

Facultad de Ciencias Forestales

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO



Cátedras de Ecología I y
Ecología Aplicada

Los Bosques como sumideros de carbono

Alternativas para mitigar el Efecto Invernadero



Selva Azucena BARRI ONUEVO

Marzo 2007

Prólogo

La presente serie didáctica denominada “Los Bosques como sumideros de carbono: alternativas para mitigar el Efecto Invernadero”, esta dirigida para los estudiantes de las Cátedras de Ecología I y Ecología Aplicada (Ecología II) de la carrera de la Licenciatura en ecología y Conservación del ambiente de la Facultad de Ciencias Forestales, UNSE.

El objetivo del trabajo es contribuir con los conocimientos desarrollados en el Modulo II del Programa analítico de la asignatura Ecología Aplicada referido al manejo de ecosistemas forestales y a lo desarrollado en el Modulo III de la asignatura Ecología I referido al cambio ambiental global y sus efectos sobre los ecosistemas, del correspondiente programa analítico, y como material de lectura complementaria útil para la asignatura Modificaciones Naturales y Antropogenas (Cambios Globales)

La mencionada serie didáctica esta estructurada en cinco capítulos, los tres primeros están referidos a conceptos generales de la problemática del cambio climático, los gases efecto invernadero y las alternativas para su mitigación, en el capítulo IV se presenta un caso de estudio para un bosque secundario de Santiago del Estero y finalmente las conclusiones a tener en cuenta.

El contenido de este trabajo esta basado en mediciones de campo, evaluación y análisis de datos recolectados y literatura actualizada referida al tema en consideración, resultante de parte de la tesis doctoral de la autora.

Selva Azucena
Barrionuevo
Dra. en Ciencias Forestales

Índice General

	Pág.
<u>Capítulo I: Aspectos generales</u>	1
Evolución de la composición de la atmósfera terrestre.....	1
El Clima y los Cambios Climáticos.....	3
Efecto Invernadero y los gases efecto invernadero (GEI).....	10
Causas y Consecuencias del Efecto invernadero.....	13
<u>Capítulo II: Aspectos ecológicos de la fijación de carbono</u>	18
El Ciclo del Carbono en la Biosfera.....	18
Función de los ecosistemas forestales en la fijación y emisión de CO ₂	19
Situación de las masas forestales y cambios en el uso del suelo en la Región del Chaco Semiárido de Argentina.....	24
<u>Capítulo III: Mecanismos para Mitigar los impactos del Cambio ambiental</u>	32
Los mecanismos “flexibles” como alternativas para mitigar el efecto invernadero.....	32
Los Mecanismos de Desarrollo Limpio.....	34
<u>Capítulo IV: Los Bosques Nativos de Santiago del Estero como sumideros de CO₂. Caso de estudio: Bosque “La Clausura”</u>	38
Características generales del Chaco Americano.....	38
Características de la subregión del Chaco Semiárido en Argentina.....	39
Estudio de caso.....	41
Carbono almacenado en el Ecosistema del bosque “La Clausura”.....	45
Carbono almacenado en árboles.....	45
Carbono almacenado en arbustos.....	47
Carbono almacenado en hojarasca y material leñoso caído.....	47
Carbono almacenado en árboles muertos en pie.....	48
Carbono almacenado en las raíces.....	49
Carbono total almacenado en la vegetación del bosque de “La Clausura”.....	50
<u>Capítulo V: Conclusiones. La conservación de los ecosistemas forestales en función de los servicios ambientales</u>	52

Bibliografía Citada y Consultada

- Evolución de la composición de la atmósfera terrestre

En la historia de la Tierra es difícil determinar el paso de los tiempos primitivos a aquellos otros en los que la geosfera estaba dotada de una capa superficial de rocas bien definida y modificable por los procesos derivados de la acción de otros componentes de la ecosfera, es decir, de la atmósfera, hidrosfera y biosfera. Sin embargo, los geólogos suelen establecer una división en dos grandes períodos, que marcan un antes y un después, basándose en lo que actualmente se conoce acerca del Universo y de la formación y desarrollo de los planetas. Así, a todo el conjunto de acontecimientos que abarca desde el inicio de la formación de la Tierra, hace unos 4.500 millones de años, hasta la aparición del registro fósil, hace 2600-3000 millones de años se le dio el nombre de Período Arcaico. Lo acontecido desde entonces hasta nuestros días se enmarca en el segundo período denominado también Período Proterozoico.

Los registros disponibles sobre el Período Arcaico son escasos, ya que en él se produjo la diferenciación geoquímica primaria de los materiales que constituían nuestro protoplaneta. No obstante, la hipótesis explicativa, actualmente más aceptada (Sanhueza, 1992, y Centeno, 1997), considera que los materiales primitivos se fueron concentrando y disponiendo en capas diferentes, de acuerdo con sus condiciones geoquímicas, termodinámicas y gravitacionales: la mayor parte de hierro y níquel, debido a su mayor densidad, precipitaron hacia el centro de la masa protoplanetaria, dando origen a la formación del núcleo metálico; algo de Hierro y casi todo el Magnesio, Calcio, Aluminio, Potasio, etc., fueron combinándose con el Oxígeno y el Silicio formando los minerales silicatados, que por su menor densidad se fueron acumulando alrededor del núcleo, constituyendo el manto. A partir de los materiales de este manto original, los menos densos fueron segregándose hacia la superficie, formando una especie de capa flotante que acabaría transformándose en la corteza.

Al mismo tiempo que se producía este proceso de diferenciación geoquímica, y como parte de él, en la zona más externa del protoplaneta se iban concentrando elementos gaseosos, fundamentalmente Hidrógeno y Helio, y también Amoníaco y Metano, así como pequeñas porciones de Oxígeno y otros gases, configurando la "atmósfera primitiva". Algunos de estos elementos, sin embargo, como consecuencia del calor generado en los procesos de contracción protoplanetaria, escaparon a las fuerzas gravitatorias, perdiéndose en el espacio; así ocurrió fundamentalmente con el Helio y el Hidrógeno, aunque también este fenómeno afectó al Nitrógeno, a los gases nobles (Argón, Neón, Kriptón, Xenón) y a algunos compuestos de carbono.

A medida que se iba consolidando la corteza primitiva, que se supone era muy delgada, extraordinariamente móvil, con magmatismo y metamorfismo muy intensos, (dada la influencia que aún ejercía sobre ella el manto) la intensa actividad volcánica que le acompañaba liberó hacia la superficie gran cantidad de materiales sólidos, junto con gases procedentes del interior, fundamentalmente vapor de agua, Dióxido de Carbono (CO_2) y Nitrógeno (en una composición similar a la mezcla de gases emitidos en las erupciones volcánicas actuales). Terminada esta fase de gran actividad, la Tierra continuó su lento proceso de enfriamiento gradual, hasta que su temperatura superficial estuvo fundamentalmente condicionada por la distancia al sol y la composición y mezcla de gases que progresivamente iban transformando la "atmósfera primitiva".

La temperatura y presión atmosféricas resultantes permitieron la condensación del abundante vapor de agua y la aparición de lluvias torrenciales que arrastraron gran parte del CO_2 hasta la superficie de la Tierra, produciendo grandes lechos de rocas carbonatadas. El vapor de agua atmosférico descendió así drásticamente depositándose en las grandes cuencas oceánicas. De este modo quedó constituida la hidrosfera, iniciándose el llamado ciclo hidrológico, que contribuyó a definir y modelar la estructura de la corteza terrestre mediante procesos físicos y químicos.

Con una atmósfera formada en aquel momento por Nitrógeno, Hidrógeno, Óxidos de Carbono y cantidades inferiores de vapor de agua, Amoníaco y Metano, además de otras pequeñas cantidades de gases residuales de la atmósfera primitiva, la energía solar pudo alcanzar la superficie de las masas oceánicas y producir en su medio las primeras moléculas orgánicas, que fueron a su vez combinándose para establecer las primeras formas de vida. Esta hipótesis sugiere también que, a partir de estas formas primigenias vivientes se evolucionó hacia formas cada vez más complejas hasta la aparición de los primeros organismos fotosintetizadores formados por bacterias y algas unicelulares. De este modo se inició un aporte de Oxígeno a la atmósfera, aumentando significativamente la cantidad de este elemento atmosférico, presente ya en pequeñas proporciones debido a la disociación del vapor de agua por la acción de la luz ultravioleta.

Al aumentar la concentración de Oxígeno (O_2) se facilitó la oxidación de muchos compuestos y también la formación de compuestos carbonatados de la corteza terrestre. Al mismo tiempo, también motivó la presencia de Ozono (O_3) en la atmósfera, este último elemento, al detener determinadas longitudes de onda de la radiación ultravioleta, permitió el desarrollo de los seres vivos en la superficie de los océanos y la posterior colonización de la corteza terrestre. Todo ello dió lugar al progreso de una amplia variación evolutiva de los organismos en la Tierra, o lo que es lo mismo, en la implantación y desarrollo de la Biosfera.

Como consecuencia del conjunto de interacciones descritas entre la corteza terrestre, la hidrosfera y la biosfera, se fue configurando una atmósfera, que paulatinamente llegó a alcanzar un equilibrio dinámico, en la que, sin drásticas variaciones, su composición y estructura se ha mantenido a lo largo de los últimos 2000 millones de años.

El período de estabilización de la corteza terrestre o litosfera, junto con el equilibrio dinámico alcanzado en la hidrosfera, biosfera y atmósfera, marcan la transición de Período Arcaico, al Período Proterozoico, caracterizado porque los fenómenos que se suceden a partir de estos momentos lo hacen de una manera análoga a como tienen lugar en la actualidad. Aunque los límites resulten imprecisos en el tiempo, se puede decir que se produce un cambio significativo en la Historia de la Tierra.

- **El Clima y los Cambios Climáticos**

Una vez finalizada la estructura de la tierra en composición y estructura de sus componentes, atmósfera, hidrosfera, litosfera y biosfera, se producen intensas modificaciones naturales. Las constantes interacciones que se producen entre los componentes que integran la Tierra dan como resultado cambios continuos en su composición y estructura. Dichos cambios pueden ser de duración, extensión e intensidad muy diferentes. Algunos se producen durante tiempos muy cortos o relativamente cortos, el ámbito de afectación es restringido y su percepción inmediata o relativamente fácil, por ejemplo, las fluctuaciones diarias y las meteorológicas o los cambios estacionales. Otros, en cambio, adquieren mayor importancia; se van produciendo gradualmente durante períodos largos o muy largos, el ámbito de afectación es más extenso -incluso a nivel global- como por ejemplo, el clima o los cambios climáticos. La percepción de estos cambios se hace más difícil o cuesta mucho ponerlos en evidencia.

El clima es la resultante del conjunto de condiciones atmosféricas que se presentan típicamente en una región. Queda definido por las estadísticas a largo plazo, normalmente mediante medias de treinta años a lo largo de períodos estándar, que describen el tiempo de esa localidad, como temperatura, humedad, viento, precipitaciones, etc. La mayor parte de los elementos climáticos, especialmente la precipitación y la temperatura, cambian con el tiempo, lo que científicamente es designado con el término "variación". Cuando esta variación persiste como mínimo durante varias décadas, sin que se produzca el retorno de los valores originales (fluctuación), recibe entonces la denominación de cambio climático. (Anderson, *et al*, 1987)

Los datos disponibles sobre las variaciones experimentadas en el clima en los últimos siglos son muy escasos. En tiempos relativamente recientes se hacen registros, cada vez más completos, para poder formular predicciones con una mayor fiabilidad. La mayoría de las pruebas de que disponemos para conocer nuestro pasado son de índole geológica o biológica; no obstante, estudios recientes efectuados en núcleos de hielo, sedimentos de los océanos y anillos de árboles han suministrado datos esclarecedores sobre los cambios ocurridos en los últimos cien mil años aproximadamente.

Si nos remontamos al último millón de años, cuando sobre la Tierra ya estaban presentes los primeros homínidos, las pruebas existentes confirman que hubo cerca de diez eras glaciares. La más reciente o cuaternaria comenzó hace 120.000 años con un progresivo avance de hielo sobre los casquetes polares (Mc Bean, *et al*, 1992). Hace menos de 20.000 años, cuando hizo su aparición el hombre moderno, una gran parte de Canadá y de la Europa septentrional permanecían cubiertas por una gruesa capa de hielo.

Actualmente nos hallamos en un periodo interglacial, relativamente benigno, que se inició hace unos 11.000 años, con el comienzo de un incremento gradual de las temperaturas, lo que no impide que todavía hoy aproximadamente un 10% de la superficie terrestre (unos 14 millones de Km²) se encuentre cubierta de hielo. Si toda esta masa, debido a un incremento de la temperatura, llegara a fundirse, se ha calculado que el nivel del mar subiría unos 10 metros.

El clima es dinámico, ha sido y sigue siendo cambiante, pero existe una gran controversia acerca de la rapidez con que se producen estos cambios y en que proporción lo hacen, aunque, al mismo tiempo está siendo cada vez más preciso el conocimiento de los principales factores que lo controlan. Entre esos factores Sanhueza (1992), destaca los siguientes:

TABLA 1.- Factores que controlan el clima

FACTORES EXTERNOS	DURACIÓN TÍPICA
Actividad solar superficial	40 a 120 años
Irradiancia solar	100 años
Polvo entre La Tierra y el Sol	Varía continuamente
Ciclos de Milankovich (*)	
Excentricidad orbital, inclinación del eje terrestre.	110.000 años
Albedo (**) terrestre	
Vapores y polvo volcánico	1 a 4 años
Cobertura de nubes	Varía continuamente
Turbidez atmosférica (fog)	Varía continuamente
Gases de invernadero naturales	9000 a 13.000 años
Gases de invernadero antropogénicos	Menos de 200 años
Capacidad de absorción	
Albedo de La Tierra, nieve, hielo	Muy largo plazo
Movimiento de placas tectónicas	Muy largo plazo
Corrientes oceánicas	Largo plazo

Fuente: Sanhueza (1992)

(*) Los Ciclos de Milankovich, que relacionan la posición de La tierra respecto al Sol, describen matemáticamente la ocurrencia de las Eras Glaciares.

(**) El Albedo mide la cantidad de radiación reflejada por un cuerpo en relación con la cantidad de radiación incidente.

Fundamentalmente los factores de mayor importancia están relacionados con los parámetros orbitales de la Tierra, a medida que esta se desplaza a través del espacio, recibiendo diferentes intensidades de la radiación solar. La cantidad de esta radiación recibida en la parte superior de la atmósfera, se puede considerar como constante (aunque experimenta variaciones según la actividad solar y la distancia de la tierra al sol al describir su órbita).

De toda la radiación solar que llega a la Tierra una parte es reflejada al espacio, otra es absorbida por la superficie del planeta. La fracción de energía solar reflejada al espacio por la atmósfera, las nubes y la superficie terrestre, se conoce como "albedo" del planeta y se calcula que representa alrededor de un 35 %. Aproximadamente el 65 % restante de esta energía es absorbida por la superficie terrestre y la atmósfera. Esta radiación se emplea en la actividad fotosintética, en la iluminación y sobre todo en el calentamiento de la Tierra.

Algunos de los componentes de la atmósfera juegan un papel fundamental en la conservación del medio biológico y en la transferencia de energía. En la *Tabla 2* se indican los mismos (GCCIP, 1997).

TABLA 2.- Principales componentes del aire seco

COMPONENTES	% EN VOLUMEN
Nitrógeno (N ₂)	78,084
Oxígeno (O ₂)	20,946
Argón (Ar)	0,934
Dióxido de carbono (CO ₂)*	0,0340*
Neón (Ne)	0,00182
Helio (He)	0,000524
Metano (CH ₄)	0,0015
Kriptón (Kr)	0,000114
Hidrogeno (H ₂)	0,00005
Xenón (Xe)	trazas
Ozono (O ₃)	0,0002

*La concentración de CO₂ atmosférico esta aumentando progresivamente

El N₂ y el O₂ a pesar de sumar en conjunto el 99 % del volumen y de su importancia en los procesos biológicos, ninguno tiene gran relación en los fenómenos atmosféricos. Lo mismo puede decirse de los llamados gases nobles, que al ser inertes se han ido acumulando en la atmósfera como restos de la "atmósfera primitiva".

Con una radiación solar, cuya longitud de onda esta comprendida prácticamente entre 0,1 µm y 4 µm, (ultravioleta, visible e infrarrojo próximo), los componentes atmosféricos absorben en diferentes longitudes de onda:

El Oxígeno atmosférico (O₂), absorbe casi en una totalidad la radiación ultravioleta de longitud de onda comprendida entre 0,12 µm y 0,21 µm y junto con el CO₂ y el vapor de agua, una pequeña fracción del infrarrojo próximo (entre 0,7 µm y 0,4 µm) que emplean en el calentamiento de la atmósfera.

