesíticas y cenizas volcánicas (Bocco *et al.*, 1998; Ferrusquía, 1998).

### *Orografía y Topografía*

Los terrenos de la CINSJP presentan una topografía de laderas y lomeríos muy pronunciados, con pendientes que van desde el 5 % hasta el 80 % (DTF-CINSJP, 1998). El promedio de altitud en la zona es de 2,500 msnm; sin embargo, hacia la zona centro y surponiente se presentan elevaciones por arriba de los 3000 msnm como en el Cerro Prieto y en el piedemonte del Tancítaro (Bocco *et al.*, 1998).

### *Edafología*

Aproximadamente la mitad de los suelos de la CINSJP se encuentran cubiertos por espesores variables de ceniza volcánica del Parícutín (Bocco *et al.*, 1998). Son suelos profundos y presentan texturas medias y gruesas. De acuerdo con la clasificación FAO/UNESCO, los suelos presentes son: Andosoles mólico, Regosoles vitri-étricos, Leptosoles líticos, Leptosoles andi-mólicos, Fluvisoles vitri-étricos (Siebe *et al.*, en preparación).

### *Hidrología*

La red de drenaje de los terrenos de la CINSJP corresponde a las sub-cuencas hidrológicas: Río Cupatitzio, Río Tepalcatepec Bajo y Río Itzícuaru. La forma de los escurrimientos varía según se ubiquen en volcanes, lavas y llanos, en radial, dendrítico y lateral respectivamente. Las principales corrientes de agua superficial se originan en las laderas del pic de monte del Tancítaro (Bocco *et al.*, 1998).

Dentro de la superficie comunal existen cerca de 45 manantiales tanto permanentes como temporales. Con el fin de proteger el suelo de los terrenos inmediatos a los nacimientos de agua y a sus cauces, éstas zonas se han excluido del aprovechamiento forestal (DTF-CINSJP, 1998).

### *Clima*

Conforme al sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1989), las partes más bajas (1800-2200 msnm) presentan los climas templados (A) C (w1) (w) b(e) y (A) C(w2'') (w) b. El primero con lluvias en verano y temperaturas medias mensuales de entre 7 y 14 °C; y el segundo, considerado como el clima más húmedo de los subhúmedos, con lluvias en verano y temperatura media ligeramente mayor a los 18 °C. En las zonas de mayor elevación (2200-2500 msnm) se presenta el clima C (w2) (w) (b') ig. Considerado el más húmedo dentro de los climas templados. La precipitación anual oscila entre los 1,200 y 1,600 mm. La temperatura anual es estable, con apenas 5°C de diferencia entre los meses más fríos y calientes. Presenta una amplia distribución en la CINSJP.

### *Vegetación*

Con base en la clasificación de Rzedowski (1978), la CINSJP se encuentra caracterizada por bosques de coníferas típicos de las zonas templadas. Los sitios de mayor elevación, se encuentran poblados por bosques de *Abies religiosa*, mientras que los bosques de pino-encino se distribuyen predominantemente en elevaciones menores a ésta. Son varias las especies de pino y encino presentes, sin embargo, las de mayor abundancia y distribución son: *Pinus pseudostrobus*, *Pinus montezumae* y *Pinus leiophylla*.

En un estudio fitosociológico reciente en la CINSJP, se describen 14 comunidades vegetales de las cuales 8 corresponden a la superficie forestal. Las comunidades de

*Pinus leiphylla-Piptochaetium virencens* y *Pinus pseudostrobus-Ternstroemia pringlei*, son la de mayor cobertura en esta área, y están representadas hasta en un 31 y 25 % respectivamente (Fregoso, 2000).

#### *Uso de suelo*

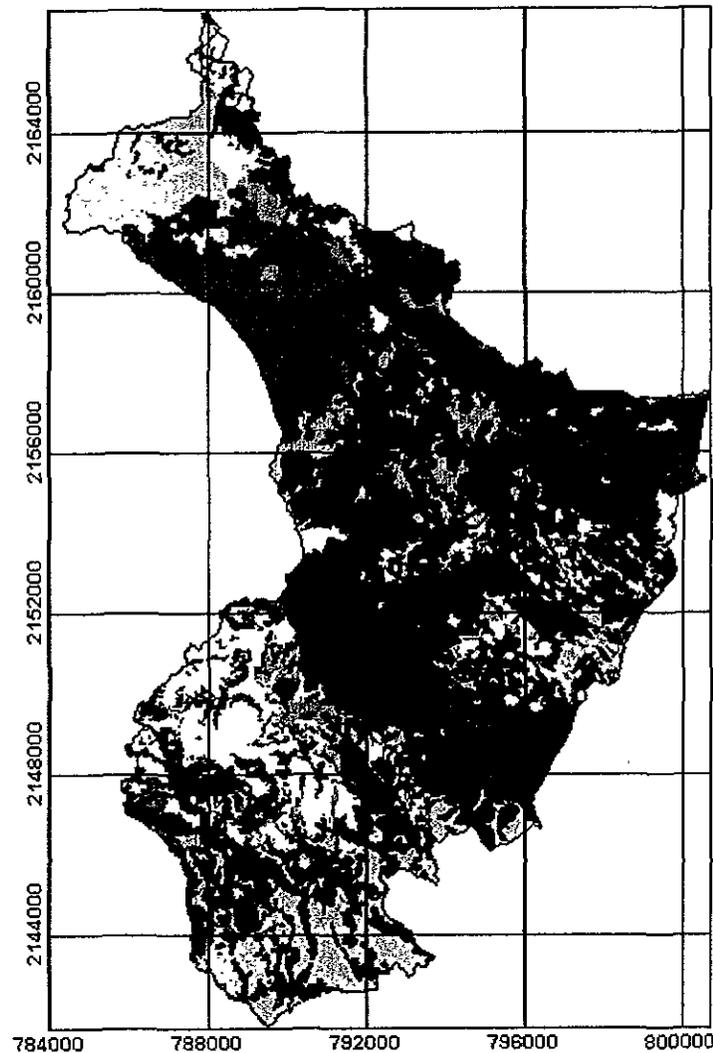
Del total de hectáreas de la CINSJP más del 60% (11,694.55 ha) se consideran arboladas y el resto (6,443.77 ha) no arboladas. Como se observa en el cuadro 6.1. la superficie total actual libre de conflictos (14,773.08 ha), se destina principalmente a actividades forestales y en menor proporción a la agricultura y la fruticultura. La porción norte presenta bosques subhúmedos con gran actividad forestal y manchones de huertos de aguacate y durazno, mientras que la zona sur, además de bosques húmedos, incluye campos permanentes de agricultura (mapa 1). Las actividades ganaderas se distribuyen de manera dispersa y poco abundante por toda la zona comunal (Sánchez, 2000; Velázquez *et al.*, en prensa).

El resto de las hectáreas de la CINSJP corresponden a superficie por ejercer (3,365.24 ha) conforme a la resolución de los derechos de propiedad en juicios agrarios y superficie bajo situación especial por encontrarse esta última dentro de los límites del Parque Nacional "Pico de Tancítaro" (DTF-CINSJP, 1998).

### **6.3. Aspectos socioeconómicos**

La población de Nuevo San Juan es de aproximadamente 15,000 habitantes, repartidos entre comuneros y personas de ejidos aledaños como de los de San Juan, Arandín y de la Quinta. Se estima que la población exclusiva de la comunidad es de alrededor de 7,374 personas en las que participan 1,229 jefes de familia. La principal fuente de trabajo está asociada con la actividad forestal. Cerca de tres cuartas partes de la población se dedican a la industria, el transporte y la resinación. El 15 %, se dedica a la fruticultura, donde destaca la producción de aguacate y durazno de alta calidad. Por último, alrededor de un 10% se dedica a actividades agrícolas cuyo principal producto es el maíz de autoconsumo.

## Mapa 1. Cobertura forestal y uso de suelo en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán , México



- Huerta
- Agrícola
- Pastizal
- Vivero Pantzingo
- Plantación
- Renuevo natural
- Arbustivo
- Forestal
- Arenal
- Lava
- San Juan Viejo
- San Nicolás
- Tiscato



Coordenadas UTM  
 Proyección Universal Transversal de Mercator  
 DATUM NAD27  
 Esferoide de Clark 1866

0 5000 m



Biología - Facultad de Ciencias  
 Universidad Nacional Autónoma de México

Fuente: Mapa de rodales y subrodales (DTF-CINSJP)  
 Cortez et al. (en preparación)

**Cuadro 6.1. Uso de suelo de la CINSJP en el total de la superficie libre de conflicto (DTF-CINSJP, 1998)**

Superficie	Hectáreas
Arbolada aprovechable	9,027.73
Plantaciones	814.77
Lava volcánica	1,684.60
Agrícola	1,598.63
Frutícola	1,365.44
Arena volcánica	59.49
Pastizal	34.68
Arbustiva	176.56
Otros Usos	11.18
<b>Total</b>	<b>14,773.08</b>

**Cuadro 6.2. Volúmenes totales (m<sup>3</sup> V.T.A.) a ejercer en las 10 anualidades (DTF-CINSJP, 1998)**

Géneros	Existencias reales totales (m <sup>3</sup> )
Pino	1'573,063.704
Oyamel	105,388.412
Encino	140,899.400
Otras hojosas	57,869.429
<b>Total</b>	<b>1'877,220.945</b>

La migración de la población económicamente activa constituye un poco menos del 10 % de ésta. Los principales destinos a los cuales migran de manera periódica son los Estados Unidos de Norteamérica y ciudades como Guadalajara y la Ciudad de México.

#### **6.4. Plan de Manejo Forestal**

##### *Antecedentes*

El proceso de organización y aprovechamiento sistemático de los bosques de la comunidad es relativamente reciente. A partir del surgimiento del volcán Parícutín (1943-1952) y de su impacto en los terrenos circundantes (flujos de lavas, quema de la vegetación, cenizas, entre otros), la comunidad de San Juan tuvo que trasladarse a nuevos terrenos forestales y asentar su población en el pequeño valle conocido entonces como "Los Conejos", hoy Nuevo San Juan Parangaricutiro (Moheno, 1985). Según relatos de sus propios pobladores, en los años posteriores al evento (1944-1960), varios de ellos fueron apoyados por la presidencia para trabajar en otras ciudades del país y de Estados Unidos, por lo que es después de los años sesentas que comienzan a organizarse en torno al manejo de sus recursos (Ortiz, 1997).

En 1981, con la aprobación de la Asamblea General de Comuneros, se funda la empresa forestal comunal de Nuevo San Juan Parangaricutiro. Posteriormente, Nuevo San Juan firma con la SARH un convenio de asistencia técnica de coordinación, concertación y corresponsabilidad, autorizándoles la realización de su primer estudio dasonómico basado en el Método de Desarrollo Silvícola (DTF-CINSJP, 1998). A partir de entonces la comunidad implementa actividades de reforestación en zonas de cenizas del volcán Parícutín, de aprovechamiento sistemático de la resina e incluso de diversificación productiva a través de la Comisión Agropecuaria estableciendo huertos de aguacate, durazno, agricultura maicera, zonas para captación de agua y ganadería. En 1986 obtienen la

administración de sus propios Servicios Técnicos Forestales, con lo cual se les otorga el completo control de sus recursos; y en 1991, con la Resolución Presidencial de Confirmación y Titulación de Bienes Comunales, obtienen la personalidad jurídica de propietario de sus terrenos (Álvarez-Icaza, 1993; Sánchez-Pego, 1995).

Con la incorporación de México al Tratado de Libre Comercio en 1994 y la apertura hacia los mercados internacionales de madera y sus derivados, la demanda de productos de la CINSJP se redujo, provocando cambios importantes en sus insumos financieros. Entonces, con el fin de aprovechar sus recursos de forma integral y evitar la dependencia de un solo producto, la CINSJP solicita a un grupo de académicos de la UNAM su colaboración en la realización de un programa de manejo forestal basado en la diversificación productiva y la conservación del bosque (Velázquez *et al.*, en prensa).

