

U N I V E R S I D A D D E C O N C E P C I Ó N
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento de Silvicultura

" EFECTO DE LAS PLANTACIONES DE Pinus radiata D. DON EN LA
OCTAVA REGION, Y SU PRODUCCION INDUSTRIAL DE CELULOSA Y
ASERRIO, EN EL CICLO LOCAL DEL CARBONO"



MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL.

CONCEPCION-CHILE

1998

“ EFECTO DE LAS PLANTACIONES DE Pinus radiata D. Don EN LA OCTAVA REGION, Y SU PRODUCCION INDUSTRIAL DE CELULOSA Y ASERRIO, EN EL CICLO LOCAL DEL CARBONO”

Profesor Asesor

~~Jaime Rodriguez G.
.....
Profesor Asistente
Químico Analista, PhD~~

Profesor Asesor

~~Claudio Zaror Z.
.....
Profesor Titular
Ingeniero Químico, PhD~~



Director Departamento
Silvicultura

~~Eduardo Peña F.
.....
Profesor Asistente
Ingeniero Forestal, M.Sc~~

Decano Facultad de Ciencias
Forestales

~~Jaime Garcia S.
.....
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal~~

Calificación de Memoria De Título:

Jaime Rodriguez G.: Noventa y ocho Puntos

Claudio Zaror Z. : Noventa y ocho Puntos

AGRADECIMIENTOS

A don **Claudio Zaror Z.**, por sus oportunos consejos, excelente disposición, permanente apoyo, grata comunicación, además de su invaluable y desinteresada ayuda, sin la cual habría sido imposible llegar a feliz término de esta memoria de título.

A don **Jaime Rodríguez**, por sus oportunas correcciones, buenos consejos y excelente disposición.

A mis compañeros y amigos que de una u otra forma cooperaron para el cumplimiento de mis objetivos y culminar con éxito mi formación profesional, en especial a **Manuel Martínez, Marcelo Ispizúa, Simón Gallardo, Daniel Viel y Fabián Aguayo.**

INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS	PAGINA
I INTRODUCCION.....	1
II METODOLOGIA.....	3
III RESULTADOS Y DISCUSION.....	6
3.1 Calentamiento global.....	6
3.1.1 Efectos posibles sobre ecosistema y biodiversidad.....	9
3.2 Captación de dióxido de carbono.....	11
3.2.1 Fotosíntesis.....	11
3.2.1.1 Efectos de la concentración de dióxido de carbono sobre la fotosíntesis.....	12
3.2.2 Variaciones del contenido de carbono....	13
3.2.2.1 Sitio.....	14
3.2.2.2 Densidad de la madera.....	14
3.2.2.3 Fracción del contenido de carbono del árbol en relación con el fuste.....	15
3.2.2.4 Factor del contenido de carbono en la biomasa.....	15
3.3 Producción industrial.....	16
3.3.1 Industria de celulosa.....	16
3.3.1.1 Materia prima y reactivos.....	16
3.3.1.2 Requerimientos de agua.....	16
3.3.1.3 Requerimientos de plantaciones.....	16
3.3.1.4 Residuos y emisiones.....	17
3.3.2 Industria de aserrío.....	18
3.3.2.1 Materia prima y reactivos.....	18
3.3.2.2 Requerimientos de agua.....	18
3.3.2.3 Requerimientos de plantaciones.....	18
3.3.2.4 Residuos y emisiones.....	18

	3.4 Cálculos de fijación y emisión de carbono..	20
	3.4.1 Información utilizada en el estudio.....	20
	3.4.1.1 Densidad.....	20
	3.4.1.2 Superficie.....	21
	3.4.1.3 Volumen.....	21
	3.4.1.4 Disponibilidad de madera aserrable y pulpable a evaluar.....	23
	3.4.2 Inventario de carbono.....	23
	3.4.2.1 Carbono capturado.....	23
	3.4.2.2 Carbono emitido por la industria celulósica y de aserrío.....	25
	3.4.2.2.1 Industria celulosa.....	25
	3.4.2.2.2 Industria del aserrío.....	25
	3.4.3 Balance del ciclo local del carbono.....	25
IV	CONCLUSIONES.....	27
V	RESUMEN.....	28
VI	SUMMARY.....	29
VII	BIBLIOGRAFIA.....	30
VIII	ANEXO.....	33

INDICE DE TABLAS

TABLA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1	Densidad básica en suelo arcilloso y arenal según clase de edad.....20
2	Superficie plantada por clase de edad.....21
3	Volumen pulpable y aserrable, por clase de edad, clase de sitio y por tipo de manejo en arcillas.....22
4	Volumen pulpable y aserrable, por clase de edad, clase de sitio y por tipo de manejo en arenas.....22
5	Volumen de madera disponible para cosecha, tanto pulpable como aserrable, por clase de sitio y tipo de manejo, para arcillas.....23
6	Volumen de madera disponible para cosecha, tanto pulpable como aserrable, por clase de sitio y tipo de manejo, para arenas.....23
7	Resumen del carbono capturado por la biomasa forestal, tanto en arcillas como en arenales, y su emisión al medioambiente por los procesos productivos de aserrío y pulpaje.....26

En el anexo

1 A	Carbono capturado en arcillas. Clase de sitio I rodal no manejado.....	33
2 A	Carbono capturado en arcillas. Clase de sitio I rodal no manejado.....	33
3 A	Carbono capturado en arcillas. Clase de sitio II rodal no manejado.....	34
4 A	Carbono capturado en arcillas. Clase de sitio II rodal manejado.....	34
5 A	Carbono capturado en arcillas. Clase de sitio III rodal no manejado.....	35
6 A	Carbono capturado en arcillas. Clase de sitio III rodal manejado.....	35
7 A	Carbono capturado en arenas. Clase de sitio I rodal no manejado.....	36
8 A	Carbono capturado en arenas. Clase de sitio I rodal manejado.....	36
9 A	Carbono capturado en arenas. Clase de sitio II rodal no manejado.....	37
10 A	Carbono capturado en arenas. Clase de sitio II rodal manejado.....	37

11 A	Carbono capturado en arenas. Clase de sitio III rodal no manejado.....	38
12 A	Carbono capturado en arenas. Clase de sitio III rodal manejado.....	38



INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1	Input de energía para el proceso de pulpaje, lo que genera una emisión de dióxido de carbono al medioambiente y la producción de calor y energía eléctrica..... 17
2	Input de energía para el proceso de aserrío, lo que genera una emisión de dióxido de carbono al medioambiente y la producción de vapor..... 19
3	Superficie plantada en la Octava Región del Bío-Bío, por clases de edad..... 21
4	Comparación de la fijación de carbono en la Octava Región, para el 100% de su superficie en arenas y arcillas..... 24
5	Fracción del almacén que anualmente se emite al medioambiente por la industria celulósica y de aserrío..... 26

I INTRODUCCION

El carbono es el elemento básico de carbohidratos, grasas, proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos orgánicos necesarios para la vida. El ciclo del carbono se basa en el gas dióxido de carbono, que constituye sólo el 0.03 % en volumen de la tropósfera. A pesar de constituir una pequeña fracción de la tropósfera, el dióxido de carbono juega un papel fundamental en determinar la temperatura sobre la superficie terrestre. Su gran capacidad de absorción de la radiación de onda larga emitida por la superficie de la tierra se traduce en un efecto invernadero que ayuda a mantener condiciones térmicas adecuadas al desarrollo de la vida.

El ciclo natural del carbono tiene como pilar la actividad fotosintética. Durante la fotosíntesis, el dióxido de carbono atmosférico y disuelto en el mar es utilizado para sintetizar moléculas orgánicas, en presencia de energía solar, liberando oxígeno como subproducto. De este modo, el carbono es removido constantemente de la atmósfera y asimilado por las plantas terrestres y organismos fotosintéticos acuáticos, por su parte, la oxidación de dichos compuestos orgánicos a partir de procesos biológicos (respiración) y químicos (combustión) genera dióxido de carbono como producto final, así la concentración de CO_2 en la atmósfera depende del balance entre las emisiones de dióxido de carbono y su fijación por fotosíntesis.