El Ozono (O₃), absorbe la radiación ultravioleta de longitud de onda comprendida entre 0,21 µm y 0,3 µm, que resultan letal para los organismos de la biosfera. Las radiaciones situadas en el ultravioleta próximo y las de longitudes de onda comprendidas en el espectro visible pueden atravesar la atmósfera sin dificultad, llegando - si no son dispersadas- íntegramente a la superficie terrestre.

La Tierra, a su vez, emite la energía recibida del sol en forma de energía radiante, pero esta tiene una longitud de onda comprendida en el espectro infrarrojo, prácticamente en su totalidad, entre 4 μm y 5 μm , con un máximo de intensidad para 10 μm . Gran parte de estas radiaciones son absorbidas por la atmósfera cuyos gases no resultan tan transparentes a estas radiaciones terrestres como a las radiaciones solares. El vapor de agua y el CO_2 , absorben una gran parte de esta energía emitida por la Tierra (el vapor de agua las de longitud de onda entre 5 μm a 7 μm y mayores de 12 μm ; el CO_2 , las comprendidas entre 4 μm y 5 μm y las mayores de 12 μm).

Para las incluidas entre una longitud de onda 8 μm y 11 μm , la atmósfera es transparente, escapándose al espacio exterior, excepto las de longitud de onda de 9,6 μm que son captadas por el Ozono (O_3).

El Dióxido de carbono (CO_2), a pesar de su escasa proporción 0,034 % en volumen de aire seco, juega un papel muy importante en la absorción de la energía radiante emitida por la tierra. Su concentración en la atmósfera esta regida por la velocidad de las relaciones de equilibrio entre el CO_2 atmosférico y los depósitos superficiales de carbonato y bicarbonatos de los océanos y de la litosfera. Este gas se libera en forma natural principalmente desde el interior de la Tierra a través de fenómenos tectónicos. También de la respiración, de los procesos de descomposición de los suelos y de la combustión de compuestos de carbono, de la evaporación oceánica y de los incendios forestales naturales.

Entre los procesos antrópicos que liberan este gas, caben citar la quema de biomasa en los incendios o bien en el uso de los productos como la leña y el carbón, la manufactura del cemento y sobre todo la combustión del petróleo, carbón, y gas natural, los que han incrementado su concentración atmosférica notablemente, a nivel mundial, en los últimos cien años. (IPCC, 2000)

Aunque una parte del CO_2 liberado a la atmósfera entra en los ciclos naturales de este gas, siendo incorporado por los vegetales o disuelto en las aguas oceánicas, otra parte, aproximadamente igual, permanece en ella. Esto ha conducido a que en los últimos cien años, debido sobre todo a la quema de combustibles fósiles, se haya registrado un aumento neto desde 315 a 359 partes por millón de volumen (ppmv) y todas las previsiones apuntan a que estos valores seguirán incrementándose en el futuro. El ciclo de vida del CO_2 en la atmósfera, es decir el período promedio en el que una molécula se mantiene en la atmósfera, determinado por las velocidades de emisión y captación de reservorios, se estima entre 50 y 200 años.

El vapor de agua, en los fenómenos atmosféricos, juega un papel de suma importancia y además múltiple: es el origen de todas las formas de precipitación; absorbe o refleja (en forma de nubes) una parte de la energía que proviene del sol y absorbe una proporción notable de la energía radiante que es emitida por la Tierra.

El vapor de agua se incorpora constantemente a la atmósfera procedente de la hidrosfera y de la biosfera por evaporación y transpiración y ocasionalmente debido a las erupciones volcánicas. En la atmósfera puede encontrarse en forma de vapor o de manera condensada para formar las nubes y volver a la superficie terrestre en algunas de las formas de precipitación, formando parte del ciclo hidrológico.

Su proporción en el aire es muy variable (entre unas décimas y un 4 % en volumen), dependiendo del contacto que la masa de aire haya tenido con las superficies del agua y también de la tensión de vapor saturante a las distintas temperaturas. A las temperaturas que normalmente se dan en la superficie terrestre el agua puede existir en forma de vapor, en forma líquida o bien en forma sólida, liberando o absorbiendo energía en los cambios de estado. A su vez, puede ser transportada por el viento a lugares muy alejados de su origen.

En la atmósfera están presentes también otros gases o sustancias contaminantes de origen natural o antrópico, que aunque se encuentran en muy pequeñas concentraciones, participan de modo activo en la transferencia de energía que dentro de ella se producen.

El Metano (CH_4), cuyo origen o fuentes de emisión naturales son la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas, aunque por la acción humana se ha visto incrementado a través de los cultivos de arroz, la quema de biomasa o de combustibles fósiles, el aumento de la ganadería de los rumiantes y la descomposición de desechos orgánicos. El incremento que ha experimentado el nivel de concentración en la atmósfera es muy significativo: en el año 1800 la concentración estimada era de 0,8 ppmv, alcanzando en 1992 un valor de 17,00 ppmv (Brown, 1996).

El Oxido Nitroso (NO_2), es producido por procesos biológicos en océanos y suelos, resultante de diversas acciones antropogénicas, como las prácticas agrícolas, la quema de biomasa, la combustión industrial o la combustión interna en los vehículos de, entre otras. La estimación de su concentración en la atmósfera en la era pre-industrial se cifra alrededor de 0,275 ppmv alcanzando en 1992 la cifra de 0,310 ppmv (GCCIP,1997).

Los Halocarbonos, son compuestos principalmente de origen antrópico que contienen carbono y halógenos como el Cloro (Cl), Bromo (Br) o Flúor (F) y a veces Hidrógeno (H₂).

Los Clorofluorcarbonos (CFCs) comienzan a producirse en los años 30 como gases refrigerantes. Mas tarde se utilizan como propulsores para aerosoles, en la fabricación de goma espuma, etc. Existen fuentes naturales en las que se producen compuestos relacionados con los Metilhaluros.

No existen reservorios para los CFCs en la troposfera, a causa de una casi inexistente reactividad, son transportados a la estratosfera donde se degradan por la acción de los rayos ultravioletas solares, momento en el cual liberan átomos de Cloro, que, a su vez destruyen el Ozono (O₃), gas de enorme importancia por su papel protector para los organismos, absorbiendo radiaciones ultravioletas letales. (Sanhueza, *et al* 1992; Schimel, *et al*, 1996).

Los Hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) e Hidrofluorcarbonos (HFCs), son compuestos de origen antrópico que se usan como sustitutos de los CFCs. Si bien son considerados solo como transitorios, se ha comprobado que tiene una fuerte capacidad de absorción energética, incluso mayor que la del CO₂.

Los Aerosoles, se denomina de esta manera al polvo, las cenizas, cristales de sal oceánica, polen, esporas de hongos, bacterias, restos de combustiones industriales o de fuentes de contaminación, etc. Sus efectos sobre la turbidez atmosférica pueden variar en cortos períodos de tiempo, por ejemplo, después de una erupción volcánica, al ser arrastrados por el viento o depositados por la lluvia, etc.

El tiempo de permanencia de los aerosoles en la atmósfera en general depende de sus dimensiones, algunos se depositan con rapidez, otros pueden permanecer durante periodos de tiempo muy largos.

La importancia de lo aerosoles en los fenómenos atmosféricos es múltiple. Muchos tienen propiedades higroscópicas, por lo que son capaces de absorber vapor de agua y actúan como núcleos de condensación facilitando la formación de nubes y nieblas, o bien hacen de pantalla eficaz que intercepte o refleje parte de la energía solar incidente o bien, de manera contraria impidan la salida de buena parte de la radiación emitida por la tierra.

Las concentraciones de polvo atmosférico han crecido enormemente desde 1930 debido al desarrollo de las industrias, el transporte, la deposición de los residuos sólidos, quemas, etc.

Existen sobradas evidencias, al analizar lo ocurrido en la Tierra a lo largo de su historia, para decir que el clima es dinámico y cambia con el tiempo. Pero se desconocen los factores concretos responsable de estos cambios o la intensidad y rapidez con la que han influido en los ciclos naturales para desestabilizar los equilibrios alcanzados. Menos aún se conoce la alteración que, a nivel global, pueden producir en el clima factores antropogénicos, como los que resultaron de la época moderna a consecuencia de las actividades humanas, en especial debido a las resultantes del desarrollo industrial o de los cambios en el uso del suelo. (McGuffie, *et al*, 1995; Lawton, *et al*, 2001)

- **Efecto Invernadero y los gases efecto invernadero (GEI)**

Puede decirse que la atmósfera se manifiesta como un medio complejo e interesante: casi transparente a la radiación de onda corta que procede del sol, pero absorbe la mayor parte de la radiación de onda larga emitida por la superficie terrestre. Algunos de sus compuestos entre los que se destaca el vapor de agua y el CO₂ poseen frecuencias vibratorias en el rango de la radiación de onda larga emitida por la superficie terrestre, siendo capaces de absorberla y devolverla a la Tierra, restituyéndola a la superficie y causando un aumento de temperatura.

Al ser la atmósfera transparente a la luz solar y opaca a la radiación terrestre (Anderson *et al*, 1987), se comporta por lo tanto de manera similar a como lo hace un invernadero, en el que su techo de cristal, deja pasar libremente los rayos de sol, pero al mismo tiempo impide que el aire caliente, atrapado en el interior escape fuera del recinto. De ahí que a este fenómeno se lo denomina "Efecto Invernadero" y a los gases atmosféricos responsables de la absorción de la energía radiante de la Tierra produciendo un aumento de la temperatura se les conoce como "Gases de Efecto Invernadero o GEI".

Las *Figuras 1 y 2* muestran la transparencia de energía en la atmósfera y el efecto invernadero, y su correspondiente comparación con un invernadero.

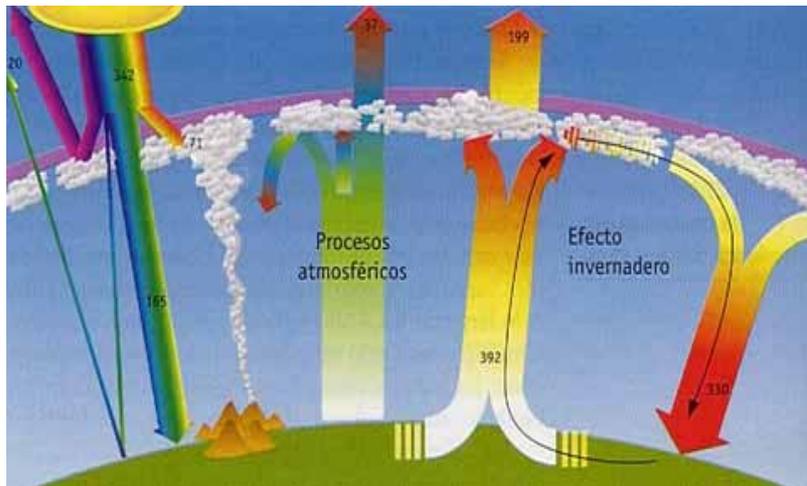


Fig.1.- Transparencia de energía en los procesos atmosféricos y comparación con el efecto invernadero (extraído del Programa de información para el cambio climático, GCCIP, 1997)

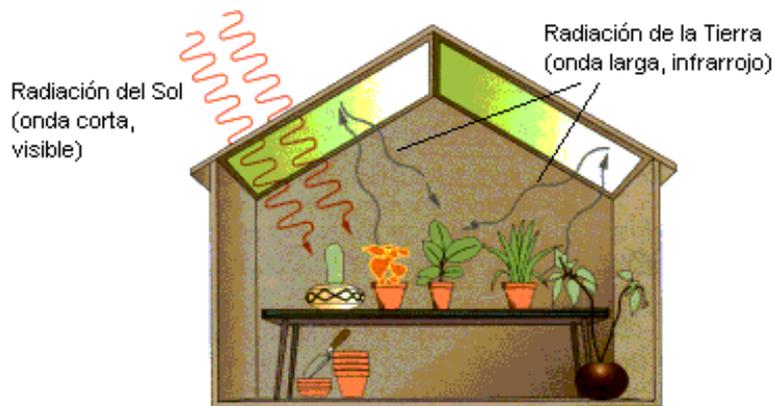


Fig.2- Comparación del efecto invernadero natural con la de un invernadero observándose que la radiación de onda larga o infrarrojo queda atrapada dentro del invernadero.

Es importante destacar que, si bien, el efecto invernadero es un fenómeno natural que hizo posible la vida sobre la tierra, desde hace millones de años; sin embargo en la Tierra, una parte de la energía calorífica de la atmósfera se transforma en energía cinética, lo que produce la circulación de las masas de aire. Esto mismo sucede en el mar con el movimiento de las corrientes oceánicas; ambos movimientos contribuyen a la redistribución de la energía calorífica en todo el planeta y al mantenimiento de las temperaturas medias globales en valores constantes durante largos períodos de tiempo. Pero por un aumento desmedido de los GEI por causas antropicas, ese equilibrio dinámico se ve alterado, modificando los valores constantes medios.

Los gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera son los responsables del mantenimiento de la temperatura en la superficie terrestre. Aunque las concentraciones de estos gases son extraordinariamente bajas (en conjunto no más del 1%) respecto a los otros dos componentes mayoritarios que suman el 99% restante (Nitrógeno y Oxígeno), su

estabilidad se traduce en un mantenimiento de las temperaturas medias globales de la Tierra durante largos períodos de tiempo (Siegenthaler, *et al*, 1990)

La contribución de los GEI al efecto invernadero es muy desigual, Centeno (1997) atribuye al CO₂ una participación del 49%, al CH₄ del 18%, un 16% a los CFCs y un 6 % a los NO_x quedando el 11% restante atribuidos a otros factores de la atmósfera.

Esta claro que el CO₂ es el gas mas importante, cuya presencia en la atmósfera es la responsable de la mitad o de las tres cuartas partes del efecto invernadero; el valor de su concentración en la atmósfera influye de manera significativa sobre la temperatura en la superficie terrestre. Brown, *et al* (1996), describe en la *Tabla 3* el aumento experimentado en la atmósfera de las concentraciones de los gases de efecto invernadero desde 1750 a 1992 y el tiempo de residencia en la atmósfera de los mismos en años.

TABLA 3.- Aumento de las concentraciones de los GEI (según Brown 1996)

Gas Invernadero	Concentración 1750	Residencia en años	Concentración en 1992
Dióxido de Carbono	280 ppmv	120	355 ppmv
Metano	0,8 ppmv	10,5	1,72 ppmv
Oxido Nitroso	275 ppbv	132	310 ppbv
CFC-11	0	55	280 ppmv
CFC-12	0	116	484 ppmv
HCFCs /HFCs	0	Sin datos	Sin datos
Ozono Troposférico	Sin datos	Sin datos	Variable
Ozono Estratosférico	Sin datos	Sin datos	300 unidad dobson

Independientemente de estos datos existen otros que pueden hacer referencia a las oscilaciones experimentadas en la temperatura media del globo, referidos por Centeno (1997), a causa del aumento de la concentración de los GEI en la atmósfera, y que describen los cambios experimentados desde 1860 a 1998 (*Figura 3*)

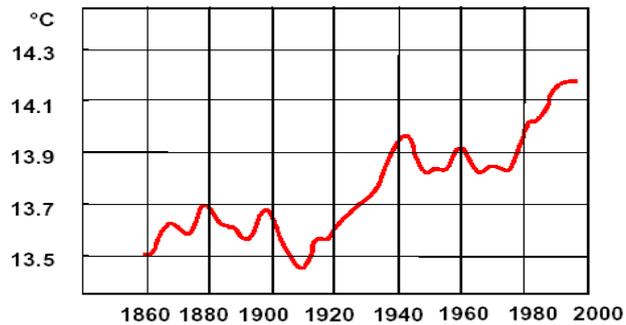


Fig. 3. - Temperaturas medias de la superficie de la Tierra (según Centeno, 1997)

En esta figura se observa un incremento notable a partir de 1920 pasando, con alguna oscilación desde 13,7 °C hasta 14,2 °C en 1998. Nueve de los diez años mas cálidos registrados se han producido desde 1990. (IPCC, 2000)

- **Causas y Consecuencias del Efecto invernadero**

Si este calentamiento global siguiera las mismas tendencias en las próximas décadas, algunos científicos se atienen a predecir cambios notables en el ambiente natural de la Tierra, con algunas consecuencias entre las que se citan:

- La elevación del nivel del mar en unos 15 cm en los próximos 40 años
- La modificación de los patrones de lluvias y los ciclos de la agricultura.
- Probablemente también se verían acentuados la intensidad y frecuencia de los huracanes y ciclones en la zona tropical.
- Se vería aumentada la inestabilidad de algunos arrecifes de coral, si las temperaturas del mar aumenta en 2°C o 3°C.
- Se afectaría las estabilidad de los bosques mundiales, en especial los ecosistemas frágiles, alterando su diversidad biológica, debido a su alto grado de vulnerabilidad a cambios en el equilibrio ambiental.

