




República Argentina
Ministerio de Salud y Ambiente

Secretaría de Ambiente
y Desarrollo Sustentable



Dirección de Bosques





ESTIMACIÓN DE VOLUMEN, BIOMASA Y CONTENIDO DE CARBONO DE LAS REGIONES FORESTALES ARGENTINAS

Informe final

Autores

Ingeniero Forestal Ignacio Gasparri
Ingeniero Forestal Eduardo Manghi

Colaboradores

Ingeniera Agrónoma Celina Montenegro
Licenciada María Gabriela Parmuchi
Licenciada Julieta Bono
Geógrafa Mabel Strada

Septiembre 2004

Secretario de Ambiente y Desarrollo Sustentable
Doctor Atilio Armando Savino

**Subsecretario de Recursos Naturales, Normativa, Investigación
y Relaciones Institucionales**
Doctor Homero Bibiloni

Director Nacional de Recursos Naturales y Conservación de la Biodiversidad
Ingeniero Forestal Carlos Merenson

Director de Bosques
Ingeniero Forestal Jorge Luis Menéndez

1. Introducción

Los bosques como sistema natural complejo contribuyen a mitigar el cambio climático global al almacenar carbono en la vegetación y en el suelo, e intercambiar carbono con la atmósfera a través del proceso fotosintético y la respiración. No se deja de reconocer que en el caso de alteraciones en los bosques, los mismos liberan el carbono.

La posibilidad que abrió el **Protocolo de Kyoto** para un nuevo tipo de inversiones en el sector forestal requiere por parte de los organismos nacionales el desarrollo de indicadores de biomasa y contenido de carbono, además de los parámetros clásicos necesarios para la ordenación de bosques como es el volumen. Los estudios de biomasa son importantes para comprender el ecosistema forestal porque permiten evaluar los efectos de una intervención con respecto al equilibrio del ecosistema (Teller, 1988).

La extensa superficie de bosques con que cuenta Argentina podría contribuir en gran medida a la **mitigación de las emisiones de CO₂** que se producen especialmente por la **utilización de combustibles fósiles** y que junto con otras emisiones, son las causantes del cambio climático. **A su vez, el cambio de uso de la tierra (deforestación) también representa una importante fuente de emisión de CO₂, que podría ser revertida mediante un adecuado manejo de los bosques para aumentar su capacidad de captación del CO₂ de la atmósfera.**

La realización de este trabajo fue motivada por la carencia de información ambiental general que existe en nuestro país. Esperamos que sea de utilidad para la formulación de políticas que apunten a la solución de algunos de los grandes problemas ambientales mencionados en las "Bases para una Agenda Ambiental Nacional" (SAyDS, 2004) y que represente un aporte a la 10° Sesión de la Conferencia de las Partes (COP 10) de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático a realizarse en diciembre de 2004 en nuestro país. Por otra parte, la información presentada en este trabajo podrá ser utilizada para el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono per cápita por año (Indicador 41) del objetivo 8 "Asegurar un medio ambiente sostenible" planteado por el Gobierno Argentino para el año 2015 (Presidencia de la Nación, 2003).

2. Antecedentes

Una de las actividades desarrolladas por la Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal (UMSEF) de la Dirección de Bosques de la SAyDS durante el corriente año consistió en la participación en la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales - FRA 2005 (FAO) elaborando el informe nacional correspondiente, dado que este es un compromiso internacional asumido por la República Argentina.

Entre los datos requeridos para completar dicho informe se hallaban el volumen total de madera, la biomasa y el contenido de carbono en los bosques de todo el país. Al no existir una fuente que presentara dicha información a nivel nacional, la UMSEF procesó los datos dasométricos relevados por el Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos de nuestro país, que fue llevado a cabo entre 1998 y 2002 en el marco del Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas Préstamo BIRF 4085-AR, por un consorcio de empresas argentino-canadienses (CAC). <http://www.medioambiente.gov.ar/bosques/umsef/default.htm>

Uno de los objetivos principales de este inventario consistió en la obtención de información básica de los recursos forestales del país, con el fin de organizar el uso sustentable de los mismos y programar eficientemente esquemas de incentivos para la restauración y conservación forestal. Dicha información permite formular políticas para la conservación, restauración, ordenación y manejo de las masas forestales nativas, establecer los instrumentos de políticas de restauración y conservación, y asistir al sector público y privado en la definición de los métodos de manejo racional y sustentable de dichos recursos.