#### *Programa de Manejo Forestal de la CINSJP (1998-2007)*

El plan de manejo de la CINSJP establece como estrategia para la conservación y uso de los recursos forestales el reconocimiento de unidades homogéneas en el espacio. Estas unidades permiten organizar la información sobre los recursos naturales, evaluar la aptitud productiva de la zona y analizar posibles conflictos entre aptitud y uso actual. Es decir, establecer la relación entre oferta ambiental y demanda social (Bocco *et al.*, 1998).

Para la poligonización de los terrenos comunales fue necesaria la realización de un inventario de los recursos naturales, la incorporación del conocimiento local sobre el manejo y el desarrollo de información espacial diversa (Bocco *et al.*, en prensa). Estas actividades implicaron más de 400 horas hombre en la capacitación teórico-práctica del personal de la Dirección Técnica Forestal (DTF) en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en el empleo de mapas topográficos, en la

interpretación de fotografías aéreas pancromáticas, en la verificación de la información en campo, la corrección y creación de mapas (v.g. mapa geomorfológico y mapa de suelos). Toda esta información generó un mosaico de polígonos o rodales, los cuales fueron clasificados en forestales, agrícolas, huertos, pastizales, arenales, entre otros (ver mapa 1).

Con base en atributos como la cobertura, la altura y la densidad de la vegetación, los rodales se diferenciaron a su vez en subrodales. Los subrodales son la unidad mínima de manejo forestal y para caracterizarlos se realizó un muestreo sistemático de más de 5000 sitios. De cada sitio se obtuvo información de 30 variables, como por ejemplo: número de rodal, subrodal, sitio, especie, área basal, altura media, diámetro medio, edad, tiempo de paso, entre otras. A partir de la información anterior y del análisis de la productividad del suelo, los sitios fueron agrupados conforme a calidades forestales (ver sección 7.1.1.). Finalmente, mediante la integración de la información forestal en el sistema estadístico SAS (1997), se elaboró un programa para el cálculo del volumen de remoción por subrodal y la posibilidad total anual de corta (Cortez, en preparación).

La labor conjunta entre ambos grupos (UNAM-CINSJP) tuvo como principales productos la automatización de la información forestal, la planificación del uso de la tierra (análisis de evaluación de tierras) y la aprobación del programa de manejo para el ejercicio anual del bosque durante 10 años (cuadro 6.2). También, recientemente la CINSJP obtuvo el reconocimiento al manejo forestal sustentable por parte del Consejo Silvícola Mexicano (Velázquez *et al.*, en prensa).

La coparticipación y la realización de talleres sobre el uso de SIG no sólo permitió ajustar este tipo de alta tecnología a las necesidades reales de la comunidad (Bocco *et al.*, en preparación), sino que el personal técnico de la comunidad está suficientemente capacitado para monitorear y mejorar sus bases de datos, conciliando enfoques productivos, sociales y ambientales.

## MÉTODO

---

En esta sección se proporcionan los pasos para la estimación del contenido de carbono a largo plazo en los subrodales con *Pinus pseudostrobus* de la CINSJP. En el presente trabajo, los subrodales o unidades de manejo constituyen la base espacial y el elemento mínimo de análisis para la generación de escenarios que combinan el aprovechamiento actual de *Pinus pseudostrobus* y el servicio de captura de CO<sub>2</sub>. La figura 7.1 muestra una síntesis de las etapas del método que más adelante se detallan en el texto.

### 7.1. Variables dasométricas.

#### 7.1.1. Diseño de la base de datos

Del total de las 10,879 ha de superficie arbolada de la CINSJP sólo se evaluaron aquellas unidades de manejo que presentaron, en al menos uno de sus sitios, a *Pinus pseudostrobus* como especie dominante (ver características del género y la especie en el anexo A). La selección de dicha especie se debió a que:

- 1) Posee una amplia distribución en la superficie total de la CINSJP (Cortez, en preparación). Constituye un elemento relevante de la fisonomía de los bosques mixtos de pino-encino de la CINSJP. Forma junto con *Ternstroemia pringlei* la comunidad vegetal con mayor representación en el total de subrodales (Fregoso, 2000).
- 2) Existe un trabajo previo de captura de carbono con base en el plan de Manejo de la CINSJP de 1988 (Ordoñez, 1999), el cual presenta información sobre aspectos fisiológicos que hasta el momento no han sido descritos para las demás especies de la localidad.

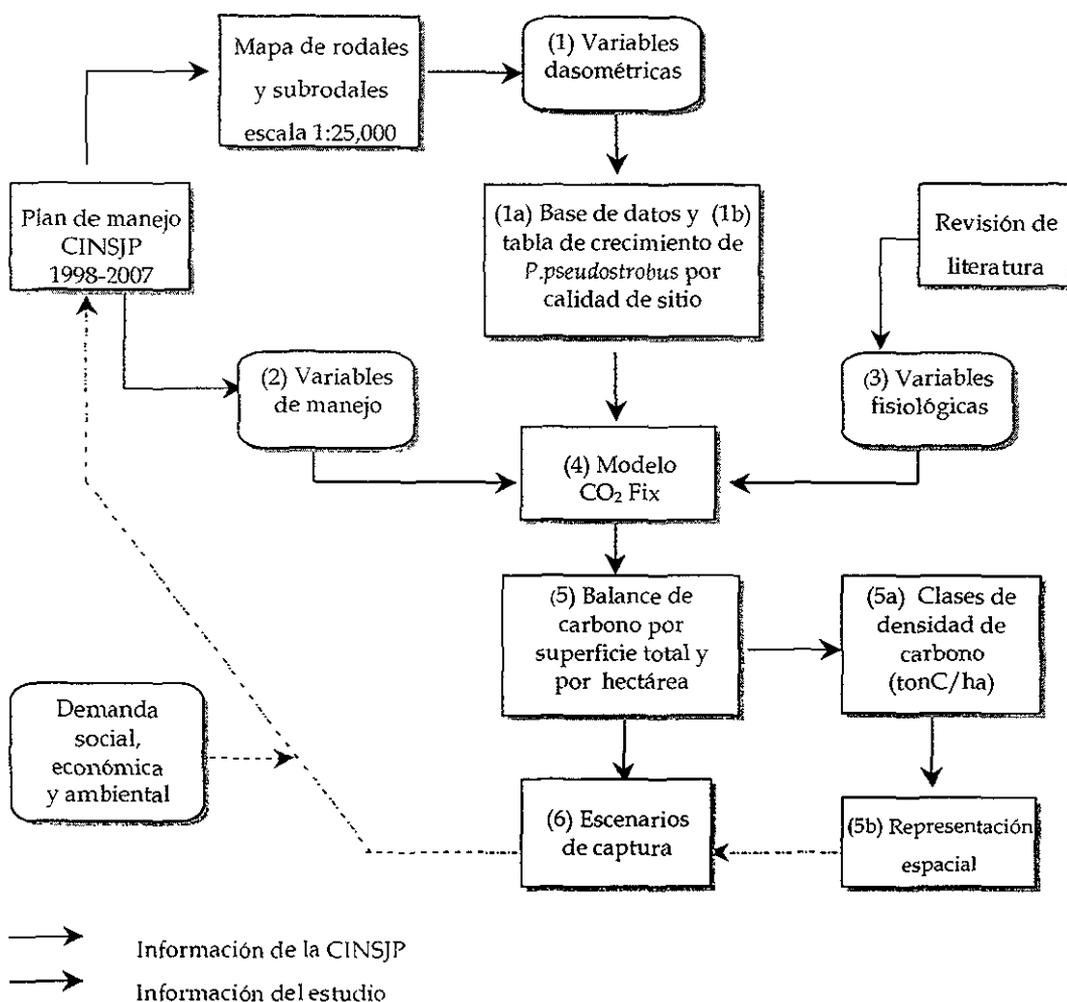


Fig. 7. 1. Representación simplificada del método. A partir del plan de manejo y del mapa de rodales y subrodales de la CINSJP, se analizaron las variables dasométricas (1) asignadas a cada uno de los sitios o unidades de muestreo con *Pinus pseudostrobus*. Con esta información se elaboró una base de datos a nivel subrodal (1a) y se calculó el incremento anual del arbolado (ICA) por calidad de sitio (1b). Con los valores de crecimiento y la selección de los parámetros del manejo (2) y fisiología de *P.pseudostrobus* (3), se ejecutó el modelo de captura de carbono CO<sub>2</sub> Fix (4). Este modelo simula el ciclo de carbono durante el desarrollo forestal de la especie y calcula la capacidad para fijar carbono en biomasa, suelo y productos maderables (Mohren *et al.*, 1999). Una vez obtenido el balance total de carbono (5), se estimó la densidad por calidad bajo el manejo actual, para un plazo de 100 años (5a). Estas densidades se incorporaron al mapa de rodales y subrodales de la CINSJP para su reclasificación y despliegue en el sistema de información geográfica ILWIS (1997) (5b). Por último, se estimó el contenido de carbono capaz de almacenar el sistema forestal en condiciones naturales y bajo un manejo alterno, con lo que se generaron escenarios de captura de CO<sub>2</sub>. Toda esta información espera fortalecer la toma de decisiones de la CINSJP, mediante el enriquecimiento de su Plan de Manejo Forestal.

Con base en el mapa de rodales y subrodales escala 1:25,000 y con ayuda del sistema de información geográfica ILWIS versión 2.2 (The Integrated Land and Water Information System, 1997) se delimitó la superficie del total unidades de manejo con *Pinus pseudostrobus*.

Una vez definidas las unidades de manejo, se escogieron las siguientes variables dasométricas del trabajo de Cortez (en preparación): área basal (AB), altura (H), diámetro normal (DN), edad (E) y tiempo de paso (TP). Esta información se incorporó al sistema estadístico para microcomputadoras de SAS 6.12 (SAS, 1997) y con base en el programa elaborado por Cortez para la automatización del Plan de Manejo de la CINSJP se calcularon, exclusivamente para esta especie, los siguientes parámetros por subrodal:

- 1) Existencia real (ER). La existencia real es una variable forestal que indica el volumen total de árboles por unidad de superficie y se expresa en m<sup>3</sup> por hectárea (DTF-CINSJP, 1998).

$$ER (\text{sitio}) = AB * H * C.M.$$

Donde:

AB = Área basal (m<sup>2</sup>)

H = Altura (m)

C.M. = Coeficiente mórfico (volumen real del árbol/volumen del cilindro)

$$ER (\text{subrodal}) = \Sigma (ER_{(\text{sitio})}) / n$$

Donde:

ER<sub>(sitio)</sub> = Existencias reales por sitio (m<sup>3</sup>/ha)

n = Número de sitios del subrodal

- 2) Incremento corriente anual (ICA). El ICA indica el crecimiento anual del arbolado y se refiere al incremento en volumen por hectárea en un año

determinado (DTF-CINSJP, 1998). Por lo general, este se divide en un periodo que suele ser desde 3 ó 5 años a 10 años, pues de acuerdo con Villa-Salas (1970), valores menores de 3-5 años dificultan las mediciones y valores mayores de 10 años se alejan del valor real del ICA. En la CINSJP el periodo establecido es de 10 años.

$$\text{ICA (sitio)} = 10 * \text{ER}_{(\text{sitio})} / \text{TP} * \text{DN}$$

Donde:

ER = Existencia real del sitio

TP = Tiempo de paso del sitio

DN = Diámetro normal del sitio

10 = Indica la duración de cada ciclo.

$$\text{ICA (Subrodal)} = \Sigma (\text{ICA}_{(\text{sitio})}) / n$$

ICA (sitio) = Incremento corriente anual del sitio

n = Número de sitios del subrodal

3) Calidad de sitio (CS). La calidad de estación o calidad de sitio se refiere a la capacidad productiva ( $\text{m}^3$ ) de un área determinada, como resultado de la interacción de diversos factores del medio que afectan el crecimiento de las especies silvícolas (Aguilar y Aguilar, 1991). Se calcula considerando la edad (E) y alturas dominantes (H) de todos los sitios del subrodal, mediante el modelo del término independiente común de Shumacher (Ramírez, 1994; Cortez, en preparación).

$$Y = a + b / x^k$$

Donde:

a = Punto de intersección

b = Pendiente

x = Término independiente

k = Constante

En el caso de la CINSJP se reporta en orden de mayor a menor productividad: la calidad I, la calidad II y la calidad III.