Como consecuencia de la actividad humana existe un aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, este desequilibrio se debe principalmente a la eliminación de bosques y otras vegetaciones, y la utilización de combustibles fósiles que contienen carbono.

En un aspecto local es importante estudiar el flujo de carbono en el sistema productivo forestal ya que en su actividad están inmersos la captación y el aporte de dióxido de carbono a la atmósfera, por lo tanto sería de particular importancia determinar estas cantidades para analizar de que manera la industria forestal contribuye al balance o bien al desequilibrio (en forma positiva o negativa) al ciclo.

El estudio se realizará en base a la cantidad de carbono almacenado por la especie *Pinus radiata* D. Don , en relación con la cantidad de carbono que retorna a la atmósfera en el proceso productivo (pulpaje y aserrío).

II METODOLOGIA

Este trabajo no implica experimentos y los cálculos son realizados con literatura mencionada posteriormente.

Cálculo del carbono en biomasa forestal y velocidad de fijación de dióxido de carbono:

2.1 Se utilizó la base de datos que el Instituto Forestal (Infor) posee para *Pinus radiata* D. Don, según clases de edad, para la temporada 1995.

Los volúmenes aserrables y pulpables fueron obtenidos a partir de tablas de rodal del manual n°14 del Instituto Forestal y del boletín estadístico de 1995 del instituto forestal.

2.2 Se agruparon los datos según zonas de crecimiento, arena y arcilla.

2.3 La cantidad total de carbono (C_{ij} , en toneladas), en cada región I, por cada clase de edad, j, se calculó de acuerdo a la ecuación (Hollinger et.al 1993):

$$C_{ij} = (V_x * r)_{ij} * a_j * K$$

Donde:

V_x = volumen (m^3) del fuste en el año, por zona de crecimiento y clase de edad.

r = densidad de la madera por cada región y clase de edad.

a = fracción de conversión de biomasa del árbol en relación con el fuste.

K = factor de conversión del carbono.

Luego el carbono almacenado es la sumatoria del carbono en cada clase de edad y cada zona de crecimiento. El nivel de carbono depositado en la temporada 1995 es:

$$\Sigma_{total} = \Sigma C_{ij}$$

- ya que no se poseen datos exactos de distribución de tipo de suelo y tipos de manejo (en cuanto a superficie) en la octava región, se evaluará en los siguientes casos límites:

arcilla: clase de sitio I, con y sin manejo.

clase de sitio II, con y sin manejo.

clase de sitio III, con y sin manejo.

arenales: clase de sitio I, con y sin manejo.

clase de sitio II, con y sin manejo.

clase de sitio III, con y sin manejo.

Los sitios manejados son aquellos en los cuales se realiza raleos comerciales a los 10 y 14 años.

Se tomarón como base de cálculo la superficie plantada en la octava región, por clase de edad para el año 1995. De acuerdo con esta distribución de superficie se evaluó el carbono capturado en los siguientes casos límites:

suelo arcilloso con el 100% de la superficie regional.

suelo arenal con el 100% de la superficie regional.

En cada uno de estos casos se asignó, para las distintas clases de manejo y de sitio, igual superficie para poder ser comparables.

- Se partió de la suposición que existe una distribución de edad constante (estado estacionario) de acuerdo a los datos de 1995.

Los datos de densidad básica por clase de edad y tipo de suelo fueron obtenidas según información del Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad de Concepción.

2.4 Cálculo de dióxido de carbono por actividad industrial forestal:

- Se determinó la envergadura de la madera de aserrío y celulósica.

- calculó de los requerimientos energéticos y las emisiones de dióxido de carbono asociadas, a partir de balances globales de materia y energía.

- los datos se obtuvieron de encuestas a empresas, registros de Laboratorio de Productos Forestales (Universidad de Concepción), Centro EULA, ATCP e Infor.

- las emisiones de dióxido de carbono de la industria forestal, se estimaron en base a datos provenientes de industrias (encuestas, LPF, ATCP) y balances globales de materia y energía.

III RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Calentamiento global

La temperatura global del planeta (del orden de 15°C) esta determinada por un balance entre la radiación solar que llega a la Tierra y la energía neta que ella radia al espacio. Las características de la atmósfera juegan un rol determinante en este balance. Parte de la radiación solar es absorbida por la atmósfera, la que también absorbe parte de la energía radiada por la tierra. La naturaleza de ambas radiaciones es diferente:

- la energía solar fuera de la tierra tiene longitudes de onda corta (menos de 4mm, con una máxima intensidad alrededor de 0.5mm).
- la energía radiante de la Tierra tiene longitudes de onda larga (radiación térmica), mayores de 4mm, con una intensidad máxima a 10mm (Zaror, 1993).

La composición química de la tropósfera y la estratósfera es un factor importante en la determinación de la temperatura media de la superficie del planeta y, por tanto, de su clima.

El calor es atrapado en la tropósfera en un proceso natural llamado *efecto invernadero*. La cantidad de calor atrapado depende principalmente de las concentraciones de diversos gases atrapantes de calor, conocidos como gases invernadero, en la tropósfera. Los principales son dióxido de carbono, vapor de agua (sobre todo en las nubes), ozono, metano, óxido nitroso y clorofluorocarburos

(Miller, 1994). Además tienen una notable influencia sobre las condiciones ecológicas en todo el planeta. Gracias a los efectos naturales de los gases de invernadero sobre el vapor de agua y el ciclo del carbono, la Tierra tiene una temperatura de 30°C sobre la que tendría sin ellos (Holdgate, 1994).

Hasta recientemente, la mayoría de los gases de invernadero eran emitidos y removidos de la tropósfera, por los principales ciclos biogeoquímicos de la Tierra, sin las interferencias alteradoras producto de las actividades humanas (Miller, 1994). El desbalance energético producido por un acelerado incremento de la concentración de los gases invernadero, ha perturbado el sistema térmico terrestre, produciendo un efecto de calentamiento global. Basta señalar que un incremento de unos pocos grados en la temperatura media de la Tierra, puede producir alteraciones desastrosas en los ciclos hidrológicos y en los climas locales, que afectarían seriamente las condiciones de vida (Zaror, 1993).

Hay que considerar que un recalentamiento mundial de la superficie terrestre de apenas 2°C, podría modificar el clima en la Tierra en una medida que no se ha producido desde hace 10.000 años, cuando se derritieron los grandes estratos de hielo del norte de Europa, Asia y América.

En las condiciones actuales y desde aproximadamente sesenta años, el nivel de los océanos ha estado subiendo a un ritmo de 30 y 35 cm por siglo; por otra parte, se estima que en los últimos cuarenta años se han fundido alrededor de 20.000m de hielo polar (Cantú, 1992). Desde la Revolución Industrial y especialmente desde 1950, se han estado introduciendo cantidades enormes de gases de invernadero en la atmósfera, principalmente por la quema de combustibles fósiles (57%), uso de clorofluorocarburos (17%), agricultura (15%) y deforestación (8%). Estos gases pueden amplificar el efecto natural de invernadero, y cambiar hacia arriba el termostato del planeta muy rápidamente (Miller, 1994). A través de modelos matemáticos podemos establecer que la temperatura media de la superficie del planeta podría aumentar en un rango de 1,5 a 4,5°C, si aumenta al doble la concentración de dióxido de carbono (Karjalainen, 1995).

La atención ha estado principalmente concentrada en las emisiones de dióxido de carbono que está directamente relacionada con la generación de energía a partir de combustibles fósiles. Las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera se han aumentado fuertemente a partir del siglo XVII, siendo la actividad humana la principal responsable (Woodward and Lee, 1995). El aumento de la actividad industrial conlleva a un correspondiente incremento de las necesidades energéticas y, por consecuencia, a una aceleración

de la tasa de emisión de dióxido de carbono (Zaror, 1993). Sabemos, además que el dióxido de carbono es un elemento fundamental en el proceso fotosintético que produce oxígeno; es probable que grandes volúmenes de este gas sean utilizados, con este mecanismo, por el fitoplancton de los océanos y las plantas (Cantú, 1992).