Las estimaciones de volumen, biomasa y contenido de carbono fueron realizadas para las regiones que se relevaron datos de campo. Estas son la Selva Misionera, la Selva Tucumano Boliviana o Yungas, el Parque Chaqueño y los Bosques Andino Patagónicos. <http://www.medioambiente.gov.ar/bosques/umsef/cartografia/default.htm>

A partir de los datos de los muestreos realizados por el Consorcio Argentino Canadiense, la UMSEF ha desarrollado estimaciones de volumen bruto y biomasa del fuste de los árboles inventariados, es decir aquellos que poseen un diámetro a la altura del pecho (dap) superior a 10 cm y se encuentran en la categoría Tierras forestales (ver definición en la pág. 10). Los resultados de biomasa y contenido de carbono que se presentan, provienen de la aplicación de distintos coeficientes a las clases anteriormente mencionadas.

3. Descripción general de las regiones forestales analizadas

3.1 Selva Misionera

Se trata de un bosque subtropical heterogéneo, con una alta biodiversidad. Presenta formaciones boscosas multi-estratificadas de 20 a 30 m de altura, con tres estratos arbóreos: un estrato de bambúceas y arbustos, un estrato herbáceo y un estrato muscinal. También se observan lianas y epífitas. Predominan los géneros *Balfourodendron*, *Nectandra*, *Aspidosperma*, *Cedrela*, *Tabebuia*, entre otros.

La agricultura migratoria es un uso de la tierra de importancia particular en esta región que da como resultado una alta fragmentación de los bosques y la formación de bosques secundarios, localmente denominado "capueras". Este tipo de uso está asociado a las rutas principales en la zona este de la región.

Los cultivos que actúan como reemplazo de áreas de bosque nativo son de tipo industrial como el té, la yerba mate, el tabaco y la forestación con especies exóticas.

3.2 Selva Tucumano Boliviana o Yungas

Se trata de un bosque subtropical de pedemonte y de montaña que presenta tipos forestales heterogéneos asociados a los distintos pisos altitudinales que resultan de diferencias climáticas.

Las formaciones boscosas de la Selva Tucumano Boliviana son de 20 - 30 m de altura, con 2 estratos arbóreos, un estrato arbustivo, un estrato herbáceo y un estrato muscinal. También se observan lianas y epífitas. Los géneros predominantes son *Tipuana*, *Phyllostylon*, *Enterolobium*, *Anadenanthera*, *Cedrela*, *Blepharocalyx*, *Podocarpus*, *Alnus*, entre otros.

El piso altitudinal de la Selva Pedemontana presenta la mayor intensidad de reemplazo por parte de la agricultura con cultivos de caña de azúcar y cítricos, registrándose un marcado proceso de fragmentación de los bosques.

En el piso altitudinal correspondiente a la Selva Montana, las principales actividades son el aprovechamiento selectivo de árboles y la ganadería extensiva bajo el bosque. A causa de la topografía abrupta, el aprovechamiento se restringe a las zonas más accesibles.

En el piso altitudinal superior o Bosque Montano, las actividades productivas principales son el aprovechamiento selectivo de árboles, la agricultura migratoria y la ganadería extensiva bajo el bosque.

3.3 Parque Chaqueño

Es una amplia región boscosa que presenta variaciones climáticas de este a oeste, desde áreas húmedas a secas. Es la región forestal que presenta mayor superficie de bosque con una importante biodiversidad.