### 7.1.2. Tabla de crecimiento

Para la elaboración de esta tabla se separó a los subrodales conforme a las calidades de sitio y se ordenaron de manera ascendente en el tiempo, según su valor de ICA. Posteriormente se calculó la media aritmética de aquellos que compartieran la misma edad, con lo cual se formaron agregados de subrodales por año y calidad de sitio.

Debido a que el manejo en las zonas forestales de la CINSJP está fuertemente orientado a satisfacer una demanda comercial, la información de la base de datos de la DTF-CINSJP (1998) subrepresenta a los árboles más jóvenes (Cortez, *com. pers.*). Este sesgo en la información hace que cualquier modelo de regresión sea poco confiable en el cálculo del incremento del arbolado antes de los primeros 20 años. Sin embargo, al comparar diferentes estimaciones del crecimiento anual y al observar los datos obtenidos por Ordoñez (1999), se seleccionó como modelo de ajuste una regresión exponencial. De esta manera, los resultados fueron incorporados directamente al modelo de captura de carbono, en incrementos de 5 años desde la edad cero hasta los 85 años.

### 7.2. Variables de manejo

Las variables de manejo que más destacan por su utilidad en el modelo CO<sub>2</sub> Fix son: la duración total en años del ciclo de rotación, el número de ciclos de las rotaciones y los porcentajes de la producción en el aprovechamiento forestal.

El número y duración de los ciclos se define según el Método de Desarrollo Silvícola de Árboles Padres (DTF-CINSJP, 1998). Éste consiste en la realización de cinco tratamientos espaciados cada 10 años, los cuales se distribuyen en: tres primeros tratamientos de aclareo, un cuarto tratamiento de corta de regeneración y por último un tratamiento de corta de liberación. El tiempo total que transcurre para que se repita un tratamiento es de 50 años, es decir un turno (DTF-CINSJP, 1998).

Respecto a la producción forestal en toda la CINSJP, la mayor parte se concentra en las especies del género *Pinus* (DTF-CINSJP, 1998), siendo la elaboración de muebles su principal forma de aprovechamiento (ver cuadro 7.1).

### 7.3. Variables fisiológicas

Esta sección se refiere al contenido de carbono depositado en el ecosistema forestal debido a procesos entre la vegetación y la atmósfera como la fotosíntesis, la respiración y la descomposición de materia orgánica. Casi toda la información que a continuación se proporciona sobre las variables fisiológicas, el suelo forestal asociado y la biomasa de *Pinus pseudostrobus*, proviene de la revisión bibliográfica que Ordoñez (1999) realizó para la región (cuadros 7.2, 7.3 y 7.4). El valor del peso seco en humus estable (cuadro 7.4) se obtuvo del estudio realizado por Siebe *et al.* (en preparación) sobre la geomorfología y los suelos de los bosques con *Pinus pseudostrobus* en la CINSJP.

### 7.4. El modelo de CO<sub>2</sub> fix

El modelo de captura de carbono para rodales forestales CO<sub>2</sub> Fix versión 1.2, es un programa dinámico de software para ambiente Windows, desarrollado por Mohren *et al.* (1999) a partir del modelo de Mohren y Goldewijk (1990). Este programa estima la captura de carbono de una especie sujeta a aprovechamiento silvícola mediante la simulación del ciclo de carbono durante su desarrollo forestal. Para esto, el programa considera los flujos de asimilación y pérdida entre los almacenes de carbono en biomasa (tronco, ramas, follaje y raíces), suelo (humus y detritus) y productos forestales como madera muerta, energía, aglomerados, papel, empaque y construcción (Fig. 7.2).

**Cuadro 7.1. Distribución de productos forestales del género *Pinus* en la CINSJP (DTF-CINSJP, 1998)**

Madera muerta	Energía	Papel	Muebles	Construcción
28 %	13.5 %	5.8 %	36.3 %	16.3 %

**Cuadro 7.2. Variables fisiológicas y del suelo forestal asociado de la especie *Pinus pseudostrobus* (Buringh, 1984; Ajtay *et al.*, 1997; Mohren *et al.*, 1997; reportados en Ordoñez, 1999)**

Variable	Cantidad
Densidad de la madera (Kg/m <sup>3</sup> )	500
Contenido de carbono en materia seca (Kg/Kg)	0.50
Tasa de decaimiento para la biomasa del follaje (1/año)	0.3
Tasa de decaimiento para la biomasa de las ramas follaje (1/año)	0.05
Tasa de decaimiento para la biomasa de las raíces (1/año)	0.10
Tasa de mortalidad (o autoaclareo) (1/año)	0.02
Tiempo de residencia promedio de madera muerta en el bosque (años)	20
Tiempo de residencia promedio de papel (años)	2
Tiempo de residencia promedio del aglomerado (años)	20
Tiempo de residencia promedio de madera para energía (años)	1
Tiempo de residencia promedio de madera para empaque (años)	3
Tiempo de residencia promedio de madera para construcción (años)	35
Tasa de humificación (1/año)	0.03
Tiempo de residencia promedio del detritus (1/años)	2
Tasa de residencia promedio del humus estable (años)	320
Contenido de carbono en humus en suelo estable (kg/kg)	0.58

**Cuadro 7.3. Incremento relativo respecto del tronco en peso seco del follaje, ramas y raíces, durante el desarrollo de un rodal (Nabuurs y Mohren, 1993; reportados en Ordoñez, 1999)**

	Edad del rodal (años)									
	0	6	10	14	18	22	25	30	40	50
Follaje	0.8	0.4	0.2	0.15	0.15	0.25	0.3	0.3	0.6	0.8
Ramas	0.8	0.5	0.2	0.15	0.15	0.2	0.3	0.4	0.7	0.9
Raíces	0.9	0.6	0.3	0.25	0.25	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0

**Cuadro 7.4. Valores asignados a la biomasa inicial en ton ms/ha (Nabuurs y Mohren, 1993, reportados en Ordoñez, 1999 y \*Siebe *et al.*, en preparación)**

Variable	Cantidad
Peso seco del follaje	3
Peso seco de raíces	0.5
Peso seco del detritus	0
Peso seco del humus estable en suelo	156 *
Peso seco en ramas	0.5
Volumen inicial de los componentes de la biomasa en tronco	1
Cantidad total de desperdicios de madera muerta en el bosque	0

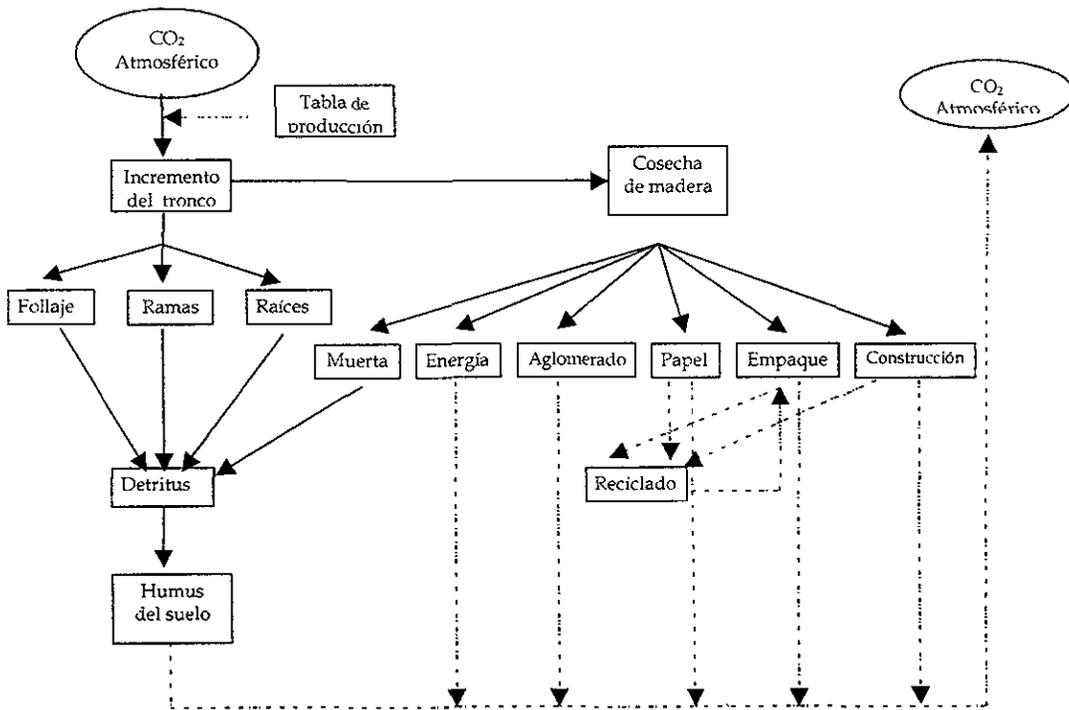


Fig. 7.2. Representación simplificada del modelo de CO<sub>2</sub> Fix sobre los flujos y almacenes de carbón en ecosistemas forestales (Mohren *et al.*, 1997)

El modelo depende de tres entradas principales de información para su ejecución. La primera, se refiere a los parámetros del rodal y la tabla de cosecha-aclareo. La segunda consiste en las principales características fisiológicas y de biomasa de la especie. Y la última, se refiere al incremento anual en volumen de la especie por hectárea. En el presente trabajo se describió a cada una de las entradas de información, como: variables de manejo, variables fisiológicas y variables dasométricas, respectivamente.

Por último, la cantidad neta de carbono fijado durante el desarrollo de los rodales o subrodales se determina por las diferencias entre la acumulación de carbono en biomasa por fotosíntesis y su pérdida por respiración, por la acumulación de carbono en suelo y las tasas de descomposición del humus y por la acumulación de carbono en diferentes productos conforme a su tiempo de residencia. El resultado final se resume en dos gráficas simultáneas en donde se observa el balance de carbono por plantación y el balance de carbono por rodal o subrodal, además de tablas con los valores totales de captura por año en cada almacén (Mohren *et al.*, 1999 y Ordoñez, 1999).

#### **7.5. Clases de contenido de carbono**

A partir del balance total en toneladas de carbono, se estimó la densidad potencial a largo plazo bajo el esquema del manejo forestal actual. Es decir, suponiendo que las características del sitio, de la especie y de su manejo permanecen sin variaciones por un periodo de 100 años; se calculó el contenido de carbono por hectárea y por calidad de sitio. Con esta información se definieron clases de densidad de carbono, las cuales se relacionaron con la base de datos de la especie.

#### **7.6. Representación espacial**

Con base en el mapa digital de rodales y subrodales escala 1:25,000 y con la información del modelo de CO<sub>2</sub> Fix, se generó un mapa de la densidad potencial

de CO<sub>2</sub> en *Pinus pseudostrobus*. Para la obtención del nuevo mapa, se emplearon las siguientes operaciones del sistema de información geográfica ILWIS (1997):

- a) Reagrupación. Todos los polígonos de la tabla de atributos del mapa de rodales y subrodales de la CINSJP se agruparon conforme al uso de suelo y la presencia de *Pinus pseudostrobus* en las unidades de muestreo.
- b) Reclasificación. A la tabla de atributos se le asoció una nueva columna con información del contenido de carbono total por hectárea en *Pinus pseudostrobus*, considerando el manejo forestal actual a 100 años.
- c) Representación. Cada polígono del mapa se representó según un dominio de clase que incluyó los valores de densidad de carbono y otro valor para los demás usos de suelo y subrodales forestales sin *Pinus pseudostrobus*.
- d) Impresión. El despliegue final del mapa muestra las clases representadas por códigos de colores y asociadas a un cuadro de leyenda.

## 7.7. Escenarios

Con base en los datos del contenido de carbono, estimados mediante el modelo de CO<sub>2</sub> Fix, se establecieron los siguientes escenarios:

- 1) Se consideró un escenario de preservación en donde no se realicen procesos de cosecha o aclareo. Debido a que el modelo de CO<sub>2</sub> Fix no está diseñado para estimar el contenido de carbono en este tipo de escenarios, se decidió establecer valores máximos y mínimos de carbono por hectárea y superficie total.
- 2) Se consideró un escenario de manejo alterno, en donde se calculó la capacidad de almacenamiento del sistema, en caso de continuar con los ciclos de corta actuales y suponiendo que los productos maderables son de larga durabilidad.