La tala masiva de bosques para abastecer de materia prima a la industria forestal o producir leña; la habilitación indiscriminada de terrenos para extender las fronteras agropecuarias y los incendios forestales son los agentes principales de la destrucción y empobrecimiento de las masas boscosas, ello unido al continuo deterioro de la calidad de las aguas, ha mermado la captación de dióxido de carbono atmosférico, debido a la disminución de las plantas y el fitoplancton disponible (Soler, 1985).

3.1.1 Efectos posibles sobre los ecosistemas y

biodiversidad. Según Cantú (1992), hasta ahora no sabemos con certeza cuál será el resultado final de expedir al aire tantos contaminantes; lo que sí es seguro, es que sus efectos continuarán manifestándose en el hombre y su medio ambiente.

A primera vista, un clima promedio más cálido podría parecer deseable. Podría conducir a cuentas más bajas por gastos de calefacción y estaciones de crecimiento vegetal más largas en las latitudes medias y altas. El rendimiento de las cosechas

podría aumentar 60% a 80% en algunas zonas debido a que más dióxido de carbono en la atmósfera puede incrementar la tasa de fotosíntesis vegetal. El mayor calentamiento de la tropósfera podría causar enfriamiento de la estratósfera, de modo que se harían más lentas las reacciones que destruyen el ozono. Sin embargo, las ganancias potenciales en los rendimientos agrícolas a partir de los más altos niveles de dióxido de carbono, podrían ser cancelados por el daño más intenso por plagas de insectos, que se reproducirían más rápidamente a temperaturas más altas. Estas temperaturas también aumentarían el ritmo de la respiración aeróbica de las plantas, y reducirían la disponibilidad de agua. Evidencia reciente indica que muchas plantas han respondido a los aumentos de dióxido de carbono anteriores, desarrollando menos los poros que emplean para absorber el dióxido de carbono y, por lo tanto, reducir su tasa de fotosíntesis (Miller, 1994).

Conforme la tierra se calienta, el crecimiento de los bosques en las regiones templadas se desplazará hacia los polos y reemplazará la tundra abierta y algo de la nieve y el hielo. Sin embargo, las especies de árboles de dichos bosques sólo se pueden mover a través del crecimiento lento de árboles nuevos a lo largo de sus bordes, típicamente en cerca de 0.9 km al año, o 9 km por década. Si los cinturones climáticos se mueven más rápido que esta migración muy lenta, o si la migración es bloqueada por ciudades, campos de

cultivo, carreteras y otras barreras humanas, entonces los bosques enteros se marchitarán y morirán. Estas mortandades podrían amplificar el efecto de invernadero, cuando los árboles en descomposición liberen dióxido de carbono al aire. Entonces, la descomposición bacteriana incrementada de materia orgánica en el suelo expuesto más cálido, liberaría aún más dióxido de carbono (Holdgate, 1994).

Parece inconcebible que una sociedad civilizada, como consideramos la nuestra, vaya minando inconsciente o conscientemente el medio ambiente y, en particular, el aire del que vivimos, al punto que el daño que provoquemos sea irreversible y se manifieste en cambios profundos e imprevisibles que nos conducirán a nuestra autodestrucción (Cantú, 1992).

3.2 Captación de dióxido de carbono

3.2.1 Fotosíntesis. La fotosíntesis es el proceso por medio del cual se producen carbohidratos a partir de materias inorgánicas mediante la transformación de la energía solar en energía química. Con frecuencia se dice que es el proceso químico individual más importante del planeta lo que obedece a varias razones de peso, ya que los humanos y todos los animales (heterótrofos) dependen, directa o bien indirectamente, de las plantas (autótrofos) para alimentarse; por lo que

estabilidad de las concentraciones atmosféricas de oxígeno y dióxido de carbono dependen del proceso fotosintético en los océanos y en la tierra; además, se saca partido de la reserva energética fotosintética de las eras geológicas pasadas cada vez que se utiliza gas natural, el petróleo y el carbón mineral como materias de combustible (Daniel et al., 1982).

Sólo la radiación que se ubica en el espectro visible es utilizada en la función de fotosíntesis. La asimilación de dióxido de carbono, necesaria para producir glucosa, que es el producto de la fotosíntesis, aumenta cuando se incrementa la cantidad de luz, pero sólo hasta un límite máximo que se calcula entre los 30 y 50 mil lux (Donoso, 1990).

La forma de crecimiento de los tallos, la disposición de las hojas en los tallos o filotaxia, la posición de las hojas respecto del sol, la anatomía de las hojas, son todas características de adaptación de las plantas al buen cumplimiento de la función de fotosíntesis. A pesar de estos antecedentes, las plantas ocupan sólo una pequeña parte del total de luz que reciben, porción que obtienen sólo con alrededor del 20% de la luz a pleno sol (Daniel et al., 1982).

3.2.1.1 Efectos de la concentración de dióxido de carbono sobre la fotosíntesis. Dentro del bosque, las concentraciones de dióxido de carbono son, por

lo general, mayores. La disponibilidad de dióxido de carbono puede ser uno de los factores limitantes más comunes de la fotosíntesis (Holdgate, 1994).

Según Hawley and Smith (1972), la concentración atmosférica de dióxido de carbono en un bosque no es estable, existen gradientes verticales que varían de un día a otro y de una estación a otra y que van desde encima del dosel superior hasta el suelo del bosque. Las fluctuaciones de la concentración se deben principalmente a:

- * La cantidad de dióxido de carbono liberado por las capas superficiales del suelo, la cual esta controlada por la velocidad de descomposición de la materia orgánica, así como la temperatura, el contenido de agua y la textura del suelo.
- * La composición de la mezcla atmosférica, la cual depende de la acción del viento y de las turbulencias generadas por el calentamiento diferencial de algunos puntos debido a los haces de luz solar que pasan a través del dosel.
- * Las cantidades relativas de consumo y liberación de dióxido de carbono por las plantas.
- * La transferencia de grandes masa de aire debido a los fenómenos meteorológicos.

3.2.2 Variaciones del contenido de carbono. La cantidad de carbono almacenado, está estrechamente relacionada con el volumen de madera. La cantidad acumulada, generalmente se incrementa a medida que aumentan las superficies de bosques y sus clases de edad. De la misma manera existe una disminución de

la captación de carbono, si los bosques son afectados por pestes, exesivas cosechas, o bien por la polución atmosférica (Hollinger et al., 1993). En *Pinus radiata* D. Don y otras especies, el incremento en volumen y la densidad de la madera varia con la edad y las condiciones del sitio (Crown et al., 1991).

3.2.2.1 Sitio. El sitio incluye la idea de espacio físico que ocupa un bosque en un rodal, y del medio ambiente que le da sus características de crecimiento y desarrollo (Davis, 1970). El sitio forestal se puede definir como un área de tierra y los factores climáticos, del suelo y bióticos que constituyen su medio ambiente y que, en conjunto, determinan la capacidad del área para desarrollar árboles forestales u otro tipo de vegetación. Esta capacidad es la productividad forestal. El hecho de que esta capacidad sea muy variable, según diferentes combinaciones de los factores ambientales, hace que los sitios sean muy diferentes en cuanto al potencial de crecimiento de la vegetación (Donoso, 1990).

En general, cuando decrece la calidad del sitio, el crecimiento en altura de los árboles disminuye y los anillos anuales son más delgados bajo densidades de rodal similar (Daniel et al., 1982).

3.2.2.2 Densidad de la madera. En general de los factores que afectan la densidad, la edad es uno de los factores más significativos. Existe una clara

tendencia hacia un incremento de la gravedad específica de la madera a medida que una especie forestal envejece (Daniel et al., 1982).