Los bosques son principalmente caducifolios xerófilos de aproximadamente 20 m de altura, alternados con pajonales, praderas, y palmares. Las especies forestales más destacadas de la región son *Schinopsis lorentzii* (quebracho colorado), *Aspidosperma quebracho-blanco* (quebracho blanco), *Bulnesia sarmientoii* (palo santo), y *Prosopis* spp. (algarrobos), entre otros.

La región presenta una importante intervención antrópica, la cual se manifiesta a través de distintas actividades que producen diferentes impactos sobre el bosque. La actividad maderera tradicional, que consiste en el aprovechamiento selectivo de los individuos de grandes dimensiones y de mejor calidad, ocasiona una rápida disminución de los volúmenes de madera comercial por largos períodos de tiempo. La extracción de leña con fines energéticos, comerciales, domésticos y otros productos forestales como postes, es la actividad predominante en áreas previamente aprovechadas y en zonas cercanas a asentamientos rurales o poblados. La continua extracción de estos productos da como resultado áreas fuertemente degradadas las cuales se caracterizan por la predominancia de arbustales.

Sin embargo, la actividad productiva que ha cobrado mayor importancia en los últimos años es la agricultura, principalmente en la zona sur y el límite oeste de la región. La expansión de la frontera agrícola, mayoritariamente con cultivos de soja, provoca una significativa pérdida de bosques nativos y un aumento en la fragmentación de los mismos.

Por último, la ocurrencia de incendios en esta región es de las más altas del país verificándose frecuentemente la conversión de las áreas incendiadas a agricultura.

3.4 Bosque Andino Patagónico

Se trata de un bosque homogéneo de climas fríos, que se extiende a lo largo de la Cordillera de los Andes, por aproximadamente 3.000 km y no más de 30 km de ancho desde el norte al sur, presentando discontinuidades en algunos sectores.

La región se caracteriza por la predominancia de bosques caducifolios, con presencia de bosques de coníferas. Las especies más comunes son del género *Nothofagus* (lenga, coihue, raulí, roble pellín, ñire, guindo), *Austrocedrus chilensis* (ciprés de la cordillera), *Araucaria araucana* (pehuén).

La región de Bosque Andino Patagónico es la que presenta el menor estado de degradación y reemplazo de bosques del país como así también el mayor porcentaje de áreas boscosas en zonas protegidas.

4. Diseño del inventario

Tanto el diseño de muestreo como la ejecución del mismo fueron responsabilidad del CAC.

Generalidades del inventario a nivel nacional

- Cada región forestal tiene una intensidad de muestreo propia que surgió a partir de un premuestreo.
- La información a nivel nacional surge de combinar los inventarios regionales.

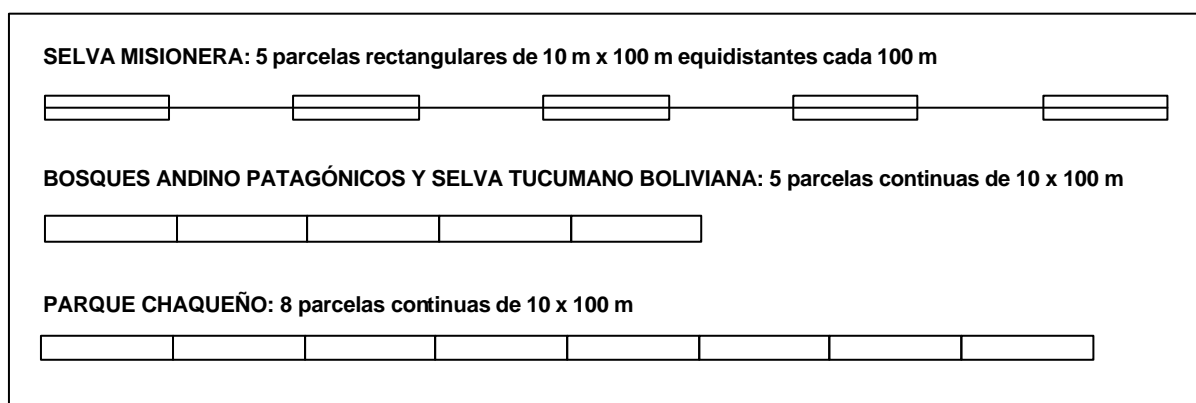
Generalidades del inventario a nivel regional