Para estimar las posibles implicaciones en cuanto a la captura de carbono en ambos escenarios se obtuvo la *captura unitaria neta de carbono (Cnet)*. La *Cnet* se refiere al valor de la resta de una opción de uso alternativo respecto de una opción de manejo establecido (Masera, 1995). Se representa como:

$$Cnet = Ctp - Ctref$$

Donde *Cnet* es la fijación neta de carbono, *Ctp* es el carbono total fijado en el proyecto, y *Ctref* es el carbono total fijado en el uso alternativo del suelo.

Finalmente, ya que la CINSJP tiene el interés de incorporarse a nuevas formas de aprovechamiento forestal, se estimó un posible beneficio económico en cuanto a la captura potencial de carbono, suponiendo un precio de US\$10 por tonelada de carbono capturada.

## RESULTADOS

---

### 8.1. Base de Datos

Se obtuvieron 3104 sitios o unidades de muestreo con *Pinus pseudostrobus* relacionados a 122 rodales y 913 subrodales forestales. Estas cifras representan respectivamente el 90% y 70% del total de las unidades forestales y unidades de manejo de la CINSJP (Figura 8.1.). El área total de las unidades de manejo seleccionadas equivale a 8,679 ha.

#### *Calidad de sitio (CS)*

Respecto a la determinación de la calidad de estación o sitio para *Pinus pseudostrobus*, la mitad de los subrodales corresponden a la calidad de sitio II y casi el total restante pertenece a la calidad de sitio I. Solamente un 11 % queda en la calidad III, la clase de más baja calidad de madera (Figura 8.2).

#### *Incremento corriente anual (ICA)*

De acuerdo con el modelo de regresión exponencial, el incremento promedio en volumen por hectárea disminuye con la edad a una tasa anual de 3 %. Como se observa en los incisos (a) y (b) de la figura 8.3, el ajuste de los datos es más confiable para aquellos que se encuentren entre los 40 y 60 años de edad. Sólo en el caso de la calidad III (c), en donde los valores de ICA se encuentran muy dispersos, la predicción del crecimiento es en general poco confiable.

### 8.2. Tablas de crecimiento

Para la elaboración de las tablas de crecimiento se integró la información de la calidad de sitio III junto con la calidad de sitio II. Si bien las diferencias entre las curvas son estadísticamente significativas (figura 8.3), la incertidumbre en el crecimiento de la calidad III ( $r^2 = 0.3328$ ) dificulta su empleo en el modelo de captura de CO<sub>2</sub> fix.

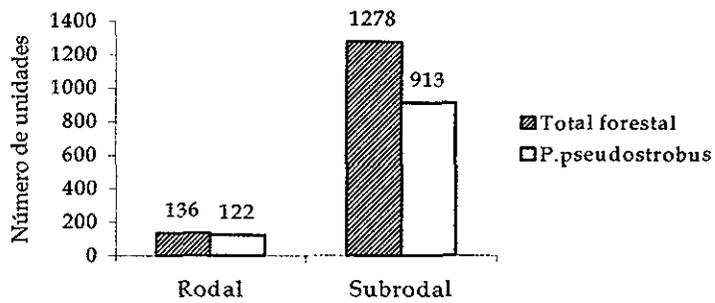


Figura 8.1. En las barras axuradas se observa el número total de rodales y subrodales forestales de la CINSJP, mientras que en las barras lisas se muestra a las unidades con al menos un sitio con *Pinus pseudostrobus*.

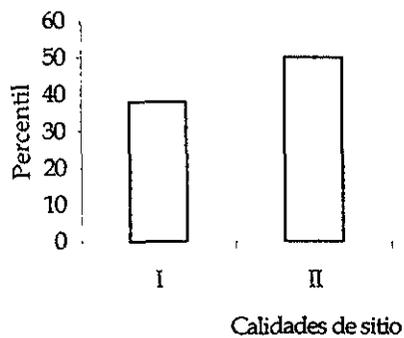


Figura 8.2. Distribución de los subrodales con *P. pseudostrobus* para las calidades de sitio I, II y III.

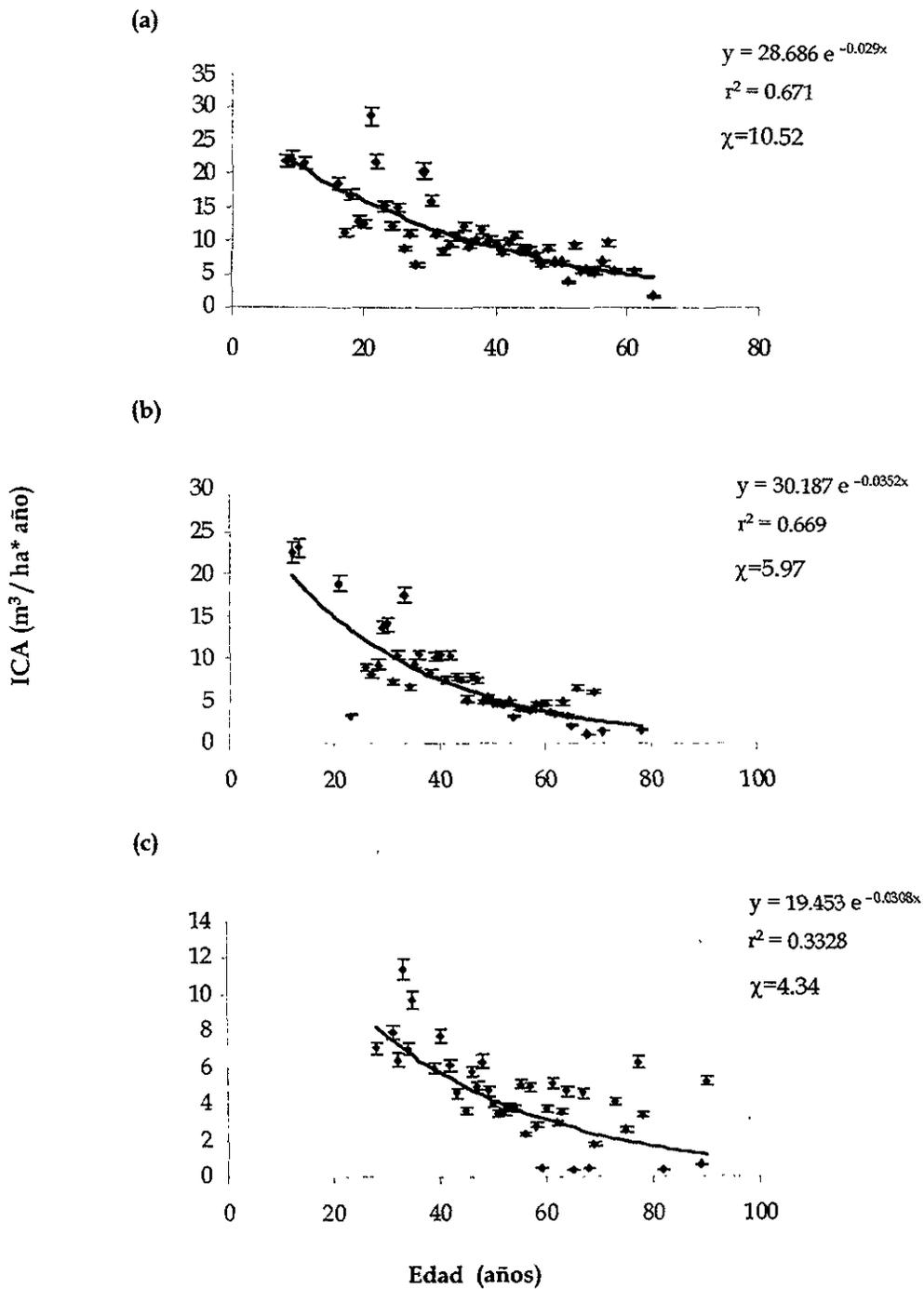


Figura 8.3. Ajuste exponencial para los datos del incremento corriente anual (ICA) para las calidades de sitio I (a), II (b) y III (c). De acuerdo con la prueba de Tukey para un  $\alpha=0.05$ , las diferencias entre las tres curvas son estadísticamente significativas ( $P<0.05$ ).

En la figura 8.4. se observan los valores del ICA distribuidos conforme a la calidad de sitio I y la calidad II-III. Los coeficientes de determinación ( $r^2$ ) indican que ambas curvas explican en más de un 60% la relación ICA-Edad. Al igual que en el análisis exponencial anterior, las curvas decrecen a una tasa anual del 3%. Los valores estimados para el ICA, se aprecian en las tablas de crecimiento del cuadro 8.1.

## 8.2. Modelo de CO<sub>2</sub> Fix

### *Balance de carbono*

Como se observa en la figura 8.5. el contenido total de carbono por subrodal, tanto en la calidad I (a) como en la calidad II-III (b), presenta un crecimiento escalonado el cual se repite en cada ciclo o turno. Al realizarse una remoción de la biomasa de forma parcial (por ejemplo, con los aclareos) o total, el contenido de carbono en suelo y en productos aumenta. Es importante mencionar que únicamente se consideró la información a partir de los 50 años de edad del arbolado, a fin de simular un subrodal ya establecido.

Respecto al incremento del contenido de carbono por hectárea (figura 8.6), la curva total en ambas calidades tiende a estabilizarse después de los 100 años. La densidad de carbono en suelo muestra cierta estabilidad después de los 100 años; el valor máximo de la calidad I equivale a 114 tonC/ha y el de la calidad II-III a 109 tonC/ha. En cambio el valor del contenido de carbono en biomasa permanece constante durante todos los ciclos de corta. Así, en la calidad I la densidad de carbono permanece en 82 tonC/ha, en tanto que en la calidad II-III en 72 tonC/ha. Por último, la curva de la densidad en productos tiende a incrementarse en cada cosecha o aclareo hasta los 130 años. Después de tal edad parece estabilizarse en 44 tonC/ha para la calidad I y en 38 tonC/ha para la calidad II-III.

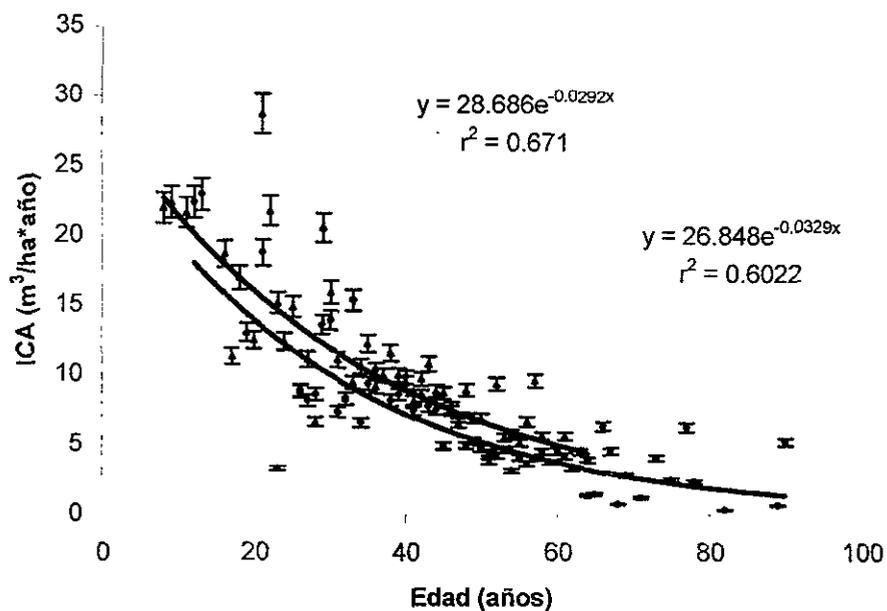


Figura 8.4. Curvas de crecimiento para *Pinus pseudostrobus* en dos calidades de sitio. El ajuste de la regresión exponencial muestra dos curvas que decaen de manera casi paralela, siendo la calidad I la que alcanza los valores más altos de ICA por edad. Los datos de la calidad I están representados por triángulos y los de la calidad II-III por los círculos. En ambos se ha representado la desviación estándar mediante barras.