Desde la etapa juvenil hasta la madurez, en Nueva Zelanda, se ha observado un incremento de la densidad de hasta 0.1 g/cc que en este caso representa mas de un 25% de la densidad original (Cown, 1992). El aumento de la gravedad específica con la edad estaría dado por una mayor proporción de madera de verano, en el anillo anual, la cual tiene paredes celulares de mayor espesor y menor lumen celular (Daniel et al., 1982).

3.2.2.3 Fracción del contenido de carbono del árbol en relación con el fuste. La fracción de conversión de biomasa del árbol en relación con el fuste varía con el regimen silvicultural utilizado (Baker et al. 1986). Los valores apropiados para utilizar son 1,3 para rodales manejados y 1,4 para rodales no manejados, según Beets and Brownlie (1987) y Beet and Madwgwick (1988).

3.2.2.4 Factor de contenido de carbono en la biomasa. La fracción de contenido de carbono está en un rango de 0,47 a 0,53 (Baumeister et al. 1978; Houghton et al. 1985). Según Cooper (1983) y Sedjo (1989), el valor más adecuado para la fijación de carbono es 0,5.

3.3 Producción industrial (Eula, 1997)

3.3.1 Industria de celulosa

3.3.1.1 Materia prima y reactivos. La industria de la celulosa utiliza trozas provenientes del raleo de los bosques, trozas y restos, tales como despuntes, no aprovechables en aserradero y astillas de la industria de astillado.

En Chile se utilizan, principalmente, pino radiata (celulosa de fibra larga) y eucalipto (celulosa de fibra corta) como materia prima. Dependiendo del tipo de pulpaje y si existe etapa de blanqueo, se requieren compuestos químicos, tales como hidróxido de sodio, sulfato de sodio, sulfito de sodio, cloro elemental, dióxido de cloro, peróxido de hidrógeno, oxígeno u otros gases oxidantes.

3.3.1.2 Requerimientos de agua. Se estima que el consumo diario de agua varía de 40.000 a 70.000 m³ de agua para una producción diaria de 1.000 toneladas de celulosa blanca. El consumo específico se distribuye en aguas de proceso, potable, de enfriamiento y aguas para generación de vapor.

3.3.1.3 Requerimiento de plantaciones. Una planta tipo, cuya producción sea de 1.000 ton/día de celulosa requiere una superficie de plantaciones de 5.000 a 10.000 ha de diferentes rangos de edades, para sostener su actividad. Principalmente la variación depende de la especie utilizada como materia prima, y el manejo que se realiza del

bosque. Pino radiata: se estima 80.000 ha de plantaciones para sostener una producción de 1.000 ton/pulpa/día, con una superficie anual cosechada de 4.000 ha y una rotación cada 20 años.

3.3.1.4 Residuos y emisiones. *Residuos líquidos:* Se generan residuos líquidos con alto contenido de sólidos suspendidos. En el caso de pulpa blanqueada se generan compuestos organoclorados, fenólicos y otras sustancias orgánicas provenientes e la etapa de blanqueo de pulpa.

Emisiones a la atmósfera: Se generan gases de combustión y compuestos volátiles durante la etapa de digestión y de recuperación de reactivos (figura 1). Las etapas de descortezado y astillado de la madera son operaciones con altas tasa de emisión de ruido.

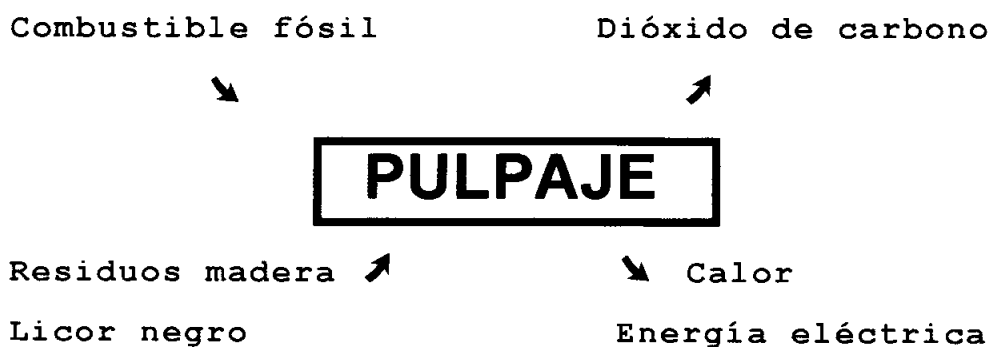


FIGURA 1. Input de energía para el proceso de pulpaaje, lo que genera una emisión de dióxido de carbono al medioambiente y la producción de calor y energía eléctrica.

3.3.2 Industria de aserrío

3.3.2.1 Materias primas y reactivos. Se procesan trozas de pino radiata, eucalipto y especies nativas. Los reactivos químicos empleados dependen del nivel de procesamiento al cual se somete la madera, podrían utilizarse líquidos preservantes e impregnantes de la madera tales como compuestos fenólicos y óxidos metálicos, respectivamente.

3.3.2.2 Requerimientos de agua. El principal uso de agua corresponde a aquella utilizada para el regadío de trozas, con el objeto de mantener la humedad para evitar así la proliferación de hongos, deformaciones mecánicas de la madera y riesgos de autoignición e incendios. Esta operación depende de las condiciones climáticas locales, realizándose sólo en épocas poco lluviosas o secas y durante el día. Los requerimientos de agua son del orden de 3 a 4 m³/ día por m³ procesado/ día.

3.3.2.3 Requerimientos de plantaciones. Para sostener una planta de 100.000 m³ de madera de pino radiata aserrada por año, se requiere una superficie de plantación del orden de 5.000 ha de dicha especie, con distribución de edades apropiadas, para cosechar un equivalente a 250 ha/año.

3.3.2.4 Residuos y emisiones. *Residuos líquidos:* El agua de trozas disuelve algunos componentes solubles de la corteza de la madera. En aquellos

procesos que utilizan baños fungicidas u otros, se generan residuos líquidos derivados de estas operaciones. El principal impacto asociado a estas actividades es la potencial contaminación de aguas subterráneas.

Emisiones a la atmósfera: Se producen gases de combustión en las operaciones de secado y motores de combustión interna para el movimiento de maquinas de aserrío. Los principales problemas se deben a la formación de material particulado por mala combustión, cuando se utilizan los residuos de madera (Figura 2). Las operaciones de descortezado y aserrado generan un alto nivel de ruido.



FIGURA 2. Input de energía para el proceso de aserrío, lo que genera una emisión de dióxido de carbono al medioambiente y la producción de vapor.

3.4 CALCULOS DE FIJACION Y EMISION DE CARBONO

Los cálculos se realizarán en base a dos casos límites, debido a que no existe información fidedigna del total de superficie en los distintos tipos de suelo y tipos de manejo silvicultural.

Los casos límites analizados son los siguientes:

- * 100% de la superficie plantada en la octava región por clase de edad, en suelo arcilloso.
- * 100% de la superficie plantada en la octava región por clase de edad, en suelo arenal.

3.4.1 Información utilizada en el estudio. La información requerida para el cálculo de carbono presente en la biomasa en pie, es la siguiente:

3.4.1.1 Densidad. Los datos de densidad básica de la madera de *Pinus radiata*, según tipo de suelo y clase de edad, fueron obtenidos de información perteneciente al laboratorio de productos forestales de la Universidad de Concepción.

Tabla 1. Densidad básica en suelo arcilloso y arenal, según clase de edad.

Clase de edad Años	Arcilla	Arenal
	Densidad básica kg/m ³	Densidad básica kg/m ³
2	0,298	0,235
4	0,311	0,271
6	0,315	0,289
8	0,330	0,303
10	0,337	0,332
12	0,349	0,353
14	0,358	0,361
16	0,375	0,371
18	0,381	0,380
20	0,387	0,388
22	0,391	0,393
24	0,399	0,406
26	0,405	0,412
28 y más	0,412	0,424

Fuente: Laboratorio de productos forestales, U. de C.