Teniendo en cuenta la hipótesis de un calentamiento progresivo y global de la Tierra, el IPCC-WWF (2000) simuló los cambios aproximados que se producirán en las condiciones climáticas de Argentina en las próximas décadas, 2020, 2050, y 2080 (*Figuras 4 y 5*)

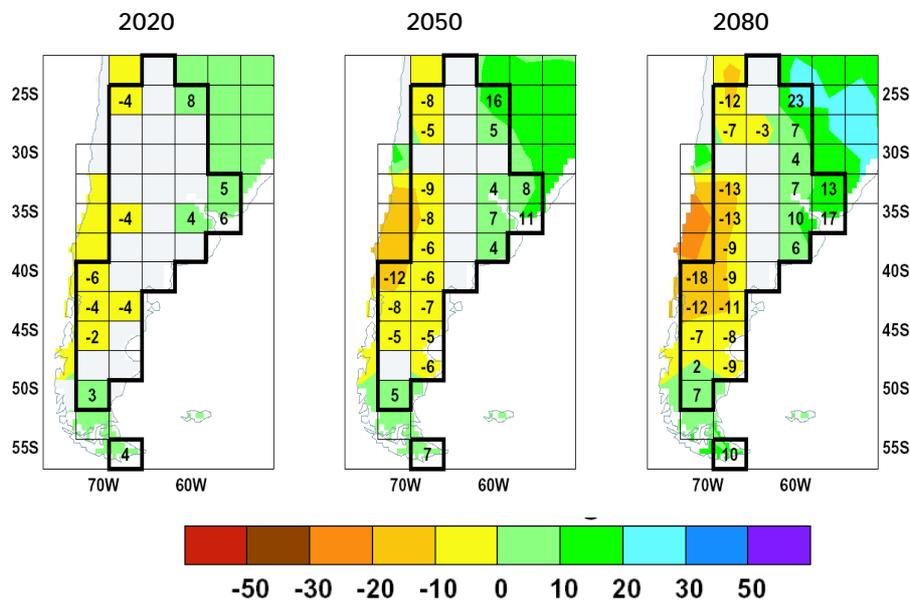


Fig. 4. - Cambios en el promedio de precipitaciones en Argentina evaluados en porcentajes (extraído de IPCC- WWF, 2000)

Los cambios previsible para el futuro difieren entre las regiones orientales y occidentales. La precipitación anual declinaría en los Andes, pudiendo disminuir en algunos lugares hasta un 15% para la década de 2080. Este contraste entre un occidente seco y un oriente húmedo, estaría más remarcado entre las diferentes estaciones. Serían importantes también los cambios que se produzcan en la región semiárida de Argentina, contribuyendo así a un incremento de su aridez, teniendo en cuenta que las precipitaciones para esta región actualmente se cifran entre 500 y 700 mm anuales.

En lo que respecta a la temperatura, la media anual de Argentina aumentó alrededor de 1°C en el último siglo. Este calentamiento ha ocurrido en todas las estaciones igualmente, siendo un poco mayor en la estación invernal de junio a agosto. Paralelamente con el calentamiento del clima, la frecuencia de heladas ha ido disminuyendo con un promedio de días de heladas por año en cerca del 10% al presente siglo.

La estimación de los cambios de las temperaturas medias anuales en Argentina expresados en grados *Celsius*, para periodos de 30 años (2020, 2050 y 2080) aparecen en la *Figura 5*.

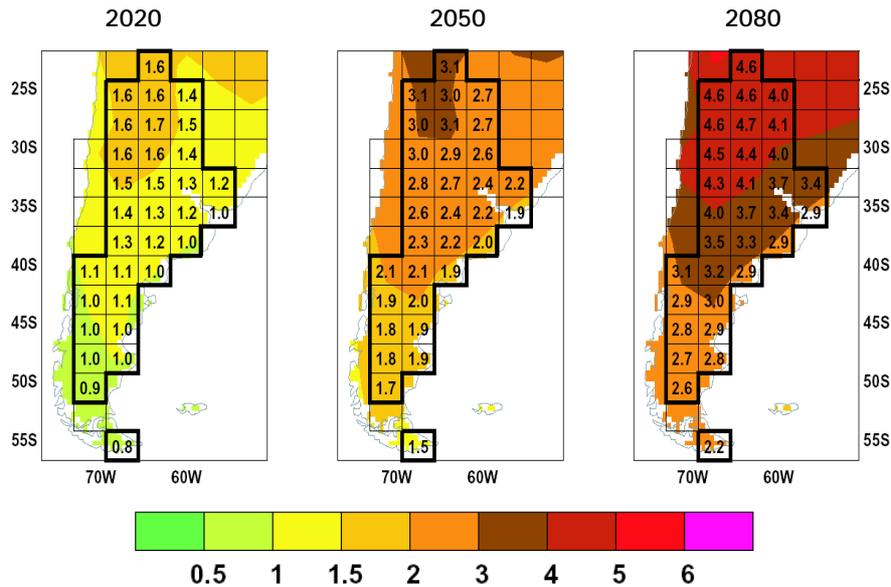


Fig. 5. - Cambios en el promedio de temperaturas para Argentina (IPCC- WWF, 2000)

Según estas previsiones en el norte del país aumentará la temperatura media de forma casi considerablemente mas rápida que en el sur, (0,25 °C por década en la Región Patagónica, frente a 0,4 °C por década en la región Semiárida del Chaco, al Norte)

Aparte de estos ejemplos mencionados y de otros muchos basados en hipótesis sugerentes sobre el futuro, apoyadas en el análisis de los indicios presentes, se pueden resaltar dos hechos probados:

- Existe un aumento progresivo de las concentraciones de los GEI en la atmósfera que se relacionan directamente con el aumento de los GEI de origen antropogénico.
- Existe un aumento, lento y hasta ahora progresivo de la temperatura global del planeta mas pronunciado a partir de la década de los años treinta del siglo XX.

La relación causa efecto entre estos dos hechos en el ámbito científico parece evidente, como evidente parece también que el aumento de CO₂ (factor principal del efecto invernadero) y del resto de los GEI de origen antropogénico es causado fundamentalmente por el uso creciente de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) como fuentes de energía y por los cambios en el uso del suelo y el aumento de la deforestación a nivel global. Las estimaciones porcentuales de la contribución de estas actividades humanas al efecto invernadero presenta la siguiente distribución (*Figura 6*)

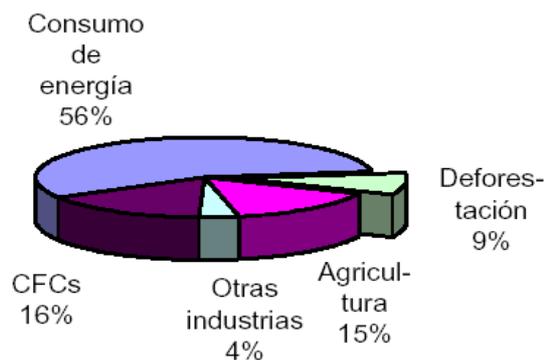


Fig.6. - Actividades que contribuyen al efecto invernadero (Centeno, 1997; Niles, *et al*, 2002)

Entre las principales causas del incremento de los GEI, y sus consecuencias se destacan las economías industrializadas y los estados de vida de los países desarrollados, cuya actividad de consumo energético contribuye con un 56 %, haciendo notar además, que con un 20 % de la población mundial consumen el 70 % de la energía que se utiliza en el mundo. América Latina, en cambio, con un 8 % de la población mundial, en 1990 consumió solo el 5 % de la energía total. La contribución de los países en desarrollo son el resultado, en mucho menor porcentaje, de la deforestación y de las actividades agropecuarias.

La contribución al aumento de los GEI a nivel mundial, a su vez, puede quedar representada con la siguiente distribución (*Figura 7*)

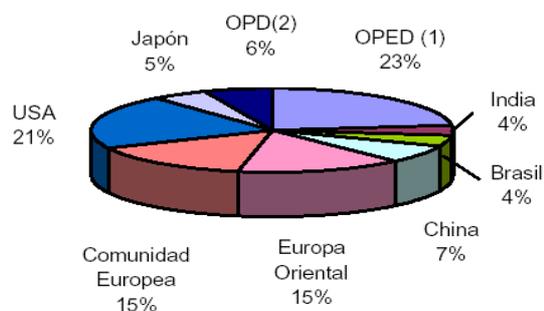


Fig. 7. - Contribución al incremento de los GEI por países (Centeno, 1997; Niles, *et al*, 2002)

(1) OPED = Otros Países Desarrollados

(2) OPD = Otros Países en Desarrollo

Donde se observa que la comunidad Europea, Europa oriental y los Estados Unidos de América son los responsables del 50 % del incremento de los de los GEI a nivel mundial. En segundo lugar se destacan los Países en Desarrollo con un 23 % de actividades de deforestación y cambios de uso del suelo. China, India y Brasil contribuyen en conjunto con un 15%. Esto implica que los países desarrollados son los principales responsables de las emisiones acumuladas de los GEI, de modo que sobre ellos recae la principal responsabilidad de reducir las emisiones de estos gases para minimizar el proceso del calentamiento global, mediante acciones rápidas y concretas.

Capítulo II: Aspectos ecológicos de la fijación de carbono

- El Ciclo del Carbono en la Biosfera

El carbono en la biosfera se encuentra en distintos depósitos. El suelo contiene entre 1.500 a 3.000 Gt, el océano contiene entre 35.000 Gt de carbono bajo la forma de carbonatos disueltos, y en la atmósfera se presenta entre 700 - 750 Gt de carbono bajo la forma de CO₂. Los intercambios de Carbono en la interfase atmósfera y océano son difíciles de cuantificar, pero el carbono orgánico de los océanos está en gran parte en estado disuelto en valores entre 700 a 1000 Gt. La tasa de renovación del carbono es muy diferente en los continentes y en los océanos. La fotosíntesis de las plantas terrestres fija anualmente alrededor de 35 Gt de carbono, es decir con una tasa de renovación de aproximadamente 20 años. En el medio marino, la fotosíntesis fija anualmente 25 Gt de carbono, de forma que la tasa de renovación del carbono en los océanos es de aproximadamente 1400 años (Dajoz, R., 2002)

El reciclado del carbono en la biosfera está sujeta al balance global del complejo ciclo del Carbono, (Figura 8) que se establece entre las emisiones de CO₂, como resultado de los procesos naturales (fenómenos tectónicos, respiración, descomposición de suelos, evaporación oceánica, etc.) y de los procesos antrópicos (quema de combustibles fósiles, cambios de uso del suelo, quema de biomasa en los incendios, etc.) y el valor de la captación de CO₂ que se disuelve en los océanos y es absorbido en los procesos fotosintéticos.

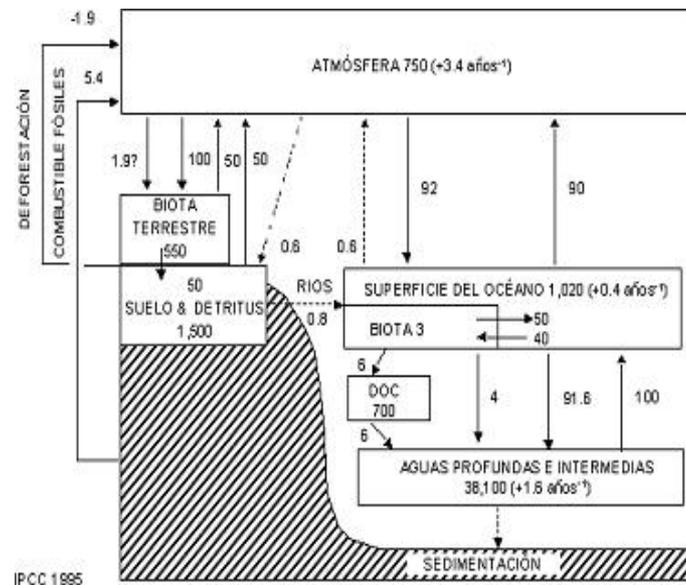


Fig. 8. - Ciclo Global del Carbono (IPCC, 1995)

- **Función de los ecosistemas forestales en la fijación y emisión de CO₂**

Los bosques cumplen una función de especial importancia en el ciclo global del Carbono. Son almacenes de grandes cantidades de Carbono en la vegetación y el suelo, intercambian Carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, y se transforman en fuentes de emisión de Carbono atmosférico cuando son alterados por causas antrópicas o naturales.

El mecanismo por medio del cual los bosques fijan el CO₂ atmosférico para luego ser incorporado a los procesos metabólicos, es la fotosíntesis. Ello da lugar a la síntesis de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (raíces, tronco, ramas, hojas, etc.). (Marland, 1992; Markku, 2000). Los componentes de la copa (hojas, ramas) al caer al suelo aportan materia orgánica, o bien cuando el árbol muere al degradarse se incorporan gradualmente por descomposición compuestos orgánicos que dan origen al humus estable que, a su vez, aporta nuevamente CO₂ al entorno (Brown, *et al*, 1996).

El Carbono esta almacenado desde que se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es reemitido, ya sea al suelo o a la atmósfera. El Carbono completa su ciclo en el momento de liberación, por la descomposición de la materia orgánica y/o la quema de la biomasa.

En la *Figura 11* se representan los flujos y almacenes de Carbono en un ecosistema forestal, donde el follaje, las ramas, las raíces, el tronco, los desechos, los productos y el humus estable son almacenes de Carbono, que se reincorporarán nuevamente, al ciclo por descomposición y/o quema de la biomasa forestal.

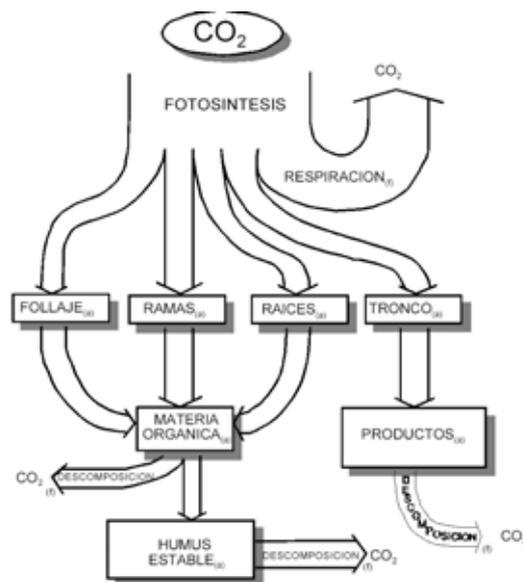


Fig. 9. - Flujos (f) y Almacenes (a) de Carbono en un ecosistema forestal (extraído de Masera y Ordoñez, 2001)

En los procesos de captura o fijación y emisión intervienen cuatro tipos generales de almacenes de Carbono (vegetación, aérea y subterránea, materia en descomposición, suelos, y productos forestales), con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes.

La ordenación forestal, a través de los sistemas de manejo, tienen la capacidad de alterar las reservas y flujos del Carbono en el ecosistema forestal, cambiando con ello su papel en el ciclo del Carbono y su aporte en el cambio climático. Es decir que los bosques pueden transformarse en fuentes o sumideros de CO₂. Por ejemplo, en los incendios forestales, por combustión de la biomasa arbórea, liberan gases de efecto invernadero además del CO₂, que son productos secundarios de combustión incompleta, como el metano (CH₄), el monóxido de Carbono (CO), el óxido nitroso (N₂O), entre otros.

En general la quema de biomasa contribuye con un 10% aproximadamente de las emisiones totales anuales de CH₄, del 10 al 20% de las emisiones totales anuales de N₂O, y alrededor de la mitad de las emisiones de CO, por lo que tiene un efecto importante sobre la química atmosférica especialmente en los niveles del ozono en la troposfera (Goldammer, 1990).

Los bosques se convierten en sumideros de Carbono atmosférico, es decir fijan el Carbono por transferencia neta de CO₂ desde la atmósfera, durante el abandono de las tierras aprovechadas o sobreexplotadas y su regeneración natural o implantada, tras la perturbación.

La extensión actual de la superficie boscosa mundial con capacidad de fijación o almacenamiento, es decir, sumideros de Carbono, indica que los bosques naturales cubren alrededor de 3,4 Gha (1 Gha = mil millones de ha). Se estima que la reserva total de Carbono en los bosques de latitudes elevadas es de unos 104 Pg (10¹⁵g) aunque esto no incluye a los países nórdicos que forman parte de Europa, que podrían añadir alrededor de otros 10 Pg de Carbono. La reserva de Carbono en el suelo predomina sobre la reserva total de Carbono en los bosques de la zona boreal, aproximadamente el 83% de la reserva total. Los bosques de la ex Unión Soviética contienen la mayor parte del Carbono de esta zona, aproximadamente un 90%. (Kauppi, *et al*, 1992).