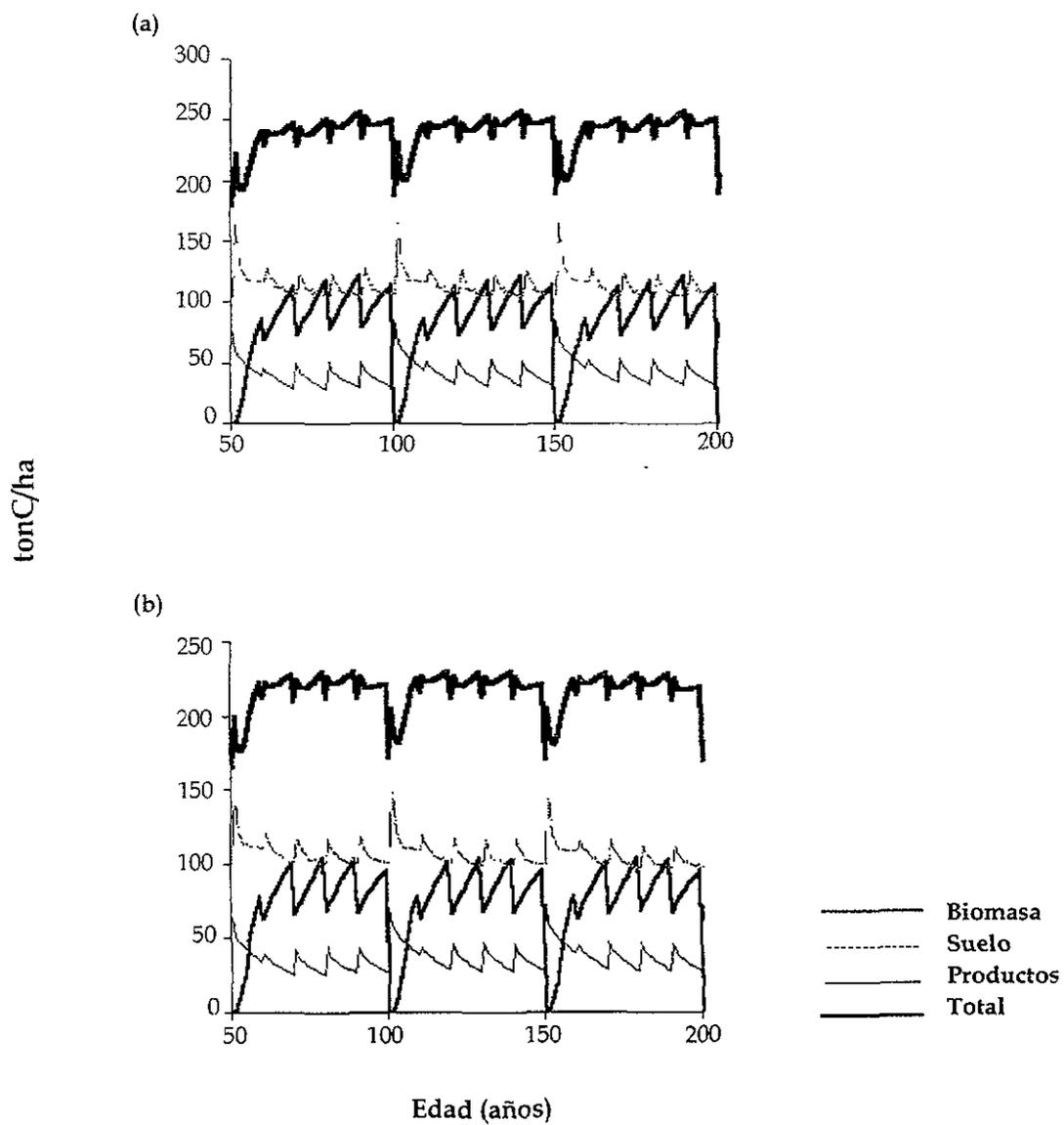


Figura 8.5. Contenido de carbono por subrodal para las calidades I (a) y II-III (b). Al disminuir la biomasa en cada ciclo, el contenido de carbono en suelo y productos alcanza un valor máximo.

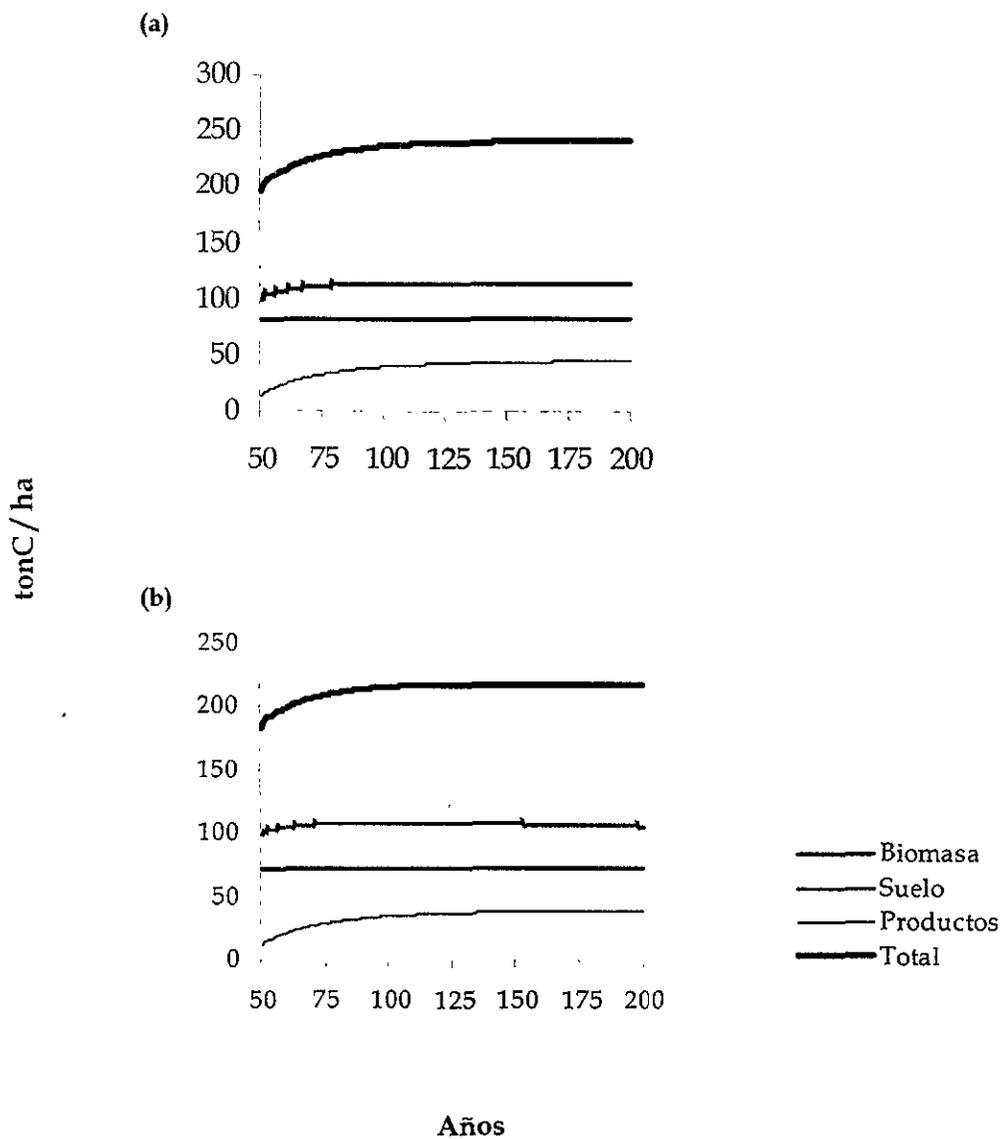


Figura 8.6. Balance de carbono por hectárea (total y por reservorio), para la calidad de sitio I (a) y la calidad de sitio II-III (b). Debido a que el modelo de CO<sub>2</sub> Fix simula la captura de carbono en una plantación forestal, en este estudio se utilizó la información obtenida después de los 50 años del arbolado, a fin de simular un bosque ya establecido.

### *Clases de densidad de carbono*

A partir de la información anterior se establecieron dos clases de contenido de carbono por hectárea, para un periodo de manejo forestal de 100 años. Como se aprecia en el cuadro 8.2., la clase I alcanza una densidad total de carbono de 237 tonC/ha, mientras que la clase II presenta una densidad total de 216 tonC/ha.

Al multiplicar las densidades de carbono por la superficie de cada clase, se calculó que los bosques de Nuevo San Juan tienen la capacidad de almacenar un total de 1.9 millones de tonC en el largo plazo (cuadro 8.3.). De esta cantidad, el 60 % corresponde a subrodiales con la clase II (mapa 8.1.).

### **8.3. Escenarios**

#### *Preservación*

Para una estimación a 100 años, pero ahora en un escenario donde no se efectúe el aprovechamiento comercial de la madera, se tiene que la densidad de carbono total en la clase I puede oscilar entre 228 y 283 tonC/ha, mientras que la clase II varía entre 205 y 251 tonC/ha (cuadro 8.4.). Estos intervalos son resultado de que el modelo de CO<sub>2</sub> Fix considere que en la dinámica natural del bosque sucedan o no autoaclareos. Los autoaclareos representan pérdidas en la biomasa, como por ejemplo, cuando individuos de la misma especie y edad provocan la caída de sus ramas debido a que crecen muy cerca el uno del otro.

De considerarse los autoaclareos, el aporte de la biomasa al suelo forestal hace que éste alcance un valor de densidad de carbono alto. Por el contrario, si los autoaclareos no ocurren, la biomasa presenta un valor de densidad incluso mayor al del contenido de carbono en suelo (cuadro 8.4.). Bajo este escenario, la CINSJP tendría la capacidad de almacenar desde 1.8 millones de tonC hasta 2.3 millones de tonC en el largo plazo (cuadro 8.5.).

Cuadro 8.2. Densidad potencial de carbono (tonC/ha) para *P.pseudostrobus* en un esquema de manejo a 100 años. La clase I corresponde a una densidad de carbono alta y la clase II a una densidad moderada.

	Clase I	Clase II
Biomasa	83	72
Suelo	114	109
Productos	40	35
Total	237	216

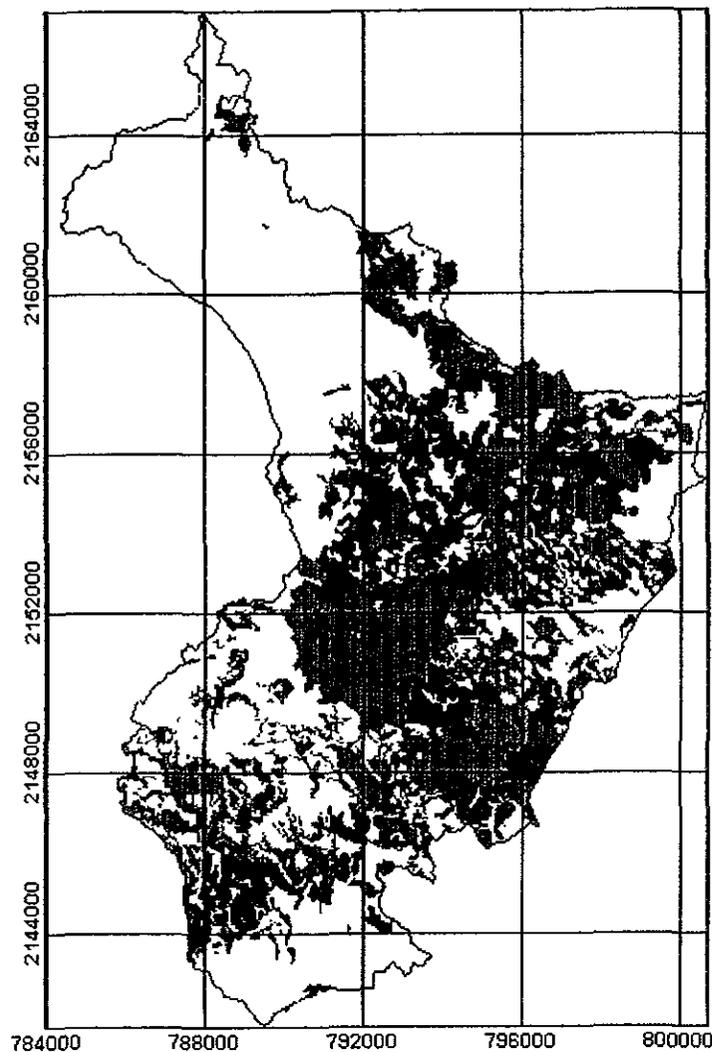
Cuadro 8.3. Contenido de carbono (KtonC) estimado a 100 años, para biomasa, suelo y productos en *Pinus pseudostrobus*.