3.4.1.2 Superficie. Se utilizará la superficie plantada para *Pinus radiata* en la octava región del Bío-Bío, según clase de edad (Tabla 2 y Figura 3). Para efectos de cálculo, esta superficie se dividirá en 6 partes de igual tamaño, correspondientes a 3 clases de sitio, cada una con dos tipos de tratamiento silvicultural (con y sin manejo). Tabla 2. Superficie plantada por clase de edad.

Clase de edad años	Superficie plantada ha
2	63.419
4	95.128
6	53.990
8	65.986
10	47.405
12	46.029
14	68.971
16	43.963
18	39.566
20	63.015
22	11.326
24	7.871
26	2.249
28 y más	371

Fuente: Boletín estadístico 1995, Infor.

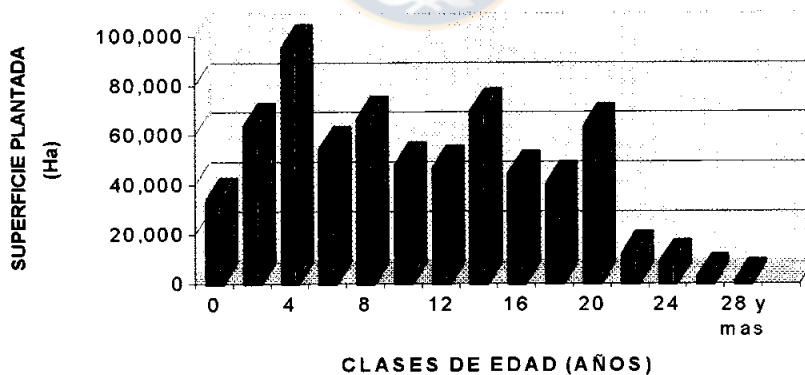


Figura 3. Superficie plantada en la Octava Región del Bío-Bío, por clases de edad.

3.4.1.3 Volumen. Se utilizarán las tablas de volumen según zona de crecimiento, clase de edad, tipo de suelo y clase de manejo silvicultural (con y sin manejo), que se encuentran en el manual n° 14 del Instituto forestal, para volumen pulpable y aserrable.

Tabla 3. Volumen pulpable y aserrable, por clase de edad, clase de sitio y tipo de manejo en arcillas.

Volumen pulpable (m ³ /ha)	Volumen aserrable (m ³ /ha)
---------------------------------------	--

Edad años	Clase sitio I		Clase sitio II		Clase sitio III		Clase sitio I		Clase sitio II		Clase sitio III	
	c/m	s/m	c/m	s/m	c/m	s/m	c/m	s/m	c/m	s/m	c/m	s/m
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	68	68	54	54	40	40	19.4	19.4	20.6	20.6	10.6	10.6
10	123	142	99	116	78	93	81.4	81.4	57.2	57.2	37.4	37.4
12	199	232	167	194	138	158	165.8	178.2	130.2	134.8	99.8	97.8
14	220	331	188	280	157	232	193.8	243	162.4	236.4	136.4	178.8
16	318	432	278	367	240	306	301.4	353.4	257.6	281.4	220	270
18	410	533	359	455	312	381	403.2	473.6	345.4	380.4	294.2	299
20	503	632	442	541	385	455	508.2	597.4	436.4	483.6	371.8	382
22	596	722	525	619	458	522	612.8	713.2	527.8	581.2	450.4	462.8
24	687	807	607	693	530	585	714.6	823.6	617.4	675.2	527.8	540
26	777	886	687	762	601	644	812	925.6	703.4	763	602.8	614
28 y mas	905	986	803	850	703	719	946.8	1053	823.8	874	708.6	678

Fuente: manual n°14 Infor.

Tabla 4. Volumen pulpable y aserrable, por clase de edad, clase de sitio y tipo de manejo en arenas.

Volumen pulpable (m ³ /ha)	Volumen aserrable (m ³ /ha)
---------------------------------------	--

Edad años	Clase sitio I		Clase sitio II		Clase sitio III		Clase sitio I		Clase sitio II		Clase sitio III	
	c/m	s/m	c/m	s/m	c/m	s/m	c/m	s/m	c/m	s/m	c/m	s/m
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	38	38	26	26	16	16	6	6	0	0	0	0
10	72	84	53	62	36	43	29	29	27	27	13	13
12	123	139	95	106	70	75	83	78	77	49	52	28
14	139	198	108	154	80	112	122	140	103	95	92	60
16	190	255	151	200	115	147	175	204	145	143	126	93
18	240	310	191	244	145	181	226	270	184	194	153	130
20	291	362	232	287	175	214	278	273	225	204	182	166
22	341	406	272	323	205	243	331	319	265	239	211	176
24	389	447	311	357	234	269	382	364	305	273	240	200
26	437	483	349	387	263	293	431	405	344	304	268	222
28 y mas	504	525	403	422	303	321	501	453	400	341	309	249

Fuente: manual n°14 Infor.

3.4.1.4 Disponibilidad de madera aserrable y pulpable a evaluar. Para el cálculo de madera disponible tanto aserrada como pulpable, supondremos que se cosecha el 87.5% de lo que existe en la clase de edad 20 años.

Tabla 5. Volumen de madera disponible para cosecha, tanto pulpable como aserrable, por clase de sitio y tipo de manejo, para arcillas.

	Clase de sitio I		Clase de sitio II		Clase de sitio III	
	Vol pulpable m ³ /ha	Vol aserrable m ³ /ha	Vol pulpable m ³ /ha	Vol aserrable m ³ /ha	Vol pulpable m ³ /ha	Vol aserrable m ³ /ha
Con manejo	440	444	387	381	337	325
Sin manejo	553	522	473	423	398	335

Fuente: Manual n°14 Infor.

Tabla 6. Volumen de madera disponible para cosecha, tanto pulpable como aserrable, por clase de sitio y tipo de manejo, para arenas.

	Clase de sitio I		Clase de sitio II		Clase de sitio III	
	Vol pulpable m ³ /ha	Vol aserrable m ³ /ha	Vol pulpable m ³ /ha	Vol aserrable m ³ /ha	Vol pulpable m ³ /ha	Vol aserrable m ³ /ha
Con manejo	255	244	203	197	153	159
Sin manejo	317	238	251	178	187	145

Fuente: Manual n°14 Infor.

3.4.2 Inventario de Carbono

3.4.2.1 Carbono capturado. Para el 100% de la superficie plantada con la especie *Pinus radiata* D. Don en la Octava región en suelo, arcilloso se obtuvo un total de **45*10⁶** toneladas de Carbono capturado, en tres clases de sitio cada uno con dos clases de manejo:

- ➔ Clase de sitio I sin manejo (tabla 1A): **11*10⁶** ton.
con manejo (tabla 2A): **8*10⁶** ton.

- ➔ Clase de sitio II sin manejo (tabla 3A): $9 \cdot 10^6$ ton.
con manejo (tabla 4A): $7 \cdot 10^6$ ton.
- ➔ Clase de sitio III sin manejo (tabla 5A): $7 \cdot 10^6$ ton.
con manejo (tabla 6A): $3 \cdot 10^6$ ton.

* Para el 100% de la superficie plantada en la Octava región, en arenales se obtuvo un total de $25 \cdot 10^6$ toneladas de Carbono capturado en tres clases de sitio con y sin manejo silvicultural:

- ➔ Clase de sitio I sin manejo (tabla 7A): $6 \cdot 10^6$ ton.
con manejo (tabla 8A): $5 \cdot 10^6$ ton.
- ➔ Clase de sitio II sin manejo (tabla 9A): $4 \cdot 10^6$ ton.
con manejo (tabla 10A): $4 \cdot 10^6$ ton.
- ➔ Clase de sitio III sin manejo (tabla 11A): $3 \cdot 10^6$ ton.
con manejo (tabla 12A): $3 \cdot 10^6$ ton.