En la siguiente *Tabla 4* se presentan las reservas y flujos estimados de la vegetación forestal de los bosques del mundo, en los reservorios de la masa aérea, subterránea, viva y muerta incluyendo los desechos leñosos y los suelos del horizonte 0 y suelo mineral, hasta una profundidad de 1 m.

TABLA 4.- Estimación de las reservas y flujos de Carbono en los ecosistemas forestales del mundo
(Brown, *et al*, 1997)

Región / País	Reservas de Carbono en Pg.		Flujos de Carbono en Pg/año
Zona Boreal (Latitud elevada)	Vegetación	Suelos	+0,48 +- 0,2
Antigua URSS	15	76	
Canadá	2	11	
Subtotal	17	87	
Zona Templada (Latitud media)	Vegetación	Suelos	Flujos de Carbono en Pg/año
EE.UU	15	2	+0,26 +- 0,1
Europa	10	18	
China	17	16	
Australia	9	14	
Subtotal	51	69	
Zona Tropical (Latitud baja)	Vegetación	Suelos	Flujos de Carbono en Pg/año
Asia	54	43	-1,65 +-0,40
Africa	52	63	
America	119	110	
Subtotal	225	372	

Los bosques de latitudes elevadas actualmente representan un sumidero de Carbono de $0,48 \pm 0,2$ Pg. por año, correspondiendo prácticamente a toda la ex Unión Soviética.

Los bosques de latitudes medias contienen 120 Pg de Carbono en la vegetación y el suelo, representando este último alrededor del 58% del total. Estos ecosistemas son un sumidero de Carbono de $0,26 \pm 0,1$ Pg/año, pero anualmente se están perdiendo alrededor de 230.000 ha de bosques de los que aún no se dispone de estimaciones del flujo de Carbono.

Los ecosistemas forestales de latitudes medias, al igual que los de latitudes elevadas, son en su mayor parte sumideros de Carbono debido a que:

1. Están compuestos en promedio, por árboles de clases de edad relativamente jóvenes con tasas superiores de producción neta ya que se encuentran recuperando de anteriores perturbaciones humanas y naturales;
2. Una mayor proporción de estos bosques están sujetos a una ordenación intensa, es decir, establecidos, cuidados y protegidos.
3. Es posible que algunas áreas puedan estar respondiendo a unos niveles superiores de CO_2 y nitrógeno atmosférico, dando lugar a un efecto de fertilización. (Brown *et al*, 1996; Kauppi, *et al*, 1992, Nilsson, *et al*, 1995).

Como se demuestra en la *Tabla 4*, los bosques tropicales o de baja latitud contienen alrededor de 597 Pg. de Carbono o 73% de las reservas de Carbono de todos los bosques del mundo. En estos bosques el Carbono se almacena aproximadamente por igual entre la vegetación y el suelo.

Los bosques de América tropical contienen la mayoría del total de las reservas tropicales, y África contiene la menor parte, alrededor del 20%. Estas proporciones reflejan las diferencias de superficie de los bosques húmedos de las dos regiones; los bosques tropicales húmedos contienen un alto contenido de Carbono en la biomasa, a diferencia de los bosques tropicales secos.

No hay estimaciones sobre las reservas o emisiones de Carbono en algunos ecosistemas forestales, como las zonas no tropicales de Sudamérica, África, y Asia y por ello se subestima la reserva de Carbono en su totalidad. Sólo en la vegetación esto podría representar una cantidad adicional de unos 12 Pg / ha.

Se estima que los bosques tropicales constituyen una fuente neta de Carbono relativamente grande de $-1,65 \pm 0,4$ Pg por año causada por la deforestación, los aprovechamientos intensivos y la degradación gradual. El flujo de Carbono a la atmósfera procedente de los bosques de Asia es aproximadamente igual al de los bosques de América, representando en conjunto casi el 80% de la fuente tropical de Carbono hacia el año 1990. La fuente tropical total de CO₂ por deforestación fueron equivalentes a casi el 28% de las emisiones de combustibles fósiles en 1990. La fuente de Carbono procedente de los trópicos se debe sobre todo a las altas tasas de deforestación de estas zonas, estimadas actualmente en unos 15,4 Mha/año (Mha = millones de hectáreas) durante la década 1980-95, cifras aun con grandes incertidumbres. (Brown, *et al*, 1993; Laurance, *et al*, 1997).

Gran parte de la superficie deforestada se transforma en tierras agrícolas, pastizales o para ganadería migratoria, con un contenido de Carbono en su biomasa considerablemente inferior al de los bosques, además de producirse las emisiones de otros GEI a causa de los residuos productos de la ganadería. Por ejemplo, durante 1986 a 1990, se explotaron alrededor de 5,9 Mha/año de bosques tropicales, sobre todo de bosques adultos (aproximadamente un 83%) más que de bosques secundarios (FAO 2000).

Estos bosques explotados se pueden regenerar y acumular Carbono si no son gravemente perjudicados por nuevas operaciones de corta, y si son protegidos, o bien clausurados, porque muchos de ellos se degradan si no son conservados (Castro, 1999).

La degradación de estos ecosistemas, procedente de una mala gestión de manejo, la que provoca una pérdida mayor de Carbono en la vegetación o en el suelo, se agrava aun mas cuando actividades tales como los daños en los árboles residuales y en suelo, o bien extracciones furtivas de trozas, la recolección de leña, el sobrepastoreo y los incendios producidos por el hombre, continúan en la vegetación residual.

La *Tabla 5* detalla las estimaciones globales de la cantidad potencial de Carbono, que se podría fijar y conservar, durante los años 1995 a 2050, mediante la aplicación de diferentes sistemas de manejo forestal, con énfasis para las diferentes zonas según la latitud.

TABLA 5.- Estimación del Carbono que se podría captar y conservar entre los años 1995 a 2050, según diferentes sistemas de ordenación forestal (Brown *et al*, 1996)

Zona Latitudinal	Sistema de ordenación	Superficie disponible (Mha)	Carbono fijado y Conservado (en Pg)
Alta	Repoblación(Forestación)	95,21	2,4
Media	Repoblación(Forestación)	113	11,8
	Agrosilvicultura	6,5	0,7
Baja	Repoblación,(Forestación)	66,9	16,4
	Agrosilvicultura	63,2	6,3
	Regeneración (bosque secundario)	217	20,1

Se destaca que la regeneración de los bosques secundarios en las zonas Tropicales o Subtropicales de latitudes bajas son de trascendental importancia para la fijación y el almacenamiento de Carbono.

Los bosques secundarios con capacidad de regeneración, alcanzan a nivel mundial, una extensión de aproximadamente 532 millones de ha. Si se parte de una cobertura forestal total de 1.812 millones de ha, la proporción de bosques secundarios corresponde al 32% (Corlett, 1994). La mayor extensión geográfica de esta categoría de cobertura corresponde a África (313 millones de ha), seguida por América Latina (130,4 millones de ha) y por último Asia (88,3 millones de ha), (Nilsson, *et al*, 1995; Turner, *et al*, 1993).

Una solución para conseguir que los bosques no se conviertan en un sumidero mayor de Carbono es la ordenación sostenible y la conservación de los bosques existentes en regeneración.

Otra de las alternativas es la forestación y el establecimiento creciente de bosques en terrenos no arbolados, situación doblemente positiva para el desarrollo sostenible (Trexler, 1999; Ortiz, 1997).

- **Situación de las masas forestales y cambios en el uso del suelo en la Región del Chaco Semiárido de Argentina**

En los últimos 75 años, se perdió el 66% de la superficie forestal natural de Argentina. En la década de los años 50, Argentina contaba con aproximadamente 60 millones de hectáreas de masas forestales nativas y en la actualidad dicha cifra es de menos de 36 millones de hectáreas. Según los datos registrados en la Dirección de Estadísticas dependiente de la Dirección de Recursos Forestales Nativos, el promedio de pérdida de bosques por año en el país es de 270.000 ha y de 3.000 ha de bosques cultivados.

FAO (2000) establece que se debe mantener una relación mínima del 25% de cobertura forestal en relación con la superficie total del país para que no se produzcan impactos ambientales severos. Si esta cobertura es menor del 20% son previsibles daños irreversibles. Teniendo esto último presente, actualmente Argentina cuenta con sólo el 13-14% de su superficie territorial cubierta de bosques, de manera que la situación es crítica.

Existen muchas causas que provocan la pérdida del recurso bosque, una de ellas y muy importante, es debido a una gestión forestal inadecuada consistente en la extracción de diámetros menores, sin planes previos de aprovechamiento, quedando un bosque degradado, de bajo valor comercial, que en ocasiones requiere de enriquecimientos previos para poder desarrollarse normalmente. La madera extraída de esta explotación, es empleada para la producción de leña y carbón vegetal, de bajo valor agregado, acrecentando luego el desmonte de los remanentes para la extensión de la frontera agrícola - ganadera.

Esta situación se agrava para los bosques de regiones áridas y semiáridas del país porque son ecosistemas frágiles con una capacidad de desarrollo muy lento.

La actividad inicial en el Chaco Semiárido de Argentina, desde épocas de la conquista española, se basó en la extracción de madera para postes, leña, taninos y traviesas, coincidiendo con la extensión de las redes ferroviarias, destinadas a empresas extranjeras.

La explotación selectiva realizada sobre los bosques vírgenes en esta región, produjo el inicio del proceso de degradación ambiental y la consecuente desertificación. Después de extraer los elementos del bosque de mejor calidad, y al disminuir el capital productivo, se produce la fuga de empresas, capitales y algunos grupos sociales que participaban en ella, generándose los primeros ciclos de pobreza y migración rural-urbano. La población que permaneció en la región, sin capacidad empresarial, y de bajos recursos realiza una segunda extracción del bosque ya explotado y sobrepastoreado, profundizándose la degradación y consecuentemente el proceso de desertificación.

Además de la explotación maderera del bosque, en las regiones áridas, y semiáridas de Argentina la ganadería juega un papel importante desde el punto de vista cultural y económico, especialmente en las zonas en las que el clima seco es un limitante de las actividades agrícolas. La ganadería es de gran importancia en lo que respecta a los sistemas de uso silvopastoriles, sobre todo porque con frecuencia no existen sistemas de producción alternativos.

La ganadería se inicia en los pastizales naturales en forma extensiva y migrante. Posteriormente, y en especial en las zonas con mejor aptitud climática, se introducen pasturas exóticas que aumentan la productividad, ello da lugar a un aumento de la carga animal que, sin un manejo adecuado, reduce la oferta forrajera y por lo tanto la regeneración natural del monte, ya que la mayoría de las especies nativas son palatables para el ganado. El pastoreo va generalmente acompañado por una quema anual de la vegetación, para favorecer el crecimiento de las gramíneas forrajeras, estas quemas regulares conducen al surgimiento de un piroclímax forestal. La continua degradación, lenta pero sostenida, en las áreas más secas del semiárido con sistemas ganaderos extensivos cada vez menos productivos, da como resultado la pérdida de renovabilidad del bosque nativo.

Se calcula que la superficie en estas condiciones es de unos 15 millones de hectáreas y la estimación es que en los próximos 20 años se produzca la pérdida de posibilidad de renovación de las principales especies forestales nativas en esta gran región.

El aumento de las áreas agrícolas en secano en el Chaco Semiárido se acelera a partir de 1970 debido a las abundantes precipitaciones de esa época y a la demanda internacional de los productos cosechados, la superficie con cultivos pasó del millón de hectáreas a más de 3 millones aproximadamente en la actualidad. De éstas, en promedio, están en producción sólo la mitad, oscilando según precios y las condiciones climáticas del momento, entre el 25% al 75% de superficie en producción. La tendencia es el aumento, al mismo ritmo, de la superficie agrícola con avance sobre las áreas más secas del semiárido. Esta situación hace que la subregión semiárida, al límite Sur (Norte de Córdoba), se encuentre al borde de la pérdida

total de sus bosques, de la misma manera que las zonas en los límites Oeste y Este del Chaco Semiárido presenten graves pérdidas en su riqueza forestal.

Otra de las consecuencias debidas al mal uso de los recursos es el aumento de la salinización de los suelos por malas prácticas agrícolas y de riego, sobre todo en los límites entre el Chaco Semiárido y el Húmedo. Por esta situación, están afectadas unas 400.000 has con productividad decreciente por salinización.

Sumado a esta situación, es necesario destacar que la región del Chaco Argentino presenta pocas Áreas Naturales Protegidas, con muchos ambientes no representados, la mayoría de las mismas con escaso control y participación de la población circundante. Sólo existen unas 300.000 has de Áreas Protegidas "oficiales" (Nacionales y Provinciales), que representa escasamente el 0,5% de la superficie del Chaco. En contraste, el Chaco Boliviano y Paraguayo superan con creces el 12% recomendado por los Organismos Internacionales vinculados a la Conservación (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable 2002).

El punto de extinción de los recursos forestales en el país, queda representado en la *Figura 10*, destacándose que en la región Chaqueña Semiárida sus bosques desaparecerán en aproximadamente 80 años.

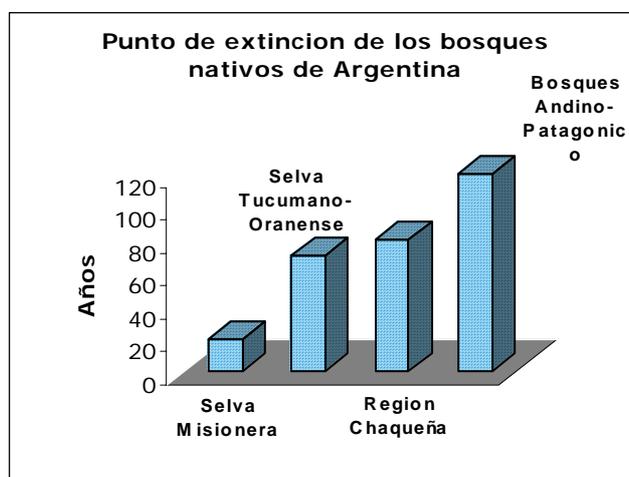


Fig. 10. - Punto de Extinción de los Bosques Nativos de Argentina (extraído de Merenson, 1999)

Santiago del Estero (comprendida en su totalidad, en la Región Chaqueña Semiárida de Argentina), contaba con extensas áreas boscosas antes de que la intensa explotación llevada a cabo durante el siglo pasado, dejase solo restos de los que fueron bosques primarios. (Ledesma, 1974).

Actualmente, solo quedan alrededor de un 3,6 % de bosques primarios y un 55,51 % de bosques residuales, fuertemente degradados, en una área de 2.600.000 has, correspondientes a los departamentos forestales del norte de la provincia.

Lo que queda de estas cifras, son bosques en regeneración o bosques secundarios, dependiendo de la intensidad de la perturbación con que han sido intervenidos.

En la *Tabla 6* se detalla la superficie de los bosques degradados, y bosques secundarios en proceso de regeneración, teniendo en cuenta la distribución del uso del suelo en la provincia de Santiago del Estero.

TABLA 6.- Distribución del uso del suelo en la provincia de Santiago del Estero (Mariot, 2002)

Tipo de uso	Superficie (has)	%
Bosques sin intervención	120.000	0,91
Bosques secundarios en regeneración,	2.113.899	16,09
Bosques secundarios fuertemente degradados	1.693.516	12,89
Bosques serranos	250.000	1,90
Agricultura bajo riego (Sistema del Río Dulce)	150.000	1,14
Agricultura bajo riego (Sistema del Río Salado)	20.000	0,15
Agricultura en secano (Regiones Este y Oeste)	1.646.349	12,53
Área de Bañados del Río Dulce	1.465.119	11,15
Área de Bañados del Río Salado	537.827	4,09
Pastizales en áreas de antiguos incendios	1.016.368	7,74
Pastizales sobre áreas con incendios anuales	238.422	1,81
Desmontes con uso ganadero o abandonados en proceso de regeneración	2.736.090	20,83

Los bosques secundarios en Santiago del Estero, en general, se originan a consecuencia de una perturbación antrópica muy acusada, como una tala rasa con fines agrícolas o ganaderos, sobrepastoreo, intervención selectiva intensa o incendios forestales intencionados .