	Clase I	Clase II	Total
Biomasa	265	395	660
Suelo	368	593	961
Productos	130	192	322
Total	763	1180	1943

Cuadro 8.4. Densidad de carbono (tonC/ha) máxima y mínima, para un escenario de preservación a 100 años. El primer dato de cada intervalo corresponde a un escenario de autoaclareo.

	Clase I	Clase II
Biomasa	105-184	89-157
Suelo	123-99	116-94
Productos	0	0
Total	228-283	205-251

**Mapa 2. Densidad de carbono (tonC/ha) a largo plazo, 100 años, para *Pinus pseudostrobus*.  
Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México**



- Clase I (237 TonC/ha)
- ▒ Clase II (216 TonC/ha)
- Sin cobertura dominante de *P. pseudostrobus*



Coordenadas UTM  
Proyección Universal Transversal de Mercator  
DATUM NAD27  
Esferoide de Clark 1866

0 5000 m



Biología - Facultad de Ciencias  
Universidad Nacional Autónoma de México

Elaboró: Marcela Olguín-Alvarez

Fuente: Mapa de rodales y subrodales, DTF-CINSJP.

Cortez et al. (en preparación)

Cuadro 8.5. Contenido de carbono (KtonC) estimado a 100 años, para biomasa, suelo y productos en *Pinus pseudostrobus*.

	Clase I	Clase II	Total
Biomasa	338-592	484-858	822-1450
Suelo	395-317	633-514	1028-831
Productos	0	0	0
Total	733-909	1117-1373	1850-2282

Cuadro 8.6. Densidad de carbono (tonC/ha) en *Pinus pseudostrobus*, para un escenario de manejo en donde los productos tienen un promedio de vida de 100 años.

	Clase I	Clase II
Biomasa	83	72
Suelo	114	109
Productos	50	43
Total	247	224

Cuadro 8.7. Contenido de carbono (KtonC) en *Pinus pseudostrobus*, para un escenario de manejo en donde los productos tienen un promedio de vida de 100 años.

	Clase I	Clase II	Total
Biomasa	265	395	660
Suelo	368	594	962
Productos	161	237	398
Total	794	1226	2020

### *Manejo alterno*

En el escenario del sistema de manejo forestal actual (turnos de 50 años), pero donde el aprovechamiento está orientado a la producción de materiales con un tiempo de vida promedio de 100 años, se estimó una densidad total de carbono de 247 tonC/ha para la clase I y de 224 tonC/ha para la clase II (cuadro 8.6).

En cuanto al contenido total de carbono se estimó un valor total de 2 millones tonC repartidas en 0.79 millones de tonC de la clase I y 1.23 millones de tonC de la clase II (cuadro 8.7). El aumento en la duración de los productos no modifica el contenido total de carbono en suelo ni en biomasa.

### *Preservación y Manejo*

Para comparar el contenido de carbono almacenado en los distintos escenarios descritos se analizaron las curvas totales de biomasa y productos. Esto debido a que se tiene poca información sobre la dinámica local en suelo y se prefirió establecer un pronóstico conservador en cuanto al incremento neto de carbono o captura.

Como se observa en los incisos (a) y (b) de la figura 8.7, la densidad de carbono bajo el manejo actual aumenta paulatinamente hasta los 100 años y posteriormente tiende a estabilizarse. En cambio las curvas inferior y superior del escenario de preservación incrementan de forma acelerada hasta un valor máximo a los 100 años, después del cual decrecen ligeramente. Por último, la curva de manejo alterno comienza un aumento muy parecido al manejo actual, sin embargo, sigue incrementando de forma indefinida en el tiempo.

Si se considera la suma de las densidades de carbono en el manejo actual, las diferencias en cuanto al escenario de preservación y al de manejo alterno varían de

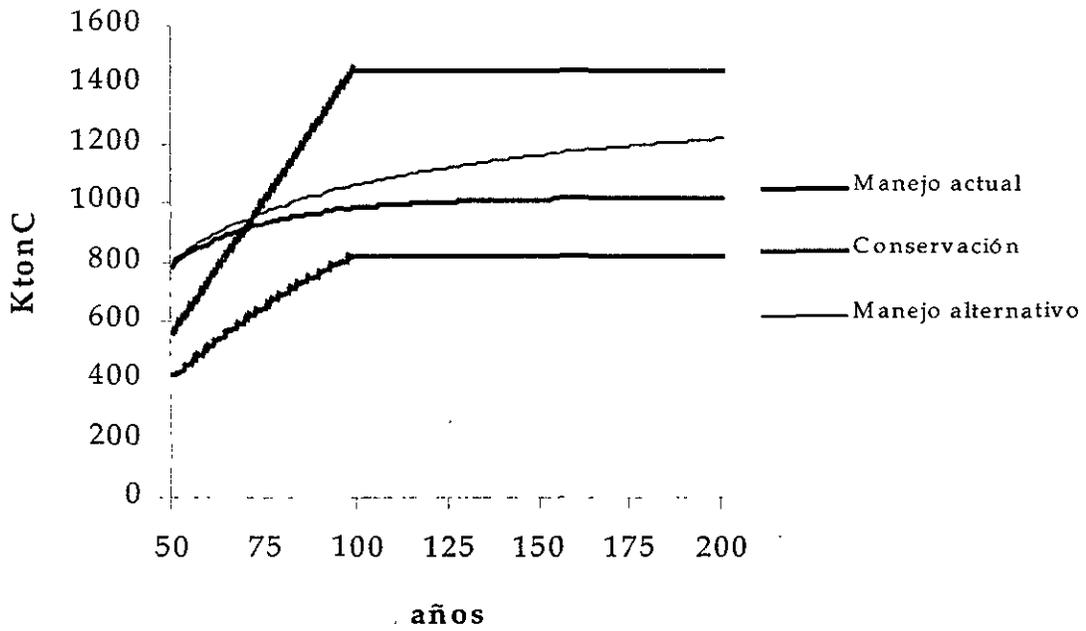


Figura 8.7. Contenido total de biomasa en el manejo actual y en los escenarios de preservación y manejo alterno.

forma considerable. Como se aprecia en el cuadro 8.8., la captura neta en el escenario de preservación va de -36 tonC/ha a 111 tonC/ha, mientras que en el escenario alterno la captura es de 18 tonC/ha.

Finalmente, al multiplicar las densidades de carbono por la superficie de cada clase, la comunidad de Nuevo San Juan tiene la capacidad de almacenar bajo el escenario de manejo forestal actual 0.98 millones de tonC/ha. Sin embargo, este valor podría incrementarse hasta 1.06 millones de tonC si se incorpora el manejo alterno o incluso hasta 1.45 millones de tonC/ha de considerarse el valor de densidad más alto del escenario de preservación (cuadro 8.9.).

**Cuadro 8.8. Densidad de carbono (tonC) en biomasa y productos en el largo plazo (100 años), para el manejo actual y los escenarios propuestos de preservación y manejo alterno.**

	Clase I	Clase II	Total
Manejo actual	123	107	230
Preservación	105-184	89-157	194-341
Manejo alterno	133	115	248

**Cuadro 8.9. Contenido de carbono (KtonC) en biomasa y productos en el largo plazo (100 años), para el manejo actual y los dos escenarios propuestos**

	Clase I	Clase II	Total
Manejo actual	395	587	982
Preservación	338-592	484-858	822-1450
Manejo alterno	426	632	1058

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

---

### 9.1. El contenido de carbono en *Pinus pseudostrobus*

Los sitios o unidades de muestreo con *Pinus pseudostrobus* poseen una amplia representación en el total de los subrodales y rodales forestales de la CINSJP. La capacidad productiva de los bosques donde esta especie domina, medida en m<sup>3</sup> de madera comercial, corresponde en su mayoría a calidades de sitio moderadas, seguidas de calidades de sitio altas.

Debido a lo escaso y variable de la información dasométrica en los sitios jóvenes y viejos, la estimación del incremento promedio anual del arbolado (ICA) fue más confiable para edades cercanas a los 50 años (tiempo en que culmina el ciclo de corta). Este hecho coincide con un estudio realizado por Aguilar y Aguilar (1991) sobre el crecimiento de cuatro especies de Pino en la CINSJP, en donde se sobreestiman los valores del incremento en árboles menores a los 40 años y subestiman en árboles mayores a los 60 años.

La incertidumbre en el crecimiento del arbolado no parece haber afectado el contenido de carbono por hectárea en el largo plazo, pues éste resultó similar a lo reportado por otros estudios en bosques templados manejados (cuadro 9.1.). Así, con base en la estimación del modelo de CO<sub>2</sub> Fix, las densidades de carbono en los bosques con *Pinus pseudostrobus* en la CINSJP van de 216 tonC/ha en una calidad de sitio moderada a 237 tonC/ha en una calidad de sitio alta. Esto significa que de seguir con el manejo forestal actual, la CINSJP tendría la capacidad de almacenar 1.9 millones de tonC en un plazo de 100 años.

### 9.2. Los escenarios de preservación y manejo alterno

Bajo el escenario de preservación obtenido con el modelo CO<sub>2</sub> Fix, no es posible establecer con exactitud un valor de captura (la densidad de carbono sólo pudo

**Cuadro 9.1. Captura unitaria de carbono (tonC/ha) en bosques manejados. Los valores mínimos y máximos en este estudio y en el de Nabuurs y Mohren (1993), corresponden a calidades de sitio moderadas y altas**

	Biomasa y productos	Suelo	Total
Bosques templados de Norteamérica (Nabuurs y Mohren, 1993)	196-248	143-150	339-398
Bosques templados en México (Masera, 2000)	114	120	234
Bosque de <i>Pinus pseudostrobus</i> (Ordoñez, 1999)	123	94	217
Bosque de <i>Pinus pseudostrobus</i> (este estudio)	107-123	109-114	216-237

**Cuadro 9.2. Estimación del potencial de captura de carbono por superficie total (KtonC) en biomasa y productos en *Pinus pseudostrobus*, respecto al manejo forestal actual**

	Escenario	-	Manejo actual	=	Captura por superficie total
Conservación					
Límite superior	1450	-	982	=	468
Límite inferior	622	-	982	=	-160
Manejo alternativo	1058	-	982	=	76

ser expresada en intervalos). Sin embargo, de comparar la biomasa y los productos de este escenario con el manejo forestal actual, la diferencia de carbono en el largo plazo y por superficie total sería de -160 a 468 KtonC (cuadro 9.2).

Si bien para establecer el valor económico se necesita cumplir con una serie aspectos (ver capítulo 5), es posible calcular al menos de forma preliminar, cuál es el esquema más optimista sobre la captura unitaria neta de carbono. Así, con base en un precio de venta de US\$10 por tonelada capturada (Montoya *et al.*, 1995) y suponiendo la captura máxima en el escenario de preservación, la mitigación de carbono a través de los bosques de *Pinus pseudostrabus* de la CINSJP representaría un beneficio económico de más de 4 millones de dólares.

Un escenario como el de preservación supone, además de ventajas económicas y ambientales, beneficios ecológicos locales. Por ejemplo, al destinar zonas forestales para preservación de CO<sub>2</sub> podría mejorar la dinámica y reproducción de ciertos grupos de mamíferos en la zona, los cuales de acuerdo con Torres (en preparación), han sido en parte alterados por el manejo permanente de los bosques.

Hay que tomar en cuenta que de plantear un escenario de preservación estricto, las ventajas antes mencionadas podrían limitarse por la presencia de fugas. Es decir, es probable que la demanda no satisfecha por los productos forestales (reconociendo la importancia que tiene para la CINSJP la industria maderera), al final, sólo desplace a otro sitio las presiones ecológicas y económicas generadas entorno a tales recursos, incrementando las emisiones de carbono y reduciendo los beneficios netos esperados.