- La distribución de las Unidades Primarias de Muestreo (UPM) es de tipo SISTEMÁTICA, sobre grilla cuadrada.
- La equidistancia de la grilla surge de combinar el tamaño de la muestra con el área total de bosque inventariable.
- Calculada la distancia entre las intersecciones de las líneas de la grilla se elige un punto al azar y se dispone la grilla sobre el mapa. Aquellos puntos ubicados sobre bosque inventariable representan las UPM.
- Se definen las coordenadas geográficas de cada UPM, tomando como Datum Campo Inchauspe.
- Estos puntos son replanteados en el terreno, mediante un sistema de posicionamiento geográfico - Geographic Positioning System (GPS).

4.1 Tamaño y formas de las Unidades Primarias de Muestreo (UPM)

Se usaron dos esquemas básicos. En uno de ellos, utilizado en Selva Misionera, Selva Tucumano Boliviana y Bosque Andino Patagónico, cada UPM estuvo compuesta por 5 parcelas rectangulares de 10 m de ancho por 100 m de largo, dispuestas sobre una transecta. El área cubierta por cada UPM fue de 5.000 m². En el otro esquema, utilizado en el Parque Chaqueño, cada UPM estuvo compuesta por 8 parcelas rectangulares de 10 m de ancho por 100 m de largo, cubriendo un área de 8.000 m². Las UPM de la región de la Selva Misionera presentaron un espaciamiento entre sí de 100 m, que no se utilizó en las demás regiones. En la Figura 1 se muestra el tamaño y forma de la UPM usada en cada región.

FIGURA 1. FORMA Y TAMAÑO DE LAS UPM POR REGIÓN FORESTAL.