En la *Tabla 6* citada anteriormente se detalla la extensión de los bosques secundarios en regeneración y los desmontes para uso ganadero. Estos ecosistemas forestales representan aproximadamente el 40% de la extensión de los recursos forestales en la provincia, y de no haber una inmediata conservación y o gestión sustentable de los mismos se tiende a un proceso de desertificación irreversible (Mariot, 2002). Este proceso, con frecuencia avanza hasta la expulsión total de la población con capacidad de trabajo. Paralelamente a la pérdida del recurso forestal se produce la instalación de actividades agrícolas, mediante cultivos extractivos de alto rendimiento (soja, algodón, etc.) generalizándose el monocultivo.

En Santiago del Estero la deforestación producida es grave a fin de convertir el ecosistema forestal en monocultivo de soja, principalmente, como queda reflejado en la *Tabla 7*.

TABLA 7.-Desmontes autorizados para cultivos agrícolas en la provincia de Santiago del Estero
(Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca del Gobierno de Santiago del Estero, 2002)

Año	Superficie deforestada (en has)
1990	30561
1991	8361
1992	8369
1993	6405
1994	10269
1995	6735
1996	11328
1997	21524
1998	24457
1999	21158
2000	8029
2001	32493
2002	68285

La soja se constituyó en el primer producto de exportación de Argentina y el cultivo de esta leguminosa se expanden cada año a expensas de la ganadería y otros cultivos tradicionales como el maíz, trigo o algodón.

Se ha llegado a producir 36 millones de toneladas de soja en estos últimos años, el enorme desarrollo del cultivo de soja, se produce gracias a la biotecnología y a la siembra directa, pero ello va en detrimento de la diversidad productiva, provocando al corto plazo un deterioro del suelo.

Dos décadas atrás la soja era una oleaginosa de poca difusión en la Argentina. Hoy esta predominando en el Norte de la Región pampeana y también evidenció un aumento alarmante en la Región del Chaco Semiárido. La superficie cultivada en el país, pasó de 539.892 has en 1988 a 1.357.570 has en 1998. Las áreas de mayor superficie destinadas a este cultivo se encuentran en las provincias de Córdoba, Santiago del Estero, Santa Fe y Tucumán.

Otro cultivo de secano es el algodón que ocupa el centro de las provincias del Chaco y Formosa, extendiéndose hacia el Norte de Santa Fe y Centro de Santiago del Estero. Estas zonas concentran el grueso de la producción nacional, con mas de 880.610 ha aproximadamente ocupadas por este cultivo.

Frente a esta situación por la que actualmente atraviesan los ecosistemas forestales semiáridos de Argentina, es imprescindible tomar medidas necesarias para evitar la pérdida irreversible de estos bosques. También es conveniente destacar que cualquiera sean las disposiciones que se planteen para lograr las metas de conservación, tales como la expansión de áreas protegidas sin ningún tipo de incentivo económico, son carentes de ventajas y, por lo tanto, costosas y difíciles de implementar (Cannon, *et al*, 1998; Emrich, *et al*, 2000; Sedjo, *et al*, 2000; Sohngen, *et al*, 2000).

Rice, *et al*, (2000); Sugal y Mittermeier, (1999), examinaron el balance costo-efectividad de la conservación de un bosque después de haber sido aprovechado en relación con varias otras opciones de uso de la tierra, incluyendo la conservación del bosque no aprovechado, la conservación después de la extracción convencional, la extracción convencional sin conservación. Como indicadores de la efectividad de la conservación se emplearon la rentabilidad y los cambios de estructura y composición del bosque (con relación a un bosque no intervenido).

Este estudio determinó que la protección después de un período de extracción causaba menos daño y era más rentable. De hecho, la conservación después de la extracción permite la retención del 95% de la estructura del bosque no aprovechado a un costo de sólo 9% de las ganancias máximas disponibles a partir de la extracción convencional. En la *Tabla 8* se plantean las distintas opciones de conservación y gestión sostenible a modo de ejemplo, para un bosque en Bolivia.

TABLA 8.- Opciones de conservación y gestión sostenible según criterios selectos, para el bosque de Chimanes en Bolivia (Sugal y Mittermeier, (1999)

Opción	Bosque no aprovechado		Bosque con extracción convencional	
	Estructura retenida	Composición retenida	Ganancias	Costos de oportunidad
Protección de Bosque no aprovechado	100 %	100 %	0 %	100 %
5 años de extracción convencional y posterior protección	95 %	99 %	91 %	9 %
50 años de extracción convencional y posterior protección	62 %	98 %	100 %	0 %
50 años de extracción convencional y posterior manejo sostenible	33 %	80 %	37 %	63 %

Como estrategia de conservación la protección después de la extracción podría adoptar varias formas, dependiendo de las circunstancias. El bosque no aprovechado proporciona beneficios ecológicos superiores y deberá favorecerse como punto principal de la protección en la conservación, siempre que sea posible. Sin embargo, en los casos en que el bosque ya ha sido aprovechado usando métodos convencionales, o bien alterado en su totalidad por intervenciones desmedidas, se tiene la opción de proteger el bosque residual, o bosque secundario, y también apoyar los esfuerzos para implementar la extracción sostenible a perpetuidad, según cual sea la situación. Es improbable que la protección sea muy costosa en lo que se refiere a la privación de los beneficios de la extracción, ya que la extracción convencional habrá tomado la mayor parte del valor actual de la madera del bosque. (Emrich, *et al*, 2000; Cannon, *et al*, 1998; Castro, 1999).

Un ejemplo muy aleccionador en el que se lleva a cabo la protección después de la extracción es al sur de la cuenca amazónica. Tres compañías eléctricas en asociación con una organización ambientalista de los Estados Unidos financiaron la expansión del Parque Nacional Noel Kempff Mercado en Bolivia. Los fondos para el proyecto se definieron como servicios compensatorios de captura de Carbono, donde las compañías eléctricas involucradas podrían recibir crédito bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático por el Carbono capturado en el bosque secundario, que de otra manera se habría perdido totalmente mediante la extracción o la conversión de tierras a otros usos.

El área se consideraba prioritaria para la conservación porque la extracción había sido altamente selectiva en el pasado, de tal forma que se mantuvo la mayor parte del valor biológico del bosque. La mayoría de las especies de árboles de alto valor económico-ecológico del área fueron extraídos. El costo de adquisición de la tierra fue también muy bajo, aproximadamente dos dólares y medio por hectárea.

De manera que para la conservación de los bosques secundarios o bosques intervenidos, es necesario darles algún valor, por ejemplo resaltando sus funciones ambientales, de esta forma se lograría la preservación de estos recursos forestales fuertemente degradados. Entre las funciones protectoras y ambientales del bosque secundario cabe señalar, por ejemplo, el mantenimiento de la calidad de agua, el control de la erosión, la captura de CO₂, entre otras (Benítez, *et al*, 2001; Dixon, *et al*, 1995; Pinard, *et al*, 1997).

Diaz Balteiro (2002), destaca que actualmente existe un cambio en la percepción del bosque que esta provocando algunas alteraciones en la concepción de la gestión forestal aplicada. Hoy los sistemas forestales no son considerados como simples “despensas de madera”, sino que es necesario integrar a la gestión forestal otros aspectos como los servicios ambientales. Dentro de estos bienes y servicios de los ecosistemas ambientales, la captura de Carbono tiene una gran importancia en un futuro cercano, ya que pronto va a representar un determinado precio en el mercado. Además parte del Carbono capturado bruto (situado en el tronco de los árboles y asociado al crecimiento de la masa), es fácilmente medible y su valoración no resulta complicada.

El mismo autor antes citado, puntualiza que en España, según los últimos inventarios nacionales, los bosques que actúan como sumideros de Carbono, presentan una fijación neta, que sólo cubre parte de las emisiones anuales, este valor oscila entre un 10 % a un 25 %. Mientras que el Carbono asociado a la regeneración artificial no representa mas de 10% de la captura total. De manera que se hace necesario incrementar tanto la fijación como las reservas de Carbono, aumentando las superficies boscosas o conservando las ya existentes.

Capítulo III: Mecanismos para Mitigar los efectos del Cambio Global

- Los mecanismos “flexibles” como alternativas para mitigar el efecto invernadero

Después de múltiples encuentros e intensos trabajos previos la primera Reunión Internacional convocada para adoptar medidas con carácter urgente fue la denominada “Cumbre de la Tierra”, celebrada en Río de Janeiro en 1992 con la participación de representantes de 182 países. En esta Cumbre se firmó en la Convención Marco para el Cambio Climático (CMCC), el acuerdo para disminuir las emisiones de GEI en un 5 % por debajo de los niveles alcanzados en 1990. El objetivo de la Convención Marco para el Cambio Climático es la estabilización en la atmósfera de los gases de efecto invernadero (GEI), en niveles que “prevendrían interferencias antropogénicas peligrosas con el sistema climático”.

Más tarde, en 1997, en la “Cumbre de Kioto” se concilió el texto del llamado “Protocolo de Kioto”, en el que se establecieron - para facilitar los objetivos de la Convención Marco para el Cambio Climático - tres mecanismos: Acciones de Implementación Conjunta; Mecanismos de Desarrollo Limpio y los Intercambios de Emisiones y Créditos que ayudarían a los países industrializados a lograr los límites propuestos. Estos mecanismos se conocen conjuntamente como “Mecanismos Flexibles”.

De acuerdo con el “Protocolo de Kioto” la reducción de las emisiones de los GEI debe cumplirse durante el periodo 2008 - 2012. El compromiso afecta a los países incluidos en el Anexo I del Protocolo, donde aparecen los países industrializados del mundo y los de economía de transición de Europa oriental. A este Protocolo se han adherido otros países en desarrollo; así Argentina ratificó el Protocolo el 13 de julio de 2001, forjándose en la Ley Nacional 25.438 (Norberto, 2002).

Es necesario reconocer que las negociaciones internacionales relacionadas con el cambio climático no han logrado el éxito esperado: en abril de 2001 Estados Unidos de América, el mayor responsable de las emisiones globales de GEI, decide retirarse del acuerdo suscripto en el Protocolo de Kioto. No obstante en julio de 2001 se establece un nuevo compromiso político (sin la participación de los Estados Unidos) denominado “Mandato de Bonn”, en la Sexta Conferencia de las Partes (COP6), donde ese retoma la agenda relacionada con el cumplimiento del Protocolo de Kyoto (IPCC, 2001).

El total de las emisiones de CO₂ de las partes del Anexo I correspondiente a 1990, según el Protocolo de Kyoto se muestra en la *Tabla 9*.

TABLA 9.- Total de emisiones de CO₂ de las Partes del Anexo I correspondiente a 1990 (según Bárcena y Scheelje, 2003)

Partes Anexo I	Emisiones(Gg)	Porcentaje (%)	Reducción de emisiones(%)
Alemania	1.012.443	7,4	92
Australia	288.965	2,1	108
Canadá	457.441	3,3	94
España	260.654	1,9	92
Estados Unidos de América	4.957.022	36,1	93
Federación de Rusia	2.388.720	17,4	100
Francia	366.536	2,7	92
Italia	428.941	3,1	92
Japón	1.173.360	8,5	94
Polonia	414.930	3,0	94
Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	584.078	4,3	92

Los países con porcentajes de emisiones de CO₂ dentro de los límites permisibles son en su mayoría países en vías de desarrollo como queda reflejado en la *Figura11*

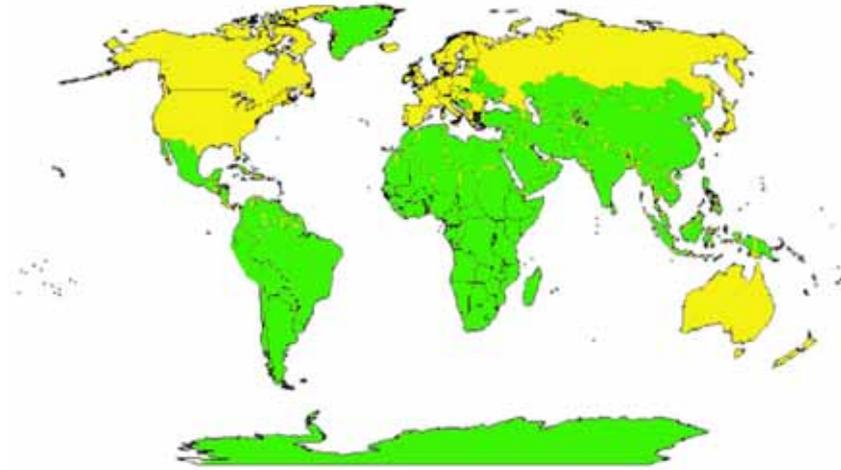


Fig.11. - Países con porcentajes de CO₂ permisibles (en oscuro)

Con el fin de promover el desarrollo sostenible en los países que no son parte del Anexo I (es decir los países en vías de desarrollo) y bajar los costos necesarios para cumplir los acuerdos de Kioto, se propusieron los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL). (UICN, 2001).

Mediante estos mecanismos los países del Anexo I pueden invertir en proyectos de reducción de emisiones de GEI en países en vías de desarrollo y usar estas emisiones reducidas para cumplir sus obligaciones emanadas del Protocolo de Kioto. El fundamento de la propuesta es que en los países en vías de desarrollo, los costos de reducción de emisiones son más bajos que en los países del Anexo I y por lo tanto existe un potencial ahorro de recursos económicos. Para los países en vías de desarrollo, los MDL proponen una potencial transferencia tecnológica y una fuente de financiación para proyectos que estimulen el desarrollo sostenible (De Jong, *et al*, 1997).

Argentina cuenta con la "Oficina para el Mecanismo de Desarrollo Limpio", que es el organismo creado por el Gobierno Nacional en el ámbito de la Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable, cuyos objetivos son la gestión de proyectos que se encuadren dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio, es decir para promocionar la reforestación, conservación o enriquecimiento de bosques para la fijación y almacenamiento de CO₂ (Norverto, 2002), y otros proyectos no vinculados al área forestal, como la energía de biomasa, generación de energías alternativas, etc.

- Los Mecanismos de Desarrollo Limpio

Los "Mecanismos de Desarrollo Limpio" (MDL) tratados en el artículo 12 del Protocolo de Kioto, tienen como propósito el de "*asistir a las Partes no incluidas en Anexo I en el logro de un desarrollo sostenible y en su contribución a los objetivos de la Convención, y asistir a las*

Partes incluidas en el Anexo I en el logro de las limitaciones y reducciones obligadas bajo el artículo 3º del mismo Protocolo.

Las etapas en el desarrollo de los MDL se representan según Moura Costa, (2000) en el gráfico de la *Figura 12*

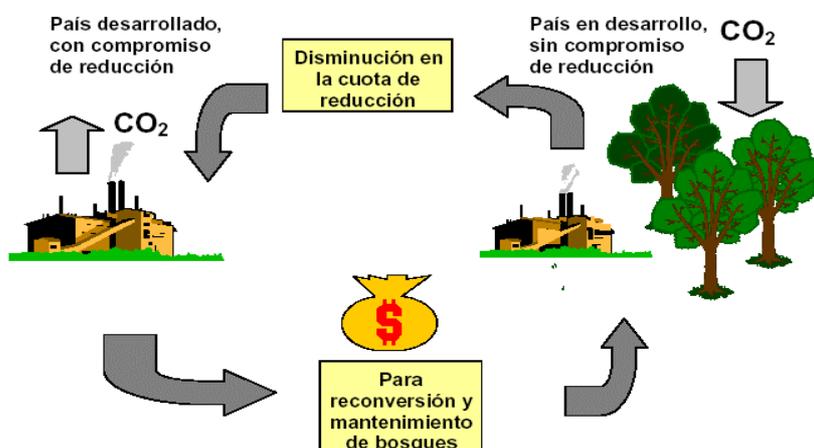


Fig.12. - Etapas en el desarrollo de los Mecanismos de Desarrollo Limpio

Estos mecanismos permiten a los países desarrollados acreditar las reducciones que se realicen en Proyectos en países en desarrollo, ya sea financiando actividades para una reducción de las emisiones de CO₂, (tales como evitar la deforestación mediante la conservación de bosques, la restitución de ecosistemas forestales por enriquecimiento, la gestión sostenible de los bosques, aplicando técnicas de aprovechamiento de bajo impacto, etc.) o financiando Proyectos que generen una mayor capacidad de absorber emisiones, como en el caso de los proyectos de reforestación o forestación (replantaciones) que posibilitan absorber CO₂ y fijar el Carbono en la madera de los árboles.

Las medidas que se consideran mas adecuadas para mitigar las acciones del cambio climático, dentro de los denominados MDL, en el área forestal, son de tres tipos principalmente (Olander, 2000):

1. Conservación de bosques y restauración de áreas degradadas
2. Captura de Carbono mediante forestación y reforestación
3. Sustitución de Carbono mediante cultivos bioenergéticos.

1. Conservación de bosques y restauración de áreas degradadas.

Esta medida esta orientada al control de las tasas de deforestación. El control de la deforestación se logra mediante la conservación de bosques, gestión sostenible, manejo de productos y el control de los incendios forestales. (Gayoso, 2000).