En la figura n°1 podemos apreciar la diferencia existente entre los dos distintos tipos de suelo, en relación con su fijación de Carbono, la que se hace presente en cada uno de las distintas clases de sitio y tipos de manejo. La cantidad de carbono capturado disminuye a medida que decrece la calidad del sitio (Harmon et al. 1990).

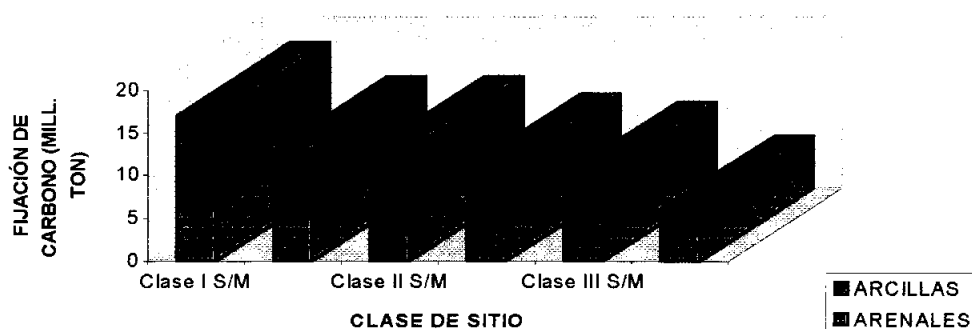


FIGURA 4. Comparación de la fijación de carbono en la octava región, para el 100% de su superficie en arenales y arcilla.

3.4.2.2 Carbono emitido por la industria de celulosa y de aserrío.

3.4.2.2.1 Industria de celulosa. Para el 100% de la superficie regional plantada en arcilla tenemos un total de $20.7 \cdot 10^6$ m³ pulpables cosechados. Según González (1997), por cada metro cúbico que ingresa al proceso Kraft blanqueado se libera a la atmósfera **0.145 ton** de carbono. Por lo tanto, con $20.7 \cdot 10^6$ m³ pulpables, tendríamos una emisión al medioambiente de $3 \cdot 10^6$ ton de carbono. Para el 100% de la superficie regional plantada en arena tenemos un total de $10.6 \cdot 10^6$ m³ pulpables cosechados lo que transformado en celulosa kraft blanqueada, emite al medio ambiente $1.53 \cdot 10^6$ ton de carbono.

3.4.2.2.2 Industria del aserrío. Para el 100% de la superficie regional plantada en arcilla tenemos un total de $19.5 \cdot 10^6$ m³ aserrables. Según González, por cada metro cúbico que ingresa al proceso de aserrío se libera a la atmósfera **0.158 ton** de carbono. Por lo tanto, con $19.5 \cdot 10^6$ m³ aserrables, se emite al medio ambiente $3.07 \cdot 10^6$ ton de carbono. Para el 100% de la superficie regional plantada en arenas tenemos un total de $9.3 \cdot 10^6$ m³ aserrables lo que transformado en paneles remanufacturados, emite al medio ambiente $1.47 \cdot 10^6$ ton de carbono.

3.4.3 Balance del ciclo local del carbono

Para el 100% de la superficie regional en arcilla, se tienen **45 millones** de toneladas de carbono presente en la biomasa en pie, de los cuales se libera anualmente al medioambiente **6.07 millones** de toneladas, en el proceso industrial de pulpage y aserrío (Tabla 7).

- Para el 100% de la superficie regional en arenas, se tiene un almacén de carbono de **25 millones** de toneladas, de los cuales se libera anualmente al medioambiente **3 millones** de toneladas, en el proceso industrial de pulpaje y aserrío (Tabla 7).

"POR LO TANTO EN LAS DOS SITUACIONES LÍMITES ANALIZADAS EL BALANCE DEL CARBONO ES POSITIVO".

Tabla 7. Resumen del carbono capturado por la biomasa forestal, tanto para arcillas como arenales, y su emisión al medioambiente por los procesos productivos de aserrío y pulpaje.

Tipo superficie	Carbono presente biomasa en pie	Emisión al medioambiente proceso pulpaje	Emisión al medioambiente proceso aserrío
Arcilla	45 mill ton C	3 mill ton C	3.07 mill ton C
Arena	25 mill ton C	1.53 mill ton C	1.47 mill ton C

En la figura 5 podemos observar claramente la diferencia entre el stock de Carbono en biomasa forestal en pie, en comparación a la emisión al medioambiente por los procesos de aserrío y pulpaje.



FIGURA 5. Fracción del almacén de carbono que anualmente se emite al medioambiente por la industria celulósica y de aserrío.

IV CONCLUSIONES

* El carbono fijado por las plantaciones de *Pinus radiata* D.Don, en suelos arcillosos es mayor que en arenales, y a su vez esta fijación va en aumento a medida que mejoran las condiciones del sitio.

* Al mantenerse el estado estacionario de las plantaciones se asegura un stock de carbono en pie, permitiendo un balance positivo de carbono en el sistema.

* Si este estado estacionario se rompe, se produce un desequilibrio negativo, debido a que se emite al medioambiente más carbono del que se fija anualmente, por lo tanto cada año se iría reduciendo el inventario de carbono en pie.

* Se asume que los productos elaborados en la industria forestal (pulpaje y aserrío), no ingresan al sistema en forma de dióxido de carbono, debido a que su vida útil es bastante larga y no influirían de manera sustancial en el ciclo local del carbono.

V RESUMEN

La concentración de CO₂ en la atmósfera depende del balance entre las emisiones de CO₂ y el consumo en fotosíntesis. Desde que la actividad forestal tiene un rol clave en la economía chilena, es importante saber cuáles son los efectos en el balance del CO₂ de este sector industrial, para conocer su positivo o negativo impacto. Dentro de este contexto, el objetivo de este trabajo es evaluar el ciclo del carbono asociado al sector forestal de la Octava Región de Chile, con sus plantaciones e industrias aquí localizadas.

Este trabajo está basado en publicaciones con datos de superficie plantada, volumen y densidad en diferentes clases de suelo y manejo.

Los resultados obtenidos, para el total del carbono fijado en plantaciones *Pinus radiata* en la Octava Región, está en el rango de 25-45*10⁶ ton C para arenas y arcillas, respectivamente. Por otra parte las emisiones de Carbono a la atmósfera asociadas a las plantas de celulosa y aserrío va desde 3-6.07*10⁶ ton C.

El total del Carbono en stock está estimado entre 22-38.9*10⁶ ton C.

Con esto podemos concluir que el balance de Carbono asociado a la explotación de *Pinus radiata* en la Octava Región es altamente positiva.

VI SUMMARY

The CO₂ concentration in the atmosphere depends on the balance between CO₂ emissions and its photosynthetic consumption. Since forestry activity plays a key role in Chilean economy, and at the same time, may affect the CO₂ balance, it is important to assess whether that industrial sector represents a positive or a negative impact. Within this context, the objective of this work is to evaluate the carbon cycle associated to the forestry sector in the VIII Region in Chile, where most plantations and related industries are located.

This work is based on published data on planted surface area, biomass volume, and density for different type of soil and management.

Results show that, the total carbon fixed in *Pinus radiata* plantations in the VIII Region is in the range 25-45*10⁶ ton C for sandy and clay soil, respectively. On the other hand carbon emission by associated cellulose plants and sawmills ranges 3-6.07*10⁶ ton C.

The total Carbon Stock is estimated around 22-38.9*10⁶ ton C.

It is concluded that the carbon balance associated to *Pinus radiata* exploitation in the VIII Region is highly positive.