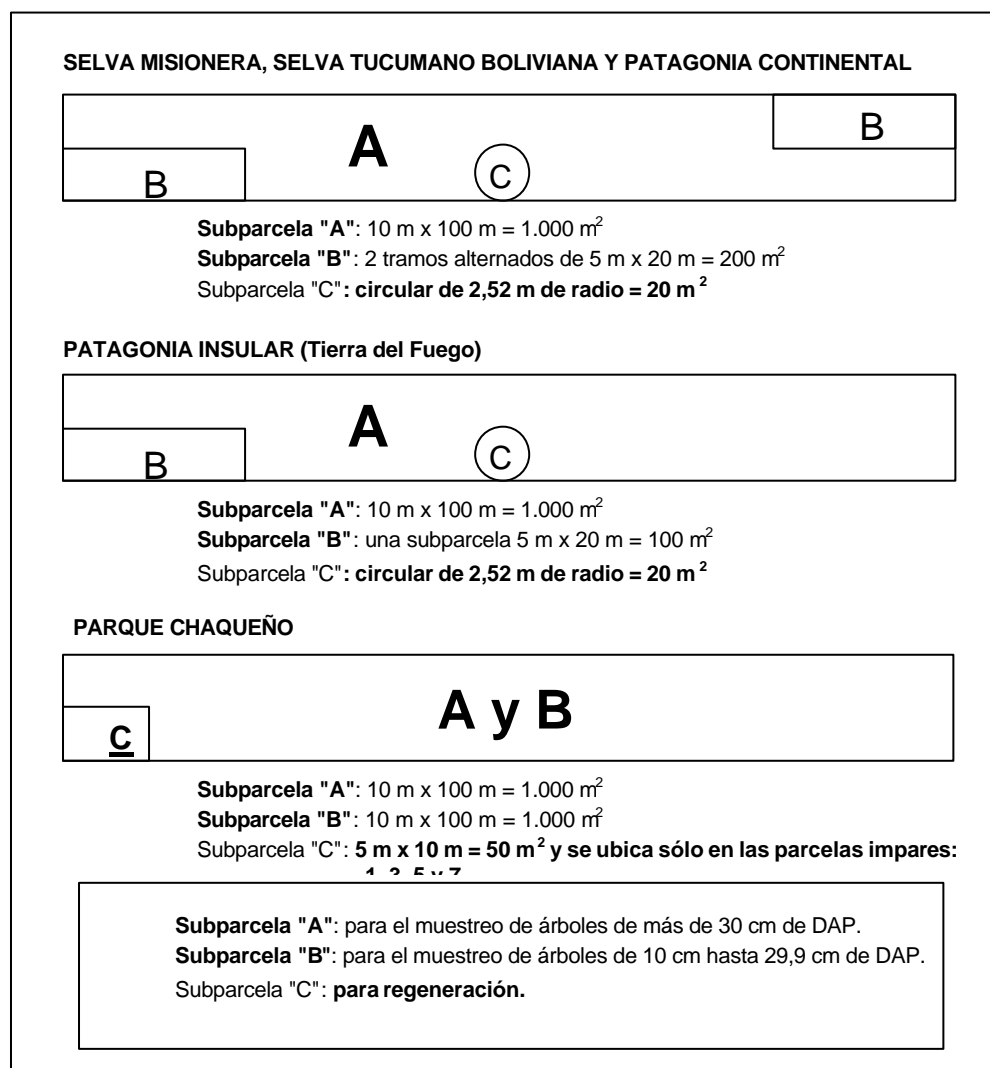


En las regiones Selva Misionera, Selva Tucumano Boliviana y Bosque Andino Patagónico, cada parcela estuvo compuesta por 3 subparcelas, identificadas como "A", "B" y "C". En la subparcela "A", de 10 m por 100 m, se midieron los árboles con dap igual o mayor de 30 cm, en la subparcela "B", de 5 m por 20 m, se midieron los árboles con dap entre 10 cm y 29,9 cm y finalmente en la subparcela "C", de forma circular y 2,52 m de radio, se observó la regeneración.

En la región del Parque Chaqueño, cada parcela estuvo compuesta por dos subparcelas: una de 10 m por 100 m, donde se midieron los árboles con diámetro desde los 10 cm (subparcelas A y B juntas) y otra subparcela C, rectangular de 5 m por 10 metros, donde se observó regeneración.

La Figura 2 muestra el diseño de las subparcelas según la región.

FIGURA 2. DISEÑO DE LAS SUBAPRCELAS SEGÚN LA REGIÓN FORESTAL.



4.2 Tamaño de la muestra

El criterio básico para seleccionar el número de las UPM y, por consiguiente, el espaciamiento de las grillas de muestreo para cada región fue obtener un error de muestreo de 10% para el volumen bruto con corteza expresado en m³/ha, con un nivel de probabilidad del 85%. El número de UPM requerido para lograr este margen de error puede obtenerse a partir del coeficiente de variación (CV) según la variable de interés. La falta de antecedentes llevó a la necesidad de asumir valores para dicho coeficiente. Debido a que la información sobre el nivel de variabilidad encontrado dentro de las regiones incluidas en este inventario fue limitada, el tamaño inicial estimado de las muestras fue preliminar. La Tabla 1 muestra el número de UPM y los tamaños de las grillas para cada región forestal.

TABLA 1. TAMAÑO DE MUESTRA PARA CADA REGIÓN FORESTAL.

Región	CV estimado	Número preliminar de UPM	Tamaño seleccionado de cuadrícula	Número mínimo de UPM a ejecutar	Número de UPM ejecutadas
Selva Misionera	60% / 70%	80 / 110	10 Km	80	108
Selva Tucumano Boliviana	55% / 65%	66 / 95	20 Km	66	72
Parque Chaqueño	45% / 55%	45 / 66	50 Km	45	57
Bosque Andino Patagónico	60% / 70%	80 / 110	10 Km	80	105

Mayor detalle sobre el diseño de muestreo y los procedimientos de campo utilizados por el CAC para el Primer Inventario Nacional de Bosque Nativo pueden consultarse en el Manual de Campo, realizado por el CAC para la Dirección de Bosques de la SAyDS.