2. Captura de Carbono mediante plantaciones forestales. Tiene como finalidad incrementar la fijación del CO₂ atmosférico, mediante el aumento de la superficie cubierta por bosques por forestación y reforestación, aplicación de sistemas agrosilvícolas, plantaciones urbanas(plazas y espacios verdes)repoblaciones urbanas, enriquecimiento y extensión de las rotaciones, etc. Para lograr estos objetivos, se consideran tanto las plantaciones de gran envergadura, como es el caso de las efectuadas con carácter comercial, como también realizadas en pequeños predios, o bien de ámbito urbano que son de menor extensión (plazas, arbolado urbano, etc).

3. Sustitución de Carbono mediante cultivos bioenergéticos. Este grupo de actividades esta relacionadas fundamentalmente con la energía. La bioenergía es la energía obtenida de la biomasa resultante de cultivos establecidos para tal fin ya sea de bosques o cultivos energéticos, o de subproductos forestales y agrícolas. El uso de biocombustibles como fuente de energía renovable puede contribuir a reducir el consumo de combustibles fósiles, responsables de la generación de emisiones de los gases de efecto invernadero. La principal diferencia de estos combustibles, con los de origen fósil es que la quema estos últimos libera a la atmósfera el carbono que ha estado inmovilizado por millones de años, dando como resultado un incremento del contenido neto atmosférico de CO₂, mientras que la quema de biocombustibles libera carbono que no incrementa las emisiones netas de dicho GEI, dado que este fue absorbido e inmovilizado en un tiempo relativamente reciente por las masas forestales formando parte del ciclo global del Carbono (Chomitz, 2000).

La sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles en la producción de electricidad y calor es menos costosa y brinda mayores reducciones de CO₂ por unidad de biomasa. (Marland, 1992 y Schlamadinger, 1998). Otra alternativa dentro de este grupo de mecanismos es el empleo de la madera que podría reemplazar a de otros materiales, como el aluminio y el cemento o bien a los que consumen demasiada energía para su elaboración.

Otra alternativa, si bien indirecta, dentro, de los MDL es el manejo de productos maderables. Este caso se plantea para los bosques productivos de rotación corta, cuya principal producción es la madera pulpable. Es decir, si se extiende la rotación se lograría un doble beneficio, ya que, por un lado se obtendría mayor volumen de biomasa, mayor fijación de CO₂ y, por otro, se diversificaría la producción en el tiempo. De esta forma parte de la producción

podría destinarse a la pulpa y la otra a la madera aserrada y mueblería. Esta última forma de producción al tener mayor permanencia en el sistema mantiene el Carbono fijado por más tiempo (Gayoso, *et al*, 2000).

Romero, *et al* (1998) al evaluar la edad de rotación para un Hayedo español, evaluando no solo la producción maderable sino el Carbono almacenado en la biomasa leñosa, concluyeron que al considerar la captura de Carbono como un beneficio ambiental en la gestión del bosque, da como resultado un turno de rotación mas largo que la tradicional edad de rotación financiera. Este tipo de manejo silvícola debería ser compensado con adecuados subsidios a los propietarios de terrenos forestales por brindar este beneficio ambiental.

Capítulo IV: Los Bosques Nativos de Santiago del Estero como sumideros de CO₂. Caso de estudio: Bosque “La Clausura”

- Características generales del Chaco Americano.

El Chaco es la región forestal más grande del Continente Sudamericano, después de la Amazonia. Comprende una superficie de 1.000.000 km² en el Centro de América del Sur y la mitad de esta superficie se encuentra en Argentina. Por su ubicación se extiende desde latitudes definitivamente tropicales (18°S), hasta ambientes claramente subtropicales (31°S) abarcando desde los 57° Este hasta los 66° Oeste. Comprende parte de los territorios de Bolivia, Paraguay y una pequeña porción de Brasil.

Argentina alcanza el 45,87% de la superficie, es decir 50 millones de has, Paraguay representa el 32,11% con 35 millones de has, Bolivia tiene el 14,68% con 16 millones de has y finalmente Brasil con el 7,34% es decir 8 millones de has (Red Agroforestal Chaco Argentina, 1999)

El polo de calor en Sudamérica se encuentra en esta región con temperaturas muy elevadas. A su vez, las lluvias concentradas en la época estival, hace que los procesos biológicos, en este período, tengan una actividad muy acelerada. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 18 °C y 26 °C y la evapotranspiración potencial es de 900 mm anuales en el sur y 1500 mm anuales en el norte. Las precipitaciones alcanzan su máximo en las cercanías del Río Paraguay con 1300 mm anuales, adquiriendo valores mínimos en la subregión Argentina del Chaco Seco con 300 mm anuales.

La fragilidad del ecosistema bosque del Chaco Americano es muy notable, pero con tecnologías y sistemas de manejo apropiados a sus características, pueden obtenerse sistemas altamente productivos y sustentables.

- Características de la subregión del Chaco Semiárido en Argentina

La Región Chaqueña en Argentina es una extensa llanura, que ocupa el centro oeste de Argentina. La mayor parte de esta región está ocupada por la subregión del Chaco Semiárido; hacia el límite oriental se encuentra el Chaco húmedo o Chaco oriental, y hacia el oeste el Chaco serrano. (Figura 13)



Fig.13. - Las Regiones del Chaco en Argentina (Morello, *et al*, 1983)

El Chaco Argentino comprende a diez provincias, abarcando la totalidad de las provincias de Formosa, Chaco y Santiago del Estero, y gran parte del norte de Santa Fe y San Luis, este de Salta, Tucumán, Catamarca y La Rioja, y norte y oeste de Córdoba. Cabe destacar que la provincia de Santiago del Estero está comprendida en su totalidad en la subregión fitogeográfica del Chaco semiárido.

El clima de la región Chaqueña Semiárida es subtropical tipo continental con veranos muy calientes con temperaturas medias máximas absolutas hasta 45 °C, los inviernos relativamente fríos siendo la mínima absoluta de -10 °C. La primavera es la estación seca con un rápido incremento de la temperatura. (Boletta, *et al*, 1992).

En el Chaco Semiárido se encuentra el polo de calor de Sudamérica. En la *Figura 14* se observa la isoterma de los 47 °C que abarca la totalidad de la Región Chaqueña Semiárida de Argentina, determinando el círculo de calor con temperaturas que pueden alcanzar los 50 °C aproximadamente.

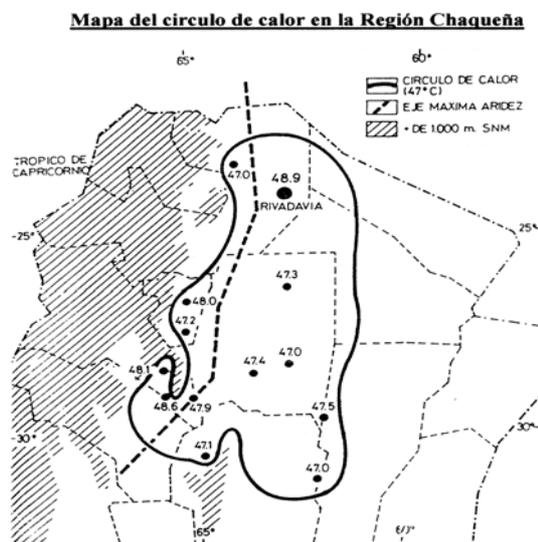


Fig.14. - Círculo de calor en la Región Chaqueña Semiárida (Karlín, *et al* ,1994)

El invierno es la estación seca con cielo diáfano en la mayoría de los días, e intensa radiación solar. El verano es la estación donde se concentran las lluvias. El balance hídrico climático es deficitario en todos los meses del año en casi todo el territorio de Santiago del Estero. Las precipitaciones oscilan entre 750 mm, en la parte oriental hasta 500 mm hacia el oeste de la provincia, disminuyendo progresivamente de este a oeste.

Según Boletta, (1992), los valores de evapotranspiración potencial de acuerdo a la metodología de Thornthwite, es de 1100 a 1200 mm, marcando así un déficit equivalente aproximadamente a la precipitación media anual. Mas del 75 % de la superficie de la provincia posee un clima semiárido al tener un valor de -20 del índice hídrico de Thornthwite. Se puede decir entonces que el período seco abarca parte del otoño, íntegramente el invierno y gran parte de la primavera.

Los elementos del clima son los que determinan que la semiaridez sea la característica predominante de la región, y esta semiaridez se manifiesta en el tipo de vegetación presente.

- Estudio de caso: evaluación del carbono almacenado en el ecosistema forestal del Bosque "Las Marias".

Dentro de este marco general descrito referido a la caracterización del Chaco Semiárido, los datos de campo correspondientes a este estudio de caso que se citan a continuación, han sido recolectados en la Estación Experimental "La María" perteneciente al Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA), de la provincia de Santiago del Estero. La Estación Experimental se encuentra ubicado sobre la ruta nacional N° 9 a 27 Km al sur de la capital de Santiago del Estero, a 28° 05' de latitud sur y 64° 15' de longitud oeste.

El campo experimental cuenta con una superficie aproximada de 6.750 ha, en donde se diferencian marcadamente las tres formas fisionómicas del Chaco Semiárido: el bosque, el matorral y los pastizales.

Dentro de esa superficie se ha seleccionado un área de 25 has correspondientes a un bosque secundario acotado denominado "La Clausura". (*Figuras 15 y 16*)

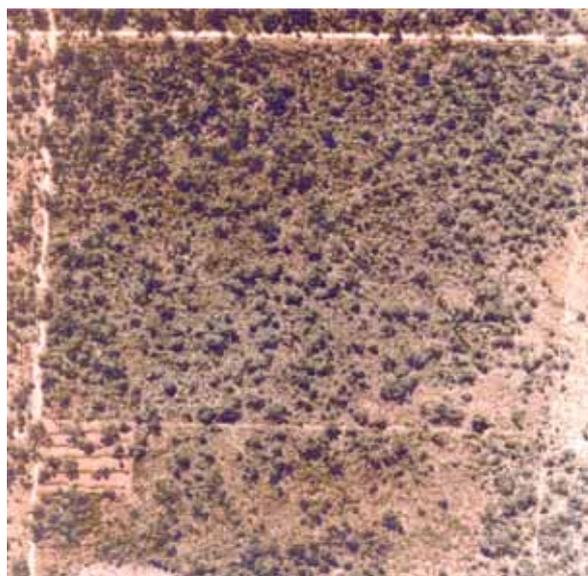


Fig.15. - Fotografía Aérea de "La Clausura" (escala 1:1700)

Dicha superficie (25 ha) ha sido cercada hace aproximadamente 20 años, para evitar la influencia del ganado doméstico y todo tipo de intervención antrópica.



Fig.16. - Vista parcial de la vegetación predominante en "La Clausura"

Las especies reconocidas e inventariadas en las parcelas del área de estudio de "La Clausura", se muestran en las *Tablas 10 y 11*, correspondientes a especies arbóreas y arbustivas.

La descripción de las mismas se presentan según sus familias botánicas y géneros, identificadas por el nombre científico y nombre común.

TABLA 10.- Composición florística de “La Clausura” correspondiente al estrato arbóreo y arbustivo

Familia	Nombre Común	Nombre Científico
Anacardiaceae	Quebracho colorado	<i>Schinopsis quebracho-colorado</i> (Schlecht) Barkl. et Meyer
Apocynaceae	Quebracho blanco	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> Schlecht.
Fabaceae - (Leguminosae)	Algarrobo negro	<i>Prosopis nigra</i> (Griseb.) Hieron
Rhamnaceae	Mistol	<i>Ziziphus mistol</i> Griseb.
Santalaceae	Sombra de toro	<i>Jodina rhombifolia</i> Hook. et Arn.
Fabaceae (Leguminosae)	Brea	<i>Cercidium praecox</i> (R. Et P.) Harms
Simaroubaceae	Duraznillo	<i>Castela coccinea</i> Griseb.
Fabaceae	Teatín	<i>Acacia furcatispina</i> Burk.
Capparaceae	Atamisqui	<i>Atamisquea emarginata</i> Miers. Ex Hook. et Arn.
Cactaceae	Quimil	<i>Opuntia quimilo</i> Schum.
Zigophyllaceae	Jarilla	<i>Larrea divaricata</i> Cav.
Olacaceae	Pata	<i>Ximenia americana</i> L.
Celastraceae	Abriboca	<i>Maytenus spinosa</i> (Griseb.) Lourt. Et O'Don.
Ulmaceae	Tala	<i>Celtis tala</i> Gillies ex Planchon
Simaroubaceae	Meloncillo	<i>Castela coccinea</i> Griseb.
Rhamnaceae	Piquillín	<i>Condalia microphylla</i> Cav.
Fabaceae (Leguminosae)	Tusca	<i>Acacia aroma</i> Gill. Ap. Hook. et Arn.
Verbenaceae	Poleo	<i>Lippia turbinata</i> Griseb.

Según Araujo (2003), de las características fitosociológicas del área de estudio la especie más abundante del estrato arbóreo es el Quebracho blanco. En orden decreciente continua el Duraznillo, Mistol, Quebracho colorado y Algarrobo negro.

En las siguiente *Figura 17* se observan las principales especies arbóreas y la estructura típica de un rodal en el bosque de “La Clausura”.



Fig.17.- Las fotografías muestran un rodal característico del bosque de "La Clausura" y un Ejemplar adulto de Quebracho colorado (*Schinopsis quebracho - colorado* (Schlecht) Barkl. et Meyer), de "La Clausura".

Las especies dominantes son el Quebracho blanco y el Quebracho colorado las que representan un 76,92 % del área basimétrica.

El Quebracho colorado, ubicado en cuarto lugar en cuanto a su abundancia, pasa a ocupar el segundo lugar en dominancia, desplazando al Duraznillo y Mistol, que si bien son muy abundantes, mientras que el Quebracho blanco supera al Quebracho colorado en densidad y dominancia.

- Carbono almacenado en el Ecosistema del bosque “La Clausura”

- Carbono almacenado en árboles

De los valores obtenidos del Carbono almacenado en los árboles y su equivalencia en CO₂, se determinó que las especies que almacenan mayor cantidad de Carbono son los Quebrachos colorado y blanco, siendo el Quebracho colorado el que presenta una mayor cantidad de Carbono almacenado 12,697 tnC/ha, respecto del Quebracho blanco, que tiene almacenado 10,486 tnC/ha.

En orden decreciente, respecto de la cantidad de Carbono almacenado, continua el Mistol, Duraznillo, Brea y finalmente el Sombra de Toro, que almacenan en conjunto solo 1,303 tnC/ha, hay que destacar que esta especie es la menos abundante.

Los valores expresados en la *Tabla 11* de los datos evaluados se muestran en la *Figura 18* expresados en valores porcentuales.

TABLA 11.- Carbono almacenado en los árboles de “La Clausura”

Especie	Carbono Tn / ha	CO ₂ Tn / ha
Algarrobo Negro	2,716	10,049
Quebracho blanco	10,486	38,798
Quebracho colorado	12,697	46,978
Mistol	4,001	14,804
Brea	2,330	8,621
Duraznillo	3,636	13,453
Sombra de Toro	1,303	4,821
Total	37,169	137,524

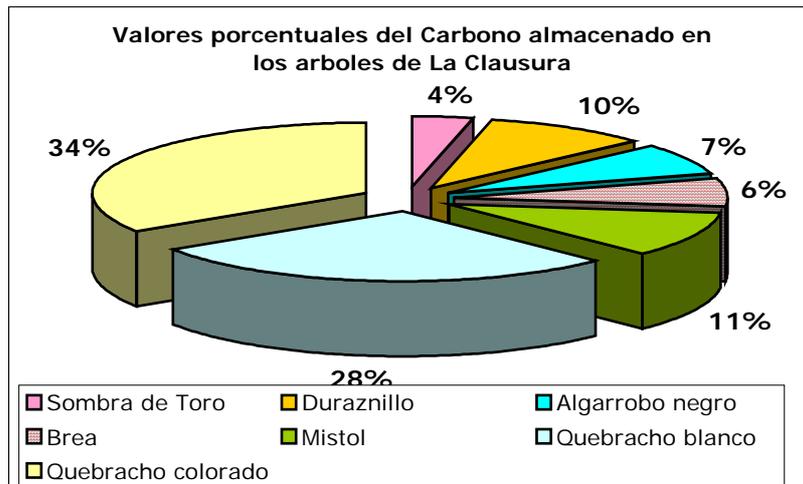


Fig.18. - Distribución porcentual del Carbono almacenado en cada una de las especies arbóreas.