En cuanto al escenario de manejo alterno, el incremento neto de carbono a 100 años corresponde a 76 mil toneladas (cuadro 9.2). A pesar de que este valor es mucho

menor al de la captura máxima del escenario de preservación, destaca el que se incrementa indefinidamente en el tiempo. Esto contribuye a aplazar la reincorporación de los GEI a la atmósfera y evita algunos de sus efectos nocivos por acumulación (Beaumont y Merenson, 1999).

Bajo el esquema actual del Protocolo de Kioto se asume que el carbono en productos es liberado inmediatamente a la atmósfera, por lo que los proyectos forestales no requieren de su cuantificación (Olander, 2000). Sin embargo, proyectos de manejo como éste, que responden a una demanda permanentemente de productos, reducen la posibilidad de fugas. De hecho, Beaumont y Merenson (1999) mencionan que el manejo mejorado del bosque nativo, mediante el uso adecuado de productos (construcción y muebles) y el reciclado de materias primas forestales, disminuye la presión de la tala y permite la rehabilitación y preservación de los sumideros de GEI existentes.

A partir del análisis de los escenarios anteriores lo que se propone es un manejo combinado entre la preservación y el manejo alterno. Es decir, mantener una actividad forestal económicamente viable y permitir la integridad de ciertos componentes y funciones en el ecosistema que garanticen su sustentabilidad. Así, la estimación del contenido de carbono contribuye en alguna forma a la generación de un modelo espacio-temporal, donde la dinámica y distribución de recursos forestales específicos, como los bosques de *Pinus pseudostrobus*, permite la integración de otros enfoques y escalas (Bocco *et al.*, 1998).

### **9.3. El modelo CO<sub>2</sub> FIX y esta experiencia**

El CO<sub>2</sub> Fix es un modelo que se ha empleado para el asesoramiento climático de la PICC, constituye un esfuerzo interinstitucional por documentar, sistematizar y facilitar a un amplio sector los criterios básicos para la cuantificación de la captura de carbono. En esta experiencia, la información del modelo fue complementada

mediante la incorporación de un enfoque espacial y la determinación de calidades de sitio.

La calidad de sitio es un parámetro que define la intensidad y extensión de los tratamientos forestales (Aguilar y Aguilar, 1991), por lo que resulta relevante en la cantidad de carbono que se acumula o libera en el sistema. En cambio, el uso de información espacial es importante ya que permite monitorear la evolución de las emisiones de carbono, mediante la detección de incendios, la clasificación de la cobertura vegetal, la determinación de zonas deforestadas y el cambio de uso de suelo (Noble *et al.*, 2000).

En el presente trabajo los modelos espaciales (percepción remota y los sistemas de información geográfica), junto con el modelo de captura de carbono, se conciben valiosos para la diversificación del uso de suelo y la planeación a largo plazo de los recursos forestales de la CINSJP. Sin embargo, del empleo de este último en la estimación del contenido de carbono, se reconocen algunas limitaciones como son:

- a) El modelo de CO<sub>2</sub> Fix simula condiciones estables en el tiempo sin importar variaciones climáticas, de la calidad de sitio o incluso genéticas. Por ejemplo, en ocasiones se basa en valores promedios de algunos factores como la tasa de descomposición del humus o del carbono en materia seca (Mohren *et al.*, 1999).
- b) El modelo únicamente trabaja con una especie a la vez, por lo que no permite comprender del todo la dinámica entre las especies del bosque (v.g. competencia)
- c) En ocasiones la estimación de carbono puede ser errónea debido a la falta de información o por la forma en que ésta se incorpora al modelo (Nabuurs y Mohren, 1993). Por ejemplo, debido a que la mayor parte de la información para suelo en este estudio no fue local, ésta no fue utilizada en la comparación de los escenarios.

Además de los retos técnicos antes mencionados, existen también retos para el establecimiento de la línea base, los beneficios adicionales y las fugas. Especialmente cuando se trata de estimaciones a nivel regional o de país en donde se supone disminuye la precisión y confianza de los resultados. De esta manera, el presente trabajo también pretende contribuir mediante información local, al perfeccionamiento de las técnicas de valoración y de los marcos conceptuales existentes relacionados al estudio del cambio climático global.

#### **9.4. La valoración de la captura de carbono y el manejo forestal en el contexto nacional**

La falta de beneficios económicos inmediatos derivados del aprovechamiento de recursos forestales, son en el país una de las causas principales de que las comunidades busquen alternativas más rápidas, como la ganadería y la agricultura, a costa del detrimento de las zonas de bosque (INE-SEMARNAP, 2000). En este sentido las estrategias de manejo de los bosques, tradicionalmente han ignorado la propiedad comunal y minimizado los beneficios del bosque (Klooster y Masera, 2000).

La participación de México ante el cambio climático será prometedora en la medida que se reconozca en el país la importancia de este sector, se establezcan medidas que eviten la competencia de otros usos de suelo en detrimento de éste y se reconozca explícitamente la participación del manejo forestal en la mitigación del cambio climático (INE-SEMARNAP, 2000). Para ello, debe de garantizar la credibilidad a través de políticas forestales y de energía adecuadas, de inventarios confiables sobre sus recursos forestales y de un marco institucional transparente.

Además de su importancia en la mitigación de los GEI y el cambio climático, el sector forestal del país tiene un papel muy importante en lo que se refiere a preservación de la biodiversidad, mejora de la calidad de vida de sus poseedores y

ayuda al desarrollo económico (Klooster y Masera, 2000). Contrario a lo que se pensaría, un problema tan grave como el cambio climático es una oportunidad para valorar de manera efectiva los recursos naturales y en particular los forestales de nuestro país (INE-SEMARNAP, 2000).

La valoración económica-ecológica de la biodiversidad y en especial del servicio de captura de carbono constituye hoy día una herramienta clave para la protección y uso sustentable de la misma, pues pretende mostrar que el beneficio que resulta de dicha actividad, puede ser mayor en términos de desarrollo económico y social, que la que se obtiene de actividades asociadas a su mal manejo y destrucción.

## Literatura citada

- Alvarez-Icaza, P. 1993. Forestry as a social enterprise. *Cultural Survival*, 17 (1):45-47.
- Aguilar R.M. y S.D. Aguilar. 1991. Determinación de la "calidad de estación" en los bosques de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. *Revista de Ciencia Forestal en México*, 16 (69): 35-57.
- Azqueta, D. 1994. *Valoración de la calidad ambiental*. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. Madrid, España.
- Bazzaz, F.A., J.S. Coleman y S.R. Morse. 1990. Growth responses of seven major co-occurring tree species of the northeastern United States to elevated CO<sub>2</sub>. *Can. J. For. Res*, 20: 1479-1484.
- Bazzaz, F.A. y E.W. William. 1991. Atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations within a mixed forest: implications for seedling growth. *Ecology*, 72(1): 12-16.
- Beaumont, R.E. y C.E. Merenson. 1999. *El Protocolo de Kyioto y el Mecanismo para un Desarrollo Limpio: Nuevas posibilidades para el Sector Forestal de América Latina y el Caribe*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Departamento de Montes, FAO, Roma.
- Belausteguigoitia, J.C. y O.P. Soriano. 1996. Valuación económica del medio ambiente y de los recursos naturales. *Economía Informa*, 253:45-55.
- Bingham, G., R. Bishop, M. Brody, D. Broley, E. Clark, W. Cooper, R. Constanza, T. Hale, G. Hayden, S. Kellert, R. Norgaard, B. Norton, J. Payne, C. Russell y G. Suter. 1995. Issues in ecosystem valuation: improving information for decision making. *Ecological Economics*, 14: 73-90.
- Bocco, G., A. Velázquez y C. Siebe. 1998a. Managing natural resources in developing countries: the role of geomorphology. *Conservation Voices*, 1(4): 26-27.
- Bocco, G., M. Mendoza y O. Masera. En prensa. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*.
- Bocco, G., F. Rosete y P. Bettinger. En prensa. GIS training for forest management in developing countries. *Journal of forestry*.

- Brown, S., O. Masera y J. Sathaye. 2000. Project-Based Activities. En: *Land use, land-use change, and forestry*. pp 283-338. IPCC. Cambridge University Press.
- Carabias, J. , E. Provencio y C. Toledo. 1994. *Manejo de recursos naturales y pobreza rural*. UNAM-FCE, México.
- CMNUCC. 1998. *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. <http://www.unfccc.de/fccc/conv/conv.htm>
- Constanza, R.1991. *Environmental Economics: The Science and Management of Sustainability*. Columbia University Press. New York.
- Constanza, R., R. Darge, R. Degroot, S.Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V.O'Neil, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton, and M. Vandenbelt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- Cortez, J.G. En preparación. *Elaboración de un modelo espacio temporal de aprovechamiento integral del recurso forestal*. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, UNAM
- Cortez, J.G., A. Velásquez, H. Ramírez y G. Bocco. En preparación. Plan de manejo forestal automatizado en comunidades indígenas del centro de México.
- Challenguer, A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*. CONABIO-Instituto de Biología, UNAM-Sierra Madre, México.
- Chávez, L.G. En preparación. *Abundancia y éxito reproductivo de la gallina de monte (Dendrortyx macoura) como indicadores de calidad de hábitat*. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Christensen Jr., N. y J. Frankling. 1997.Ecosystem function and ecosystem management. En: R. D. Simpson y N. Christensen Jr. (editores). *Ecosystem function and human activities: reconciling economics and ecology*. International Thomson Publishing, New York, N.Y
- Daly, G.C., S. Alexander, P.R. Ehrlich, L. Goulder, J. Lubchenco, P.A. Matson, H.A. Mooney, S. Postel, S.H.Shneider, D.Tilman y G.M. Woodwell. 1996. Ecosystems services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology*, 2:1-16.

- Daly, G.C. 1997. Introduction: what are ecosystem services?. En: G.C. Daily (editor). *Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press. Washinton, D.C.
- Dixon, R.K., J.K. Winjum y P.E. Schroeder. 1993. Conservation and sequestration of carbon: The potential of forest and agroforest management practices. *Global Environmental Change*, 159-173 .
- DTF-CINSJP, 1998. Dirección Técnica Forestal-Cominidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro. *Plan de Manejo Forestal 1998-2007*.
- FAO. 1993. *Ordenación y conservación de los bosques densos de América Tropical*. Roma, Italia.
- FAO. 1999. *State of the world's forest*. Rome Information Divison. Roma, Italia.
- Ferrusquía, V.I. 1998. Geología de México: una sinopsis. En: Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. *Diversidad Biológica de México*. Instituto de Biología, UNAM. México.
- Field, B. C. 1995. *Economía ambiental: una introducción*. Mc Graw-Hill Interamericana S.A. Columbia.
- Fregoso, A. 2000. *La vegetación como herramienta base para la planeación, aprovechamiento y conservación de los recursos forestales: El caso de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich., México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.
- García, E. 1989. *Apuntes de Climatología*. Facultad de Ciencias. UNAM. México.
- GEF-UNEP. 1999. Technical Advisory panel of the Global Environment Facility - United Nations Environment Program. Report of Biodiversity Conservation in Managed Forests. Mexico.
- Haites, E. y F.Yamin. 2000. The clean development mechanism: proposals for its operation and governance. *Global Environmental Change*, 10: 27-45.
- Hardin, G. 1968. The tragedy of the commons. *Science*, 162: 1243-1248.
- Hoffmann, R. 1996. Problemas y perspectivas de la valoración de recursos y procesos naturales: análisis de costo-beneficio en áreas rurales del "Tercer Mundo". *Economía Informa*, 253:29-44.