5. Análisis de datos

Esta etapa de trabajo fue responsabilidad de los técnicos de la Dirección de Bosques de la SAyDS. La metodología consistió en la determinación del valor promedio de las variables de interés para cada una de las regiones con muestreo de campo y su extrapolación a la superficie de bosque correspondiente al año 1998.

En la Tabla 2 se presenta la superficie de cada región forestal que fue determinada mediante técnicas de teledetección y verificación a campo y corresponde a la superficie a la cual se extrapolan los valores promedios obtenidos.

TABLA 2: SUPERFICIE DE TIERRAS FORESTALES EN HA POR REGIÓN

Región	Superficie
Selva Misionera **	914.823
Selva Tucumano Boliviana *	3.697.483
Bosque Andino Patagónico *	1.985.495
Parque Chaqueño *	22.040.637
TOTAL*	28.638.438

Fuentes: *Dirección de Bosques – SAyDS; ** CAC

Detalle sobre la metodología para la determinación de la superficie de bosque puede consultarse en Cartografía y Superficie de Bosque Nativo de Argentina (UMSEF, 2002). (http://www.medioambiente.gov.ar/documentos/bosques/umsef/cartografia/informe_cartografiasuperficie_dic02.pdf)

Las Tierras Forestales consideradas por el presente trabajo se definen como “Tierras con

una cubierta de copa (o su grado equivalente de espesura) de más del 20 por ciento del área y una superficie superior a 10 hectáreas. Los árboles deberían poder alcanzar una altura mínima de 7 metros a su madurez in situ. Puede consistir en formaciones forestales cerradas, donde árboles de diversos tamaños y sotobosque cubren gran parte del terreno” en Cartografía y Superficie de Bosque Nativo de Argentina (UMSEF, 2002). La Cartografía y Superficie de Bosque Nativo, por provincia y región, presentada en diciembre 2002 se hizo sobre la base de imágenes Landsat 5 TM de los años 1997-1998 (UMSEF 2002).

Las superficies de las regiones del Parque Chaqueño y Selva Tucumano Boliviana presentadas en Tabla 2 están siendo actualizadas al año 2002 por la UMSEF dentro del programa “Monitoreo de la Superficie de los Bosques Nativos de Argentina – Deforestación período 1998-2002”, que consiste en el monitoreo de la superficie y detección de los cambios de uso del suelo causados por procesos de origen natural y/o antrópico para el período 1998-2002. La elección de estas regiones se debe a que actualmente se encuentran sometidas a procesos de deforestación muy acentuados debido al avance de la frontera agrícola y algunos de los resultados de esta actualización se presentan en la Tabla 3. La detección de cambios se realiza mediante interpretación visual de imágenes satelitales de ambas fechas, las coberturas actualizadas se gestionan como coberturas de un Sistema de Información Geográfica.

TABLA 3. SUPERFICIE DEFORESTADA (EN HECTÁREAS) POR PROVINCIA Y REGIÓN FORESTAL DURANTE EL PERÍODO 1998-2002

Provincia	Deforestación - Período 1998-2002		Total
	Región Parque Chaqueño	Región Selva Tucumano Boliviana	
Córdoba	121.107	-	121.107
Chaco	117.974	-	117.974
Jujuy	1.574	4.507	6.081
Formosa	20.112	-	20.112
Salta	152.800	41.589	194.389
Santiago del Estero	306.055	-	306.055
Tucumán	20.865	1.306	22.171
Total	740.487	47.402	787.889

Fuente: UMSEF – Dirección de Bosques – SAyDS.

5.1 Estimación de Volumen

Las estimaciones corresponden a *volumen bruto* desde los 10 cm de dap con corteza. Los datos de dap, altura total y altura del fuste para cada especie de árbol de cada UPM fueron obtenidos por el Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos en el año 1998.