VII BIBLIOGRAFIA

- BAKER, T., G. OLIVER, P. HODGKISS. 1986. Distribution and cycling of nutrients in Pinus radiata as affected by past lupin growth and fertiliser. Forest Ecology and management 17: 169-87.
- BAUMEISTER, T., E. AVELLONE. 1978. Mark's standard Handbook for mechanical Engineers. McGraw-Hill, New York.
- BEETS, P., R. BROWNLIE. 1987. Puruki experimental catchment: site, climate, forest management, and research. New Zealand Journal of Forestry Science 17: 137-60.
- BEETS, P., H. MADGWICK. 1988. Above-ground dry matter and nutrient content of Pinus radiata as affected by lupin, fertiliser, thinning, and stand age. New Zealand Journal of Forestry Science 18: 43-64.
- CANTÚ, P. 1992: Contaminación Ambiental. Editorial Diana. México.
- COOPER, C. 1983. Carbon storage in managed forests. Canadian Journal of Forest Research 13: 155-66.
- COWN, J., D. McCONCHIE, G. YOUNG. 1991: Radiata pine wood properties survey. New Zealand Ministry of forestry, FRI bulletin N° 50.
- COWN, J. 1992. New Zealand radiata pine and Douglas fir: Suitability for processing. Ministry of forestry, Forest Research Institute. FRI Bulletin 166.

- DANIEL, T., J. HELMS Y F. BACKER. 1982. Principios de silvicultura. 2a Edición. McGraw-Hill. México.
- DAVIS, K. 1966. Forest Management. McGraw-Hill. Book company. New York.
- DONOSO, C. 1990. Ecología forestal. El bosque y su Medio Ambiente. 3a Edición. Editorial Universitaria. Santiago. Chile.
- EULA. 1997. Elaboración de la guía metodológica para la aplicación del sistema de evaluación de impacto ambiental en proyectos de industria de celulosa, pasta de papel y papel, plantas astilladoras, elaboradoras de madera y aserraderos. vol. 1. Universidad de Concepción. Chile.
- GONZÁLEZ, P. 1997. Tesis doctoral. Centro de Ciencias Ambientales. Eula. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- HAWLEY, R., D. SMITH. 1972. Silvicultura práctica. Omega. Barcelona.
- HARMON, M., M. FERRELL, J. FRANKLIN. 1990. Effects on carbon storage of conversión of old-growth forest to young forest. Science 247: 699-702.
- HOLDGATE, M. 1994. Greenhouse gas balance in forestry. Forestry 68 (4).

- HOLLINGER, D., J.MACLAREN, J.TURLAND. 1993. Carbon sequestration by New Zealand's plantation forests. New Zealand Journal of Forestry Science 23 (2): 194-208.
- HOUGHTON, R., W. SCHLESINGER, S. BROWN, J. RICHARDS. 1985. Carbon dioxide exchange between the atmosphere and terrestrial ecosystems. U.S. Department of Energy, Washington, D.C.
- KARJALAINEN, T. 1995. Dynamics and potentials of carbon sequestration in managed stands and wood products in Finland under changing climatic conditions. Forest ecology and management. 80 (1/3). 113-1132.
- MILLER, G. 1994. Ecología y Medio Ambiente. Grupo editorial Iberoamérica. México.
- SEDJO, R. 1989. Forest. A tool to moderate global warming? Environment 31: 14-20.
- SOLER, F. 1985. Medio Ambiente En Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- WOODWARD, F., S. LEE. 1995. Global scale forest function and distribution. Forestry 68 (4).
- ZAROR, C. 1993. Conceptos fundamentales de tratamiento de residuos industriales. Segunda edición. Laboratorio de Productos Forestales. Universidad de Concepción. Chile.

VIII ANEXOS

CARBONO CAPTURADO EN ARCILLAS (TABLAS 1A-6A)

Tabla n°1A CLASE DE SITIO I. RODAL NO MANEJADO

Clase de edad años	Superficie ha.	Volumen pulpable m ³	Volumen aserrable m ³	Densidad básica ton/m ³	Carbono capturado ton.
2	10569.8	0	0	0.298	0
4	15854.7	0	0	0.311	0
6	8998.3	0	0	0.315	0
8	10997.7	747841	214363	0.330	221932
10	7900.8	1121918	643111	0.337	416371
12	7671.5	1004967	1367354	0.349	578728
14	11495.2	3804900	2792563	0.358	1653324
16	7327.2	3165336	2589934	0.375	1510758
18	6594.3	3514780	3123645	0.381	1770468
20	10502.5	6637580	6274040	0.387	3497758
22	1887.7	1362895	1346557	0.391	741577
24	1311.8	1058650	1080553	0.399	597479
26	374.8	332102	346978	0.405	192519
28 y más	61.8	60968	65107	0.412	36360
Total	101548.2	22811937	0		11217274

Tabla n°2A CLASE DE SITIO I. RODAL MANEJADO

Clase de edad años	Superficie ha.	Volumen pulpable m ³	Volumen aserrable m ³	Densidad básica ton/m ³	Carbono capturado ton.
2	10569.8	0	0	0.298	0
4	15854.7	0	0	0.311	0
6	8998.3	0	0	0.315	0
8	10997.7	747841	214363	0.330	206080
10	7900.8	1121918	643111	0.337	386630
12	7671.5	1526629	1272531	0.349	634080
14	11495.2	3368084	2675270	0.358	1406289
16	7327.2	2330039	2208645	0.375	1106304
18	6594.3	2703677	2658834	0.381	1328026
20	10502.5	5282758	5336976	0.387	2671394
22	1887.7	1125049	1156752	0.391	579920
24	1311.8	901230	937461	0.399	476864
26	374.8	291246	304341	0.405	156788
28 y más	61.8	55959	58539	0.412	30663
Total	101548.2	19454429	17466824		8983037
Raleo		1745640	447361		496770

CARBONO CAPTURADO EN ARCILLAS (TABLAS 1A-6A)

Tabla n°3A CLASE DE SITIO II. RODAL NO MANEJADO

Clase de edad años	Superficie ha.	Volumen pulpable m ³	Volumen aserrable m ³	Densidad básica ton/m ³	Carbono capturado ton.
2	10569.8	0	0	0.298	0
4	15854.7	0	0	0.311	0
6	8998.3	0	0	0.315	0
8	10997.7	593874	226768	0.330	189281
10	7900.8	916497	452009	0.337	322830
12	7671.5	1488271	1034585	0.349	615451
14	11495.2	3218647	2716827	0.358	1487430
16	7327.2	2689070	2061815	0.375	1247107
18	6594.3	3000422	2508389	0.381	1469200
20	10502.5	5681853	5078385	0.387	2914948
22	1887.7	1168466	1097044	0.391	620070
24	1311.8	909101	885652	0.399	501274
26	374.8	285623	286015	0.405	162059
28 y más	61.8	52558	54064	0.412	30750
Total	101548.2	20004380	16401555		9560402

Tabla n°4A CLASE DE SITIO II. RODAL MANEJADO.

Clase de edad años	Superficie ha.	Volumen pulpable m ³	Volumen aserrable m ³	Densidad básica ton/m ³	Carbono capturado ton.
2	10569.8	0	0	0.298	0
4	15854.7	0	0	0.311	0
6	8998.3	0	0	0.315	0
8	10997.7	593874	226768	0.330	175761
10	7900.8	916497	452009	0.337	299771
12	7671.5	1281141	998271	0.349	516344
14	11495.2	2873792	2202899	0.358	1181346
16	7327.2	2036952	1888357	0.375	956794
18	6594.3	2367366	2277245	0.381	1150238
20	10502.5	4642105	4583211	0.387	2320628
22	1887.7	991025	996302	0.391	505079
24	1311.8	796283	809840	0.399	416548
26	374.8	257511	263695	0.405	137207
28 y más	61.8	49652	50944	0.412	26940
Total	101548.2	16806196	14749541		7686656
Raleo		1532284	336362		423295

CARBONO CAPTURADO EN ARCILLAS (TABLAS 1A-6A)