Teniendo en cuenta las características fitosociológicas de los árboles de "La Clausura", según Araujo (2003) especialmente la abundancia, expresada en número de individuos por unidad de área, la mayor densidad en "La Clausura" la presenta el Quebracho blanco con 147 individuos / ha, en segundo lugar se encuentra el Duraznillo con 26 individuos / ha, el Mistol con 25 individuos / ha y por último el Quebracho colorado con 24 individuos / ha.

Esta característica fitosociológica, es propia de los bosques secundarios que han sido fuertemente degradados y se encuentran actualmente en proceso de regeneración. En ellos se observa que el estrato superior se encuentra incompleto debido a que esta representado en este caso mayoritariamente por el Quebracho blanco y muy pocos individuos de Quebracho colorado, pero de gran tamaño. Sin embargo el mayor aporte en el ecosistema en cuanto a carbono almacenado, corresponde al Quebracho colorado con un 34 % del carbono almacenado en la masa arbórea. Aunque su densidad sea muy baja en el estrato superior, los individuos que lo representan son de gran envergadura y por lo tanto con gran capacidad de almacenar Carbono. Característica que ha de tenerse en cuenta en el momento de planificar la gestión de aprovechamiento de los bosques de estas zonas.

- Carbono almacenado en arbustos.

La *Tabla 12* muestra los resultados alcanzados para la estimación del Carbono almacenado en el estrato arbustivo.

TABLA 12.- Carbono almacenado en los arbustos de "La Clausura" (tn/ha)

Especie	Carbono almacenado en tn/ha	CO ₂ almacenado en tn/ha
Meloncillo	3,273	12,012
Tala	2,410	8,845
Tusca	2,336	8,503
Poleo	0,785	2,881
Piquillín	1,025	3,762
Atamisqui	0,578	2,121
Teatín	0,514	1,886
Jarilla	0,429	1,574
Total	11,350	41,654

Se observa que el mayor aporte en el Carbono almacenado lo hace el Meloncillo con 3,273 tn C/ha, en segundo lugar se destacan el Tala y la Tusca con 2,410 y 2,336 tn C /ha, respectivamente. El Carbono total almacenado en este estrato arbustivo alcanza un valor total de 11,350 tn C / ha.

- Carbono almacenado en hojarasca y material leñoso caído

El material del piso del Bosque de "La Clausura", esta compuesto por la hojarasca, ramas, ramillas, frutos secos y todo el material vegetal caído que forma parte del mantillo. Los valores de Carbono almacenado en este estrato se detallan en la *Tabla 13*.

TABLA 13.- Carbono almacenado en la hojarasca y en el material leñoso caído en tn/ha

Mantillo	tn C/ha	tn CO ₂ /ha
Material leñoso entre 3 - 7 cm de diámetro	7,105	26,075
Material leñoso con diámetro mayor a 7 cm (hasta 15 cm).	2,775	10,184
Hojarasca.	1,927	7,074
Total	11,807	43,334

De los resultados obtenidos se observa que existe una importante cantidad de Carbono almacenado en el material leñoso caído alcanzando un total de 9,880 tn C/ha, equivalentes a 36,260 tn CO₂/ha.

La hojarasca conformada por ramas, ramillas, hojas secas, etc., presenta un contenido de carbono de 1,927 tn/ha equivalentes a 7,072 tn/ha de CO₂ que se estarían descomponiendo en condiciones naturales.

La descomposición natural de estos materiales permitiría la liberación de 43,334 tn CO₂/ha, valor que es muy importante tenerlo en cuenta a la hora de realizar el balance de Carbono en el ecosistema.

Los bosques sometidos a las actividades de cosecha o deforestación liberan grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera, producto de los desechos orgánicos vegetales, aunque estas emisiones no sean inmediatas.

- Carbono almacenado en árboles muertos en pie

Se cuantificó según su área basimétrica, el carbono en proceso de liberación por descomposición de los árboles muertos en pie. La *Tabla 14* muestra en detalle los resultados obtenidos.

TABLA 14.- Carbono almacenado en los árboles muertos en pie

Especie	Carbono (tn / ha)	CO ₂ (tn / ha)
Algarrobo Negro	1,3857	5,086
Quebracho blanco	0,4522	1,659
Quebracho colorado	0,0583	0,214
Mistol	0,0029	0,053
Brea	0,0072	0,011
Duraznillo	0,0145	0,027
Total	1,921	7,050

Es importante destacar la gran mortalidad que presenta el Algarrobo negro en el área de estudio, aportando 1,385 tn C/ha es decir un equivalente a 5,086 tn CO₂/ha como fuente de emisión natural. Las emisiones totales de CO₂ por descomposición de los árboles muertos en pie, alcanzan un valor de 1,921 tn C/ha, equivalentes a 7,050 tn CO₂/ha, que es necesario que sean cuantificadas en el momento de contabilizar el balance del Carbono en el ecosistema.



Fig. 19 Ejemplar de Algarrobo muerto en pie presente en "La Clausura". Es posible observar en el área de estudio numerosos individuos de esta especie en las condiciones que se observan.

- Carbono almacenado en las raíces

El Carbono almacenado en las raíces de los árboles, guarda una relación directa con el contenido de Carbono en la parte aérea. Se estimó el Carbono almacenado en las raíces de los árboles, estos valores se detallan a continuación en la *Tabla 24*.

TABLA 15.- Carbono almacenado en las raíces de los árboles (tn C / ha)

Especie	Carbono tn/ha	CO ₂ tn/ha
Sombra de Toro	0,534	1,976
Duraznillo	0,436	1,613
Algarrobo Negro	0,639	2,364
Brea	0,330	1,221
Mistol	0,574	2,124
Quebracho blanco	2,461	8,939
Quebracho colorado	1,002	3,707
Total	5,976	21,944

La distribución típica que presentan las raíces de las especies arbóreas de esta región es horizontal, característica propia de ecosistemas donde el agua es el limitante por excelencia.

- Carbono total almacenado en la vegetación viva y muerta del bosque de "La Clausura"

Los resultados alcanzados respecto del contenido de Carbono cuantificado para cada uno de los reservorios evaluados en el bosque de "La Clausura" se reflejan en la *Tabla 26*.

TABLA 16.- Carbono contenido en el bosque de "La Clausura", expresado en tn C / ha.

Estratos o reservorios	Carbono almacenado en cada reservorio
Carbono en árboles	37,169
Carbono en arbustos	11,350
Carbono en hojarasca	1,927
Carbono en Material leñoso caído	9,880
Carbono en raíces gruesas	5,976
Carbono en árboles muertos	1,921
Carbono Total en la vegetación viva y muerta del ecosistema	68,223

El 33 % del Carbono acumulado corresponde a los árboles, el 10% a los arbustos, el 9% al material leñoso caído, los restantes reservorios están representados por un 9%, raíces, árboles muertos, hojarasca. Los equivalentes porcentuales expresados se observan en el siguiente *Figura 20*.

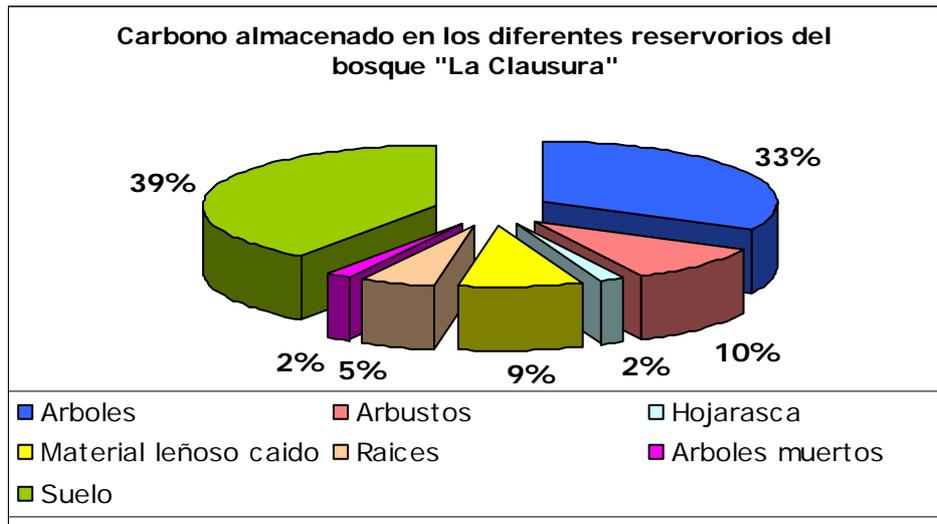


Fig. 20.- Contenido de Carbono en porcentaje correspondiente a cada uno de los reservorios del bosque de "La Clausura"

- La conservación de los ecosistemas forestales en función de los servicios ambientales

Si nos imagináramos que este cambio climático es semejante a una fiebre del planeta, podríamos llegar a decir que la conservación de los bosques y el aumento de la superficie forestal sería como una medicina potencial frente a esta situación; al mismo tiempo que su destrucción o cambios de uso del suelo, contribuyen en gran medida a las emisiones antropogénicas, ya que al eliminar la capacidad de los bosques para absorber carbono, la liberación de los gases GEI a la atmósfera es mayor.

En los países desarrollados la mayor parte de las emisiones se originan por los gases liberados de las chimeneas de las industrias, de los tubos de escape de los automóviles y el uso excesivo de los combustibles fósiles.

En cambio en los países en desarrollo la mayor parte de las emisiones de los GEI proceden del cambio de uso de la tierra. De esto último es que surge como una alternativa para reducir las emisiones en países en desarrollo, incentivos financieros tanto para lograr la conservación de estos ecosistemas, como para alcanzar una gestión sostenible de los mismos mediante la reducción de la deforestación, el control la intensidad y frecuencia de los incendios, reducir al mínimo la pérdida de carbono al transformar la madera en productos forestales de mayor manufactura, agregando valor a los mismos, eliminar los árboles en franco proceso de descomposición de la masa forestal sin alterar el hábitat de las especies que anidan, etc.

El Bosque de "La Clausura" y otros ecosistemas forestales de semejantes características tiene almacenado un total de 210,546 tn CO₂ / ha, de las cuales solo 50,384 tn CO₂/ha se encuentran en proceso de descomposición por la vegetación leñosa arbórea muerta y el mantillo. La conservación del Bosque de "La Clausura" durante 30 años, supondría almacenar 13.110,58 tn de CO₂ por año, evitando emisiones antropógenas del orden de 5.084,632 tn CO₂ /año, resultantes de la deforestación o extracción maderable para leña o carbón.

Hay que destacar que los productos maderables del bosque chaqueño semiárido pueden ser aprovechados para manufacturas de mueblería, construcciones, otorgando así un mayor valor agregado, teniendo en cuenta que en estas maderas el proceso de descomposición es lento, de forma que el almacenamiento de CO₂ en los productos de este tipo de bosques perdura a largo plazo.

La aplicación de proyectos de forestación o reforestación dentro de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), en bosques de estas características, o bien en áreas sumamente degradadas permitirán, además de un pago por servicios ambientales durante el período de tiempo que dure la implementación del Proyecto, el desarrollo de otros tipos de aprovechamientos sostenibles.

Para lograr este desarrollo social, económico y ecológico en la provincia, mediante proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) Santiago del Estero cuenta con una superficie de 2.113.889 ha de bosques secundarios en regeneración, con características semejantes al bosque "La Clausura" que están siendo completamente destruidos.

Este tipo de estudio demuestra que los bosques secundarios de esta región tienen un elevado valor ambiental y económico, por lo que deben ser conservados.

- BIBLIOGRAFÍA CITADA Y CONSULTADA

AEDENAT. 1998 "Protocolo de la Cumbre del Clima de Kioto". www.nodo50.ix.apc.org/aedenat/clima/poskioto.htm

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA FORMULACIÓN DEL MERCADO DE CARBONO. 1999 Documento de trabajo preparado dentro del marco del proyecto Medición de la Capacidad de Captura de Carbono en Bosques de Chile y Promoción en el Mercado Mundial de Carbono.

ANDERSON, S.H.; BEISWENGER, R.E.; WALTON, P. 1987. *Environmental Science*. Merrill Publishing Co., USA. Tercera Edición. Pág. 505.

ANDRADE, H.; MUHAMMAD, I. 2000. Fijación de Carbono en Sistemas Silvopastoriles, una Propuesta Metodológica. CATIE. Costa Rica.

ARAUJO, P.A, 2003. Bases para la gestión sostenible de bosques en regeneración del Chaco Semiárido. (Santiago del Estero - Argentina). Tesis Doctoral, Escuela Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.

ATENCIA, M.E., 2003. Determinación de la densidad en maderas argentinas. Trabajo de investigación. Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

AUZEL, P. AND WILKIE, D.S. 2000. Wildlife use in northern Congo: hunting in a commercial logging concession. In J. Robinson and E. Bennet. (Eds.). *Hunting for sustainability in tropical forests*. p. 413-426. NY: Columbia University Press.

BÁRCENA. M, SCHEELJE. J, 2003. El Cambio Climático, principales causantes, consecuencias y compromisos de los países involucrados. Congreso Forestal Mundial, Québec, Canadá.

BARRIONUEVO S,A. 2001. Estimación del carbono capturado en la biomasa de *Aspidosperma Quebracho -blanco* (schelechtend). *Simposio Internacional de Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono*. Valdivia, CHILE. 18 al 20 de octubre de 2001.

BENÍTEZ, C, *Et Al*. 2002. Biomasa aérea de ejemplares de Quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) en dos localidades del Parque Chaqueño Seco. *Revista Quebracho* 9: 115-127

BENÍTEZ, P., OLSCHESKI, DE KONING FREE Y LÓPEZ M. 2001. Análisis costo-beneficio de usos del suelo y fijación de carbono en sistemas forestales de Ecuador Noroccidental; *Investigación de Bosques tropicales*. Begleitprogramm Tropenologie Deutsche Gesellschaft Technische Zusammenarbeit (GTZ).

BOLETTA, P., 1992. Análisis de las características Climáticas de la Provincia de Santiago del Estero y comportamiento del tiempo durante la sequía de la Campaña Agrícola 1988/1989. Convenio INTA - UNSE. Santiago del Estero.

BROWN, P., CABARELE, B. Y R. LIVERNASH. 1997. Carbon Counts: Estimating Climate Mitigation in Forest Projects. World Resource Institute, Washington D.C.

BROWN, S., A.J.R. GILLESPIE, A.E. LUGO. 1989. "Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data". *Forest Science* 35:881-902

BROWN, S., HALL, C.A.S., KNABE, W., RAICH, J., TREXLER, M.C. Y WOOMER, P. 1993. Tropical forests: their post present and potential future role in the terrestrial carbon budget. *Water Air Soil Pollut.*, 70:71-94.

BROWN, S., IVERSON, L, PRASAD, A. Y LIA, D. 1993. Geographical distribution of carbon in biomass and soils of tropical Asian forests. *Geocarto Int.*, 8:45-60.

BROWN, S., SATHAYE, J., CANNELL, M. Y KAUPPI, P.E. 1996. Management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions. Working Group II, Second Assessment Report, Intergovernmental *Panel on Climate Change*, Cap.24. Cambridge, Reino Unido.

BROWN, S., 1998. Evaluating approaches for estimating net emissions of carbon dioxide from forest harvesting and woods products. Informe presentado para el *Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático*. Dakar, Senegal, Mayo de 1998.

BROWN, S, BURNHAM, M, DELANEY, R, MORENO, A. 2000. Issues and challenges for forest-based carbon-offset projects: A case study of the Noel Kempff climate action project in Bolivia. Published in: *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5:99-121 (2000)

CANNON, C., PEART, D., AND LEIGHTON, M. 1998. Tree species diversity in commercially logged Bornean rainforest. *Science* 281: 1366-1368.

CANNON, J.B., GULLISON, R.E., AND RICE, R.E. 1998. Evaluating strategies for biodiversity conservation in tropical forests. Report prepared for the World Bank's Development Research Group. Washington, D.C.: Conservation International.

CASTRO, R. 1999. Valuing the Environmental Service of Permanent Forest Stands to the Global Climate: The Case of Costa Rica. Thesis presented to The Doctor of Design Program for the degree of Doctor of Design, Graduate School of Design Harvard University Cambridge, Massachusetts.

CONFERENCIA DE LAS PARTES COP9. 2003. "Cuestiones metodológicas uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y selvicultura: definiciones y modalidades para incluir las actividades de forestación y reforestación en el ámbito del artículo 12 del protocolo de Kyoto". 19º período de sesiones Milán, 1º a 9 de diciembre de 2003.

CENTENO J.C, (1997). "El efecto invernadero". En Internet: www.ciens.ula.ve/centeno

CENTENO, J. C, (1998). "Las emisiones de Carbono de Venezuela". En Internet: www.ciens.ula.ve/~jcenteno/html.