- INE-SEMARNAP. 2000. *Estrategia Nacional De Acción Climática: Estados Unidos Mexicanos*. Primera Edición. ([www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx))
- ILWIS. 1997. *Integrated Land and Water Information System, versión 2.1. User's Manual*. International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC), Enschede, The Netherlands.
- Klooster, D. y O. Masera. 2000. Community forest management in Mexico: carbon mitigation and biodiversity conservation through rural development. *Global Environmental Change*, 10 (4) :259-272.
- Leff, E. 1998. *Saber ambiental. Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. Siglo XXI editores, UNAM y PNUMA, México, D.F.
- Lobato, J. 1999. *Los mamíferos de la Comunidad de Nuevo San Juan Parangaricutiro, México, Michoacán*. Tesis de Licenciatura, UMSNH.
- Martínez, M. 1992. *Los Pinos de México*. 3<sup>ra</sup> edición. Ediciones Botas. México, D.F.
- Mas-Porras, M. 1992. *Evolución de los recursos forestales en Michoacán hacia el año 2000, México*. UMSNH, (3): 25-37.
- Masera, O. 1995. *Estimación de parámetros biológicos e indicadores económicos para proyectos forestales de captura de carbono*. Documento de trabajo No. 16. Grupo Interdisciplinario de tecnología Rural Apropriada (GIRA).Michoacán, México.
- Masera, O., J.M. Ordoñez y R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Deforestation in Mexico: Current situations and long-term scenarios. En: W. Makundi and Sathaye (editors). *Carbon emissions and sequestration in forest: case studies from seven developing countries*. Berkeley, California.
- Masera, O., D. Masera y J. Navia. 1998. *Dinámica y uso de los recursos forestales de la Región Purépecha: El papel de las pequeñas empresas artesanales*. Grupo interdisciplinario de tecnología rural aplicada, A.C. Michoacán, México.
- Masera, O. 1999. Cambio climático global y desertificación de los suelos en México. En: Siebe, C. , H.C. Rodarte, J.Etchevers, K. Oleschko. *Conservación y restauración de suelos*. pp 180-195. UNAM-PUMA.

- Masera, O., B. De Jong, I. Ricalde y A. Ordoñez. 2000. *Consolidación de la Oficina Mexicana para la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero*. Reporte Final. Instituto de Ecología-UNAM y ECOSUR.
- Mc Neely, J.A. 1988. *Economics and biological diversity: developing and using economic incentives to conserve biological resources*. IUCN, Gland, Switzerland. xiv + 232.
- Moheno, C. 1985. *Las historias y los hombres de San Juan*. Colegio de Michoacán y CONACYT.
- Mohren, G.M.J. y C.G.M. Klein Goldewijk. 1990. *CO<sub>2</sub> FIX: A dynamic model of the CO<sub>2</sub>- fixation in forest stands*. De Dorschkamp, Research Institute for Forestry and Urban Ecology. Report 624. 35 p. + app. Wageningen, The Netherlands
- Mohren, G.M.J., J.F. Garza Caligaris, O. Masera, M Kanninen, T. Karjalainen y G.J. Nabuurs. 1999. *CO<sub>2</sub> FIX for Windows: A dynamic model of the CO<sub>2</sub> fixation in forest stands*. IBN Research Report 99/3 Institute for Forestry and Nature Research, Instituto de Ecología, UNAM, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), European Forest Institute. Wageningen The Netherlands, Morelia, México, Turrialba, Costa Rica, Joensuu, Finland.
- Montoya, G., L. Soto, B. De Jong, K. Nelson, P. Farias, P. Yakac, J.H. Taylor y R. Tipper. 1995. *Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas*. Cuadernos de trabajo No. 4. INE. México, D.F.
- Nabuurs G.J. y G.M.J. Mohren. 1993. *Carbon fixation through forestation activities: A study of the carbon sequestering potential of selected forest types, commissioned by the Foundation Face*. IBN Research. Report 93/4. Institute for Forestry and Nature Research, Forests Absorbing Carbon dioxide emission. The Netherlands.
- Noble I., M. Apps, R. Houghton, D. Lashof, W. Makundi, D. Murdiyarso, B. Murray, W. Sombroek y R. Valentini. 2000. Implications of different definitions and generic issues En: *Land use, land-use change, and forestry*. pp 53-126. IPCC. Cambridge University Press.
- Olander, J. 2000. *Las opciones forestales en el mecanismo de desarrollo limpio. Un resumen de los principales temas para los países andinos*. Unidad Técnica

Regional de Nature Conservancy, Región Andina y Cono Sur.  
EcoDecisión Cia. Ltda. Quito Ecuador.

- Ordoñez, A. 1999. *Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán*. INE-SEMARNAP. México, D.F.
- Ortiz, M. S. G. 1997. *Diseño e implementación de un programa de educación ambiental n formal en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán y lineamientos para realizar programas de educación ambiental en comunidades rurales*. Tesis de Licenciatura, UMSNH.
- Panayotu, T. 1994. *Ecología, medio ambiente y desarrollo: Debate crecimiento vs. conservación*. Ediciones Gernika, México.
- PK. 1997. Protocolo de Kioto. [www.unfccc.int/resource/convkp.html](http://www.unfccc.int/resource/convkp.html)
- Ramírez, M. 1994. *Elaboración de tarifas de volúmenes a partir de análisis troncales*. *Revista de Ciencia Forestal en México*, 19 (76): 89-101.
- Reyna, H.R. 1998. *Implementación de un criadero de venado cola blanca en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich., México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. UMSNH.
- Rosete, F. 1998. *Diseño de base de datos para su aplicación en la evaluación de tierras de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México*. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Biología, UMSNH.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México.
- SAS. 1997. *Statistical Analysis System: SAS user's guide 6.12*. SAS Institute Inc, USA.
- Sánchez-Pego, .M.A. 1995. *La empresa agroforestal de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México*. Pp. 165-192. En: IES (Ed). *Empresas Forestales Comunitarias en las Américas: Estudios de Caso (Memoria del Simposio "Aprovechamientos Forestales en las Américas. Manejo Comunitario y Sostenibilidad"*. Land Tenure Center- IES. Universidad de Wisconsin- Madison. 3-4 Febrero.
- Sánchez, J.F. 2000. *Uso de suelo y evaluación de la aptitud de tierras en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México*. Tesis de Maestría, Chapingo, Estado de México.

- Scott, M.J., G.R.Bilyard, S.O.Link, C.A.Ulibarri, H.E.Westerdahl, P.F.Ricci y H.E. Seely. 1998. Valuation of ecological resources and functions. *Environmental management*, 22(1):49-68.
- Siebe, C., G. Bocco, A. Velázquez. En preparación. *Caracterización morfoedafológica de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro*.
- Toledo, A. 1998. *Economía de la biodiversidad. Programa de las naciones unidas para el Medio Ambiente*. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. Serie textos básicos para la formación ambiental No. 2. México, D.F.
- Topete, H. 1996. Las estrategias de organización para la producción silvícola en Nuevo San Juan Parangaricutiro. En: Grammont, H.y H., Tejera (coordinadores generales). *La sociedad rural mexicana frente al nuevo milenio. Los nuevos actores sociales y procesos políticos en el campo*. pp 227-250. UAM-Azcapotzalco, UNAM, INAH. México, D.F.
- Torres,G.A. En preparación. *Efecto de la fragmentación de los hábitats forestales en las comunidades de mamíferos de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México*. Tesis de Maestría, UNAM.
- Velázquez, A., G., Bocco, A. Torres. En prensa. Turning scientific approaches into practical conservation actions: the case of Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, México. *Environmental Mangement*.
- Villa-Salas, A.B. 1970. *Una metodología para la medición y el cálculo del incremento en bosques de coníferas*. Dirección General del Inventario Nacional Forestal. México, D.F.
- Vitousek, P.M. 1994. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology*. 75 (7): 1861-1876.

## Anexo A

### Características generales de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Este especie pertenece al género *Pinus* el cual tiene una gran distribución en los bosques templados del país. Los pinos son árboles siempre verdes, con hojas en forma de agujas, cubiertas en su base por una bráctea; tienen frutos en forma de cono leñoso constituido por escamas que guardan en su interior a las semillas (Martínez, 1992). En particular los árboles de *Pinus pseudostrobus* se distribuyen en bosques templados formando coberturas de 15 a 25 metros de altura, aunque en ocasiones llegan a ser mayores. Es muy explotado por su madera dura y resistente. Para Martínez (1992), *Pinus pseudostrobus* Lindl. posee cuatro variedades: *oaxacana*, *apulcensis*, *coatepecensis* y *estevezi*. *P. pseudostrobus* tiene un estrecho parentesco fisonómico con *Pinus montezumae* por lo que en ocasiones es difícil diferenciarlos.

De las características más sobresalientes para su determinación en campo están (Martínez, 1992): a) *hojas*. Delgadas y en grupos de 5, con una longitud de 17 a 24 cm. Son triangulares, flexibles, de color verde intenso y finamente aserradas con los dienteclillos uniformes. Las que forman brácteas son de forma alargada, son espaciadas y poco salientes; b) *Ramas y ramillas*. Ramas extendidas y verticiladas. Ramillas con tinte ceniciento o azulado en sus partes tiernas. Son delgadas y frágiles. Entrenudos largos de color café rojizo; c) *Cono*. Ovoide o largamente ovoide. En general de 8 a 10 cm pero a veces más. Color café claro, extendidos ligeramente encorvados, un poco asimétricos, generalmente por pares. Casi siempre el pedúnculo queda en la ramilla, éste mide de 10 15 mm; d) *Semilla*. Color oscuro, de 6 mm, con ala de unos 23 mm de largo por 6-9 de largo. Son ligeramente triangulares; e) *Corteza*. En los jóvenes casi lisa y en los viejos es áspera y agrietada

## Anexo B

### Fechas importantes en torno a los acuerdos sobre el cambio climático

1988. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), crean un órgano científico-técnico intergubernamental, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC). El PICC posee tres grupos de trabajo: 1) sistema climático; 2) impactos y opciones para enfrentarlos; 3) aspectos económicos y sociales.
1990. La Asamblea General de la ONU, mediante el Comité Intergubernamental de Negociación de un Convenio (CIN) aprueba en 1992, el texto de una Convención.
1992. Durante la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CMNUMAD), 165 países firman la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC), cuyo órgano de decisión suprema es la Conferencia de las Partes (COP).
1994. Cincuenta países ratifican la CMCC la cual en ese año entra en vigor.
1995. Segundo Informe de Evaluación del PICC. Primera Conferencia de las Partes en Berlín (COP-1). Se elabora el Mandato de Berlín con el fin de reforzar los compromisos existentes sobre reducción de emisión de gases de efecto invernadero y se acuerda la creación de un Protocolo ante los insuficientes logros alcanzados. México publica su primer inventario nacional de gases de efecto invernadero, con base en las estimaciones de 1990.
1996. Se realiza la segunda COP en Ginebra, Suiza. Se analiza un instrumento legal sobre las políticas y acciones necesarias para la reducción de las emisiones de los países del Anexo I.
1997. Protocolo de Kioto. Los países industrializados se comprometen a reducir para el periodo 2008-2012, sus niveles promedio de emisiones a menos del 5% respecto a 1990. Del protocolo sobresalen el Mecanismo de Desarrollo Limpio y el comercio de emisiones como estrategias claves de cooperación internacional. En México se establece el Comité Intersectorial para el cambio climático bajo la SEMARNAP, pero con representación amplia de la SE, SECOFI, SAGAR, SCT, SER y SEDESOL. De tal comité se discuten y coordinan las diversas estrategias respecto a la posición de México ante el cambio climático.
1998. Cuarta Conferencia de las Partes (COP-4) realizada en Buenos Aires, Argentina. Sesenta países firman el protocolo y apoyan un Plan de acción para la implementación del mismo.
1999. Quinta Conferencia de la Partes (COP-5) efectuada en Bonn, Alemania. Se concretan algunos pasos del Plan de Acción de Buenos Aires. En México, el Comité Intersectorial elabora la Estrategia Nacional de Acción Climática. En ella se enfatiza que acciones de prevención en la emisión de los gases de efecto invernadero o de su captura, generan beneficios importantes respecto a la economía y el desarrollo social, por lo que se considera como instrumento valioso que dirige la inclusión de la variable climática en el diseño de políticas sectoriales para el desarrollo sustentable.
2000. Durante la sexta Conferencia de las Partes (COP-6) celebrada en Ginebra, Suiza se hacen avances en cuanto a las bases del paquete financiero y transferencia de tecnología a países en desarrollo a fin de ayudar con acciones sobre Cambio Climático. Sin embargo, a pesar de las grandes expectativas aun quedan sin resolver asuntos como el mecanismo del desarrollo limpio, el sistema de comercio internacional de emisiones y las reglas para la cuatificación de la disminución de emisiones en sumideros como los bosques y un procedimiento para su ejecución.