Tabla n°5A CLASE DE SITIO III. RODAL NO MANEJADO

Clase de edad años	Superficie ha.	Volumen pulpable m ³	Volumen aserrable m ³	Densidad básica ton/m ³	Carbono capturado ton.
2	10569.8	0	0	0.298	0
4	15854.7	0	0	0.311	0
6	8998.3	0	0	0.315	0
8	10997.7	439907	117511	0.330	128568
10	7900.8	734778	295398	0.337	243018
12	7671.5	1212097	751165	0.349	478938
14	11495.2	2666879	2055659	0.358	1183468
16	7327.2	2242113	1978648	0.375	1107950
18	6594.3	2512441	1971655	0.381	1195909
20	10502.5	4778638	4020328	0.387	2383640
22	1887.7	985362	873778	0.391	508847
24	1311.8	767423	709505	0.399	412506
26	374.8	241393	230402	0.405	133754
28 y más	61.8	44458	43862	0.412	25471
Total	101548.2	16625487	13047911		7802068

Tabla n°6A CLASE DE SITIO III. RODAL MANEJADO

Clase de edad años	Superficie ha.	Volumen pulpable m ³	Volumen aserrable m ³	Densidad básica ton/m ³	Carbono capturado ton.
2	10569.8	0	0	0.298	0
4	15854.7	0	0	0.311	0
6	8998.3	0	0	0.315	0
8	10997.7	439907	117511	0.330	119385
10	7900.8	734778	295398	0.337	225660
12	7671.5	1058667	765937	0.349	413318
14	11495.2	2413985	1812556	0.358	983516
16	7327.2	1758520	1612437	0.375	821671
18	6594.3	2057432	1939786	0.381	989911
20	10502.5	4043463	3904986	0.387	1999432
22	1887.7	864551	850071	0.391	435771
24	1311.8	695272	692355	0.399	359881
26	374.8	225275	225958	0.405	118787
28 y más	61.8	43469	43815	0.412	23375
Total	101548.2	14335317	12260811		6490707
Raleo		1299532	243428		349519

CARBONO CAPTURADO EN ARENAS (TABLAS 7A-12A)

Tabla n°7A CLASE DE SITIO I. RODAL NO MANEJADO

Clase de edad años	Superficie ha.	Volumen pulpable m ³	Volumen aserrable m ³	Densidad básica ton/m ³	Carbono capturado ton.
2	10569,8	0	0	0.235	0
4	15854,7	0	0	0.271	0
6	8998,3	0	0	0.289	0
8	10997,7	417911	69344	0.303	103347
10	7900,8	663670	229323	0.332	207532
12	7671,5	1066338	600403	0.353	411852
14	11495,2	2276043	1611173	0.361	982300
16	7327,2	1868427	1496591	0.371	873895
18	6594,3	2044243	1786354	0.380	1018939
20	10502,5	3801905	2867896	0.388	1811518
22	1887,7	766392	603989	0.393	376992
24	1311,8	586389	477859	0.406	302608
26	374,8	181044	151791	0.412	95990
28 y más	61,8	32462	28051	0.424	17965
Total		13704828	9922774		6202936

Tabla n°8A CLASE DE SITIO I. RODAL MANEJADO

Clase de edad años	Superficie ha.	Volumen pulpable m ³	Volumen aserrable m ³	Densidad básica ton/m ³	Carbono capturado ton.
2	10569,8	0	0	0.235	0
4	15854,7	0	0	0.271	0
6	8998,3	0	0	0.289	0
8	10997,7	417911	69344	0.303	95965
10	7900,8	663670	229323	0.332	192708
12	7671,5	943594	639651	0.353	363275
14	11495,2	2023149	1668138	0.361	866160
16	7327,2	1392161	1283918	0.371	645337
18	6594,3	1582640	1492715	0.380	759613
20	10502,5	3056227	2928021	0.388	1509227
22	1887,7	643694	624898	0.393	324062
24	1311,8	510303	501312	0.406	267097
26	374,8	163802	161720	0.412	87175
28 y más	61,8	31164	30976	0.424	17130
Total		11428318	9630016		5127749
Raleo		950404	261331		517883

Carbono capturado en arenas (Tablas 7a-12a)

Tabla n°9A CLASE DE SITIO II. RODAL NO MANEJADO

Clase de edad años	Superficie ha.	Volumen pulpable m ³	Volumen aserrable m ³	Densidad básica ton/m ³	Carbono capturado ton.
2	10569,8	0	0	0.235	0
4	15854,7	0	0	0.271	0
6	8998,3	0	0	0.289	0
8	10997,7	285939	0	0.303	60648
10	7900,8	489852	216160	0.332	164077
12	7671,5	813179	382335	0.353	295412
14	11495,2	1770256	1098710	0.361	724988
16	7327,2	1465433	1053057	0.371	654052
18	6594,3	1609017	1281364	0.380	768841
20	10502,5	3014217	2145556	0.388	1401394
22	1887,7	609716	452074	0.393	292098
24	1311,8	468324	358207	0.406	235016
26	374,8	145060	114001	0.412	74713
28 y más	61,8	26094	21121	0.424	14017
Total		10697089	7122586		4685256

Tabla n°10A CLASE DE SITIO II. RODAL MANEJADO.

Clase de edad años	Superficie ha.	Volumen pulpable m ³	Volumen aserrable m ³	Densidad básica ton/m ³	Carbono capturado ton.
2	10569,8	0	0	0.235	0
4	15854,7	0	0	0.271	0
6	8998,3	0	0	0.289	0
8	10997,7	285939	0	0.303	56316
10	7900,8	489852	216160	0.332	152357
12	7671,5	728792	2972509	0.353	849264
14	11495,2	1574838	1530012	0.361	728553
16	7327,2	1106402	1068722	0.371	524531
18	6594,3	1259517	1218715	0.380	612123
20	10502,5	2436580	2365089	0.388	1210981
22	1887,7	513445	501759	0.393	259334
24	1311,8	407980	401230	0.406	213656
26	374,8	130817	129237	0.412	69643
28 y más	61,8	24919	24743	0.424	13690
Total		8959082	10428177		4690447
Raleo		756444	340973		564748

Carbono capturado en arenas (Tablas 7a-12a)

Tabla n°11A CLASE DE SITIO III. RODAL
NO MANEJADO

Clase de edad años	Superficie ha.	Volumen pulpable m ³	Volumen aserrable m ³	Densidad básica ton/m ³	Carbono capturado ton.
2	10569,8	0	0	0.235	0
4	15854,7	0	0	0.271	0
6	8998,3	0	0	0.289	0
8	10997,7	175963	0	0.303	37322
10	7900,8	339736	108248	0.332	104111
12	7671,5	537005	218539	0.353	186695
14	11495,2	1161012	689922	0.361	467731
16	7327,2	842624	687952	0.371	397491
18	6594,3	956178	856826	0.380	482259
20	10502,5	1837937	1747831	0.388	973895
22	1887,7	386972	333096	0.393	198091
24	1311,8	306969	262404	0.406	161895
26	374,8	98581	83251	0.412	52440
28 y más	61,8	18735	15393	0.424	10131
Total		6661713	5003461		3072061

Tabla n°12A CLASE DE SITIO III. RODAL
MANEJADO

Clase de edad años	Superficie ha.	Volumen pulpable m ³	Volumen aserrable m ³	Densidad básica ton/m ³	Carbono capturado ton.
2	10569,8	0	0	0.235	0
4	15854,7	0	0	0.271	0
6	8998,3	0	0	0.289	0
8	10997,7	175963	0	0.303	34656
10	7900,8	339736	108248	0.332	96675
12	7671,5	537005	402719	0.353	215620
14	11495,2	1161012	1063229	0.361	521918
16	7327,2	842624	924174	0.371	426063
18	6594,3	956178	1011068	0.380	485910
20	10502,5	1837937	1911402	0.388	945583
22	1887,7	386972	398683	0.393	200696
24	1311,8	306969	315240	0.406	164282
26	374,8	98581	100773	0.412	53387
28 y más	61,8	18735	19160	0.424	10446
Total		6661713	6254696		3155236
Raleo		562484			129062