CHOMITZ, K.M. 2000. Evaluating Carbon Offsets from Forestry and Energy Projects: How Do They Compare? World Bank Paper 2357, World Bank, Washington D.C. <http://econ.worldbank.org/docs/1111.pdf>.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE DE CHILE, 1999. Página WEB de la Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile. www.conama.cl

CORLETT, R. T. 1994. What is Secondary Forest? *Journal of Tropical Ecology* 10: S. 445-447

CORLETT, R. T. 1995. Tropical secondary forest. Department of Ecology and Biodiversity. In: *Progress in Physical Geography* 19,2 . S. 159-172

DAJOZ, R. 2002. Tratado de Ecología. Segunda edición. Mundi Prensa. Madrid. España

DE JONG, B., R. TIPPER, AND J. TAYLOR. 1997. Framework for Monitoring and Evaluating Carbon Mitigation by Farm Forestry Projects: Example of a Demonstration Project in Chiapas, Mexico, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2(2- 3):231-246.

DÍAZ BALTEIRO, L. 2002. Los sistemas forestales y la provisión de bienes ambientales. Jornada temática sobre los aspectos Medioambientales de la agricultura. Madrid, 18 de julio de 2002

DIRECCIÓN DE ECONOMÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL DE LA PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO. 2003. Evaluación de los Desmontes autorizados para uso Agrícola en la Provincia de Santiago del Estero. Inédito

DIXON, R.K., J.K. WINJUM, K.J. ANDRASKO, J.J. LEE, AND P.E. SCHROEDER. 1995. Integrated Land- Use Systems: Assessment of Promising Agroforest and Alternative Land- Use Practices to Enhance Carbon Conservation and Sequestration. *Climatic Change* 71-92.

ECOSECURITIES, LTD. 1998. SGS Forestry Carbon Offset Verification Services. Oxford, UK: SGS Forestry.

EMRICH, A; POKORNY, B; SEPP, C. 2000. Investigación de los bosques tropicales. Importancia del manejo de los bosques secundarios para la política de desarrollo. ECO - Society for socio-ecological programme consultancy. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Postfach 5180, 65726 Eschborn. Alemania. ISBN: 3-933984-53-X

FAO, 2000. Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de carbono. 98 Pág. Informe sobre los recursos mundiales de suelos.

FEARNSIDE, P., LASHOF, A., MOURA-COSTA, P. 2000. Accounting for Time in Mitigating Global Warming Through Land-Use Change and Forestry. *Mitigation and adaptation Strategies for Global Change*

GAYOSO, J., 2000. Mejores Prácticas para un Manejo Forestal Sustentable. Programa de Producción Forestal y Medioambiente de la Universidad Austral de Chile

GAYOSO, J; SCHLEGEL, B. 2001. Guía para la formulación de proyectos forestales de carbono. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF. Valdivia, Chile. 15 Pág.

GCCIP. 1997. Global Climate Change Information Programme. En: US Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/globalprototypecarbonfun.org>.

GOLDAMER, J.G., 1990. Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global challenges. *Ecological Studies* N° 84. Berlín, Springer Verlag.

GUTIÉRREZ, V. 2004 Implicaciones de las decisiones adoptadas en COP9 en el diseño y manejo de proyectos MDL forestales. *Revista Carbono y Bosques*. ISSN 1794-287X. Vol. 2. Febrero 2004

HUECK, K. 1978, Los bosques de Sudamérica. Ecología composición e importancia económica. Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), Eschborn. 262-275.

IPCC (Panel Intergubernamental sobre el cambio climático), 2000. Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*, UK. Pag. 375.

IRIGOIN, N., 1998, Estadísticas sobre los incendios forestales y de pastizales ocurridos en el país durante la temporada 1996 / 1997. Secretaría de Agricultura ganadería, pesca y alimentación. Buenos Aires, Argentina.

KARLIN, U.O. Y COIRINI, R. 1992. Sistemas agroforestales para pequeños productores de zonas áridas. Universidad Nacional de Córdoba. Proyecto Desarrollo Agroforestal en Comunidades Rurales del Noroeste Argentino. Córdoba. 104 Pág.

KAUPPI, P. E.; MIELIKÄINEN, K. Y KUUSELA, K. 1992. Biomass and Carbon Budget of European Forests. *Science*, 256.

KURZ, W.A., BEUKEMA, S.J., 1996. Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget model of the Canadian forest sector. *Canadian Journal of Forest Research* 26, 1973-1979.

LAURANCE, W. F., FERREIRA, L. V., RANKIN-DE MERONA, J. M., GASCON, C., Y LOVEJOY, T. 1997. Biomass Collapse in Amazonian Forest Fragments. *Science* 278: 1117-1118.

LAWTON, R.O., NAIR, E.S., PIELKE, R.A. Y R.M. WELCH. 2001. Climatic Impact of Tropical Lowland Deforestation on Nearby Montane Cloud Forests. *Science* 294: 584-587.

LEDESMA N.R, Y MEDINA J.C, 1969. Fenología de la comunidad forestal Chaco Santiagueño. En actas del Primer Congreso Forestal Argentino Pág. 801-806.

LEDESMA, N.R. Y GALÍNDEZ, V.H. 1974 Un modelo de desarrollo de región semiárida con sus propios recursos biológicos: El Distrito Forestal. V Reunión Nacional para el Estudio de las Regiones Semiáridas y Áridas y I Encuentro de la Zona Árida latinoamericana. Mendoza, Argentina. 14 Pág.

LOPEZ, J.A. 1995. Proyecto de Investigación: Análisis de la Evolución de la vegetación forestal en un bosque secundario del Parque Chaqueño Seco. Informe de Avance presentado al CICYT.

LOPEZ, M ; KONINIG, F ; BENITEZ, P. 2001. Estimación de carbono en biomasa de bosques Secundarios en el noroccidente de Ecuador. Programa de apoyo ecológico (TOB), de la Cooperación Técnica Alemana (GTZ). Eschborn, Alemania.

LORENZ. G. (1995) Caracterización ecológica de un suelo Eutric Regosol bajo bosque en el Chaco Semiárido, Argentina. En *Quebracho*, Nº 3. Revista de Ciencias Forestales. ISSN 0328-0543. P. 13 - 23.

LORENZ. G., BONELLI, L., ROLDAN, S. (2002). Assesment of soil born CO₂ emissions due to land use change in a landscape of Semiarid Chaco. En: 29th International Symposium on Remote Sensing of environment. Buenos Aires, Argentina.

LUGO, A. Y BROWN, S. 1992. Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management* 48 pág.

MACDICKEN, K. 1997. Project Specific Monitoring and Verification: State of the Art and Challenges, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2(2-3):191-202.

MACDICKEN, K. 1998. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Arlington, Winrock International Institute for Agricultural Development.

MADWIGICK, H. 1976. Mensuration of forest biomass. IUFRO. International Congress XVI, Pág. 13-27.

MARIOT, V. (2002) Mapa de vegetación y uso de la tierra en la provincia de Santiago del Estero. Inédito.

MARKKU K, 2000. Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

MARLAND, G. 1992. Should we store C in trees? *Water Air Soil Pollut.*, 64: 181-195.

MARTINEZ YRIZAR, A.; J. SARUKHAN; A. PEREZ-JIMENEZ; E. RINCON; J. MAASS; A. SOLIS - MAGALLANES AND L., CERVANTES. 1992. Above-ground phytomass of a tropical deciduous forest on the coast of Jalisco, México. *Journal of Tropical Ecology* 8: 87-96.

MASERA, O. ORDÓÑEZ, J. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Revista Maderas y Bosques*. 7(1) :3-12 3

MCBEAN, G.A., GOLITSYN, G.S. Y SANHUEZA, E. 1992. The atmosphere and climate. In: An Agenda of Science for the Environment and Development into the 21st Century (ASCEND 21), ICSU, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 141-155.

MCGUFFIE, K., HENDERSON-SELLERS, A., ZHANG, H., TURBRIDGE, T.B., Y A.J. PITMAN, 1995. Global Sensitivity to Tropical Deforestation. *Global Planet Change* 10: 97-128.

MERENSON, C. 1999. Hacia un Manejo Forestal Sustentable en la Republica Argentina. - *Revista Quebracho* N° 7. Pág.21-26.

MORELLO, J., 1983 El gran Chaco: el proceso de expansión de la frontera agrícola desde el punto de vista ecológico ambiental". En expansión de la frontera agropecuaria y medio ambiente en América Latina. CIFCA, Pág. 341-396.

MORELLO, J., Y ADAMOLLI, J. 1974,. Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco Argentino. Segunda parte. Vegetación y ambiente de la provincia del Chaco. La vegetación de la República Argentina. *Serie fitogeográfica* 13, 130 Pág.

MOURA COSTA, P, 2000. Contabilidad de Carbono versus Financiamiento de Proyectos. EcoSecurities. Ltd.

MOURA-COSTA, P. 2000. La Convención sobre el clima y el mercado de contrapartidas de las emisiones de carbono basadas en las actividades forestales. EcoSecurities Ltd., Oxford, U.K.

NABUURS, J,G; GARZA-CALIGARIS, J; KANNINEN, T. 2001. The CO₂FIX V 2.0 model. A model for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems and woods products chains. *Alterra Report*, Netherlands.

NADLER, C; MEZA, A; TORRES, R; JARA, M. 2001. Medición del carbono almacenado en los bosques de la Reserva Nacional Malleco IX Región, Congreso forestal Chile- Valdivia.

NIESTEN, E., HARDNER, J., Y R.E. GULLISON. 2001. Inter-Annex Carbon Leakage Related to Forestry. Paper prepared for the Union of Concerned Scientists.

NILES, J.O. Y C. VROJLIK. 2002 The Scale of Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF) in Developing Countries for Climate Mitigation. *The Nature Conservancy*, Washington D.C.

NILES, J.O. Y R. SCHWARZE. 2000. Long-Term Forest Sector Emission Reductions and Article 12, Pp. 145-155.

NILSSON S. Y SCHOPFHAUSER, W. 1995. The carbon-sequestration potential of a global afforestation program. *Climatic Change*, 30: 267-293.

NORVERTO, C. 2002. Metodologías para el Análisis Costo-Beneficio de usos del Suelo y Fijación de Carbono en Sistemas Forestales para el Mecanismo de Desarrollo Limpio. Proyecto Forestal de Desarrollo, (SAGPyA/BIRF). Buenos Aires - Argentina.

OLANDER, J. 2000. Las opciones forestales en el Mecanismo de Desarrollo Limpio: un resumen de los principales temas para los países andinos. Ecodecisión. Quito, Ecuador.

ORTIZ, R. 1997. Costa Rican Secondary Forest: an economic option for joint implementation activities to reduce atmospheric CO₂. Costa Rica, 18 Pág.

PINARD, M. A. Y PUTZ, F. 1996. Retaining forest biomass by reduced impact logging damage. *Biotropica* 28:278-295.

PINARD, M. A. Y PUTZ, F. 1997. Monitoring carbon sequestration benefits associated with reduced-impact logging project in Malaysia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 2:203-215.

PROGRAMA DE ACCIÓN NACIONAL DE LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN. 2002 Informe de la primera sesión del comité para la revisión de la implementación de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación. Argentina.

RAGONESE, A. 1967, Vegetación y ganadería en la República Argentina". Bs.As. INTA. 218 Pág.

RED AGROFORESTAL CHACO (1999) Estudio Integral de la Región del Parque Chaqueño. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas Préstamo BIRF N° 4085 - AR Informe General Ambiental. Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental. 170 Pág.

RICE, R.E., SUGAL, C.A., RATAY, S.M. Y FONSECA. G.A., 2001. Manejo forestal sostenible: Revisión del saber convencional. *Advances in Applied Biodiversity Science*, N°. 3, p. 1-35. Washington, DC: CABS/Conservation International.

ROMERO, C; RÍOS MV; DÍAZ BALTEIRO, L. 1998. Optimal forest rotation age when carbon captured is considered: theory and applications. *Journal of the Operational Research Society*. 49, 121-131.

SANHUEZA, E. 1992. Global and hemispheric Changes in *Tropospheric Chemistry*. *Interciencia*, 17, 208-217.

SCHIMMEL, D, ALVES, D., ENTING, I., HEIMANN, M., JOOS, F., RAYNAUD, D. Y T. WIGLEY. 1996. Radiative Forcing of Climate Change, Pp.65-132 *The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

SCHLAMADINGER, B. 1998 Proceedings of the IEA Bioenergy Task 25 Workshop: Bioenergy for Mitigation of CO₂ Emissions. Gatlinburg, Tennessee.

SCHOEDER, P; BROWN, S; BIRDSEY, R; CIESZEWSKI, C. 1997. Biomass Estimation for temperate broadleaf forest of the United States using inventory data. *Forest Science*. 43 (3). 424-434

SCHWARZE, R. Y J. O. NILES. 2000. The Long-Term Requirement for Clean Development Mechanism Forestry and Economic Liability. *Journal of Environment and Development* 9: 384 - 404.

SECRETARIA DE AGRICULTURA GANADERÍA Y PESCA DEL GOBIERNO DE SANTIAGO DEL ESTERO, 2002 Informe sobre el Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. On line: WWW. medioambiente. gov.ar

SEDJO, R. A., J. WISNIEWSKI, A. V. SAMPLE, AND J.D. KINSMAN. 1995. The economics of managing carbon via forestry: assessment of existing studies. *Environmental and Resource Economics*. 6: 139-165.

SEDJO, ROGER A. AND BRENT SOHNGEN. 2000. Forest Sequestration of CO₂ and Markets for Timber. RFF Discussion Paper DP 00-34. Washington, DC: Resources for the Future.

SIEGENTHALER, V. Y SANHUEZA, E. 1990. Greenhouse Gases and other Climate Forcing Agents. In: *Climate Change: Science, Impacts and Policy*. J. Jager and M.L. Ferguson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge. 47-58

SIERRA, E; DEL VALLE, J; ORREGO, S. 2001. Ecuaciones de biomasa en raíces y sus tasas de acumulación en Bosques secundarios y maduros de Colombia. Trabajo presentado en el Congreso sobre Medición y Monitoreo de captura de carbono en Ecosistemas forestales en Valdivia, Chile. Octubre, 2001.

SOHNGEN, B. AND R. SEDJO. 2000. Potential Carbon Flux from Timber Harvests and Management in the Context of a Global Timber Market. *Climatic Change* 44: 151-172.

SOHNGEN, B., R. MENDELSON, R. SEDJO. 1999. Forest Management, Conservation, and Global Timber Markets. *American Journal of Agricultural Economics*. 81(1): 1-13.

SUGAL, C.A. AND MITTERMEIER, R.A. 1999. Transnational logging investments in the major tropical wilderness areas: recent trends provide opportunities for conservation. *Conservation International Policy Brief*, No. 2. Washington, D.C.

TABOADA, R, 2003. Los Recursos Maderables del Chaco Semiárido de Argentina. Características, Usos actuales y Potenciales. Boletín Técnico Informativo. ITM. Facultad de Ciencias Forestales, Santiago del Estero, Argentina.

TREXLER, M. 1999. Innovative Forest Financing Options and Issues: Forest Conservation and Management for Climatic Change Mitigation. www.undp.org/seed/forest/pages/

TREXLER, M.C. Y HAUGEN, C. 1995. Keeping it green: evaluating tropical forestry strategies to mitigate global warming. World Resources Institute. EE.UU.

TURNER, B. L., R. H. MOSS, Y D. L. SKOLE,. 1993. Relating Land Use and Global Land-Cover Change: A Proposal for an IGBP-HDP Core Project. Report from the IGBP-HDP Working Group on Land-Use/Land-Cover Change. *International Geosphere-Biosphere Programme*. (Report N° 24)

UICN. 2001. El Mecanismo de Desarrollo Limpio y Los Proyectos Forestales: Impacto de los proyectos forestales dentro de la AIC en América Latina: Análisis comparativo de 4 proyectos. Programa regional de Bosques Corporación de Gestión científica y tecnológica sobre el Ambiente (OIKOS). Quito - Ecuador.

UNEP. 1996. United Nations Environment Programme. Environment and Economics Unit. Environmental Impact Assessment. Training Resource Preliminary Version, June 1996.

UTILITREE. 2000. Reduced Impact Logging of Natural Forests in Malaysia. UtiliTree Carbon Company . Washington D.C.

VINE E., SATHAYE J., MAKUNDI W., 1999. Guidelines for the monitoring, evaluation, reporting , verification, and certification of forestry projects for climate change mitigation. Report for the US EPA, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California.

WWF (Fundación Mundial para la Naturaleza). 1999. Escenarios de Cambio Climático para Argentina. Campaña climática: <http://www.panda.org/climate/>- Proyecto sobre Impactos Climáticos: <http://www.cru.uea.ac.uk/>