La transformación de los datos anteriores a volumen se realizó a través de ecuaciones de volumen específicas para determinadas especies o por grupos de especies. Las mismas se recopilaron de las siguientes fuentes: para las regiones Selva Tucumano Boliviana y Parque Chaqueño fueron utilizadas las fórmulas desarrolladas por el inventario NOA II (Yrjö Svola, 1975); las de la región Bosque Andino Patagónico provienen de la recopilación realizada por el CAC, consultas de la UMSEF al personal del Centro de Investigaciones y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP) y búsqueda bibliográfica en internet; por último, para la región Selva Misionera se aplicaron ecuaciones de volumen ajustadas por el CAC para grupos de especies.

En las bases de datos hay árboles que carecen de datos de altura por errores en la medición o carga de datos, por lo tanto se realizó una estimación de la misma de acuerdo al dato de altura de árboles de igual especie y dap. En el caso de especies para las cuales no se dispuso de modelos de volumen específicos, se aplicó la fórmula de Smalian asumiendo un diámetro en punta fina de 10 cm.

El valor promedio del volumen obtenido de las muestras se extrapolaron a la totalidad de superficie de bosque determinada para cada región.

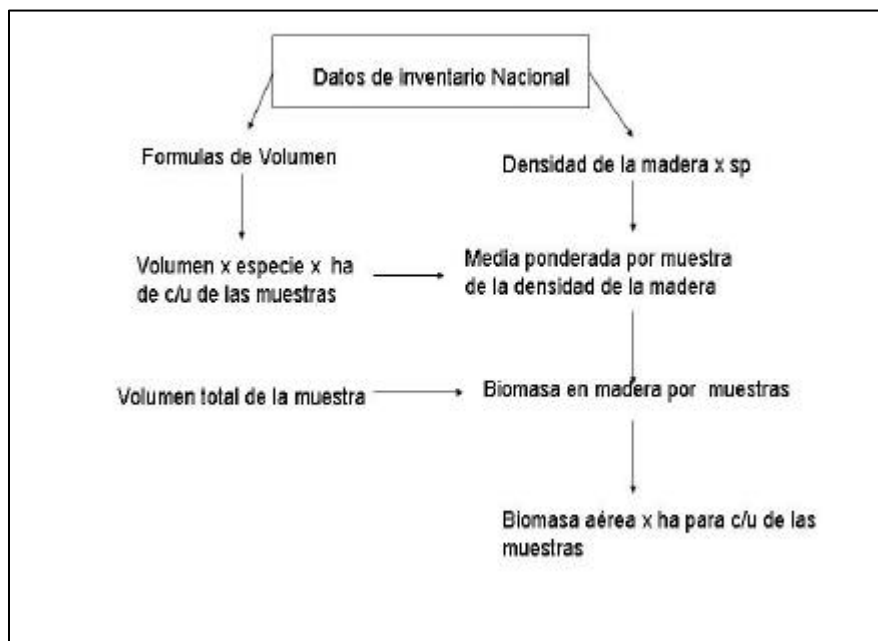
Cabe señalar que en el caso de la región Selva Misionera, el CAC ha concluido el inventario de la misma con un informe final que se puede consultar en internet.

(http://www.medioambiente.gov.ar/documentos/bosques/umsef/cartografia/selva_misionera/inf_final.pdf)

5.2 Estimación de Biomasa

Para la estimación de la *biomasa área* del bosque se utilizó la metodología sugerida por Brown (1997) (Figura 3). La biomasa de cada una de las UPM se estimó multiplicando el *volumen total* de la unidad por la *densidad promedio* de la madera de esa unidad. La densidad promedio es una media ponderada con respecto al volumen de parcela, de manera tal que las especies con mayor proporción de volumen dentro de la parcela tienen mayor peso relativo en la densidad. La *densidad* es la masa de la madera seca al horno por unidad de volumen. Los datos utilizados provienen en su mayoría de la base de datos del INT-CITEMA.

FIGURA 3. ESQUEMA METODOLÓGICO UTILIZADO PARA LA ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA.



La biomasa aérea (por encima del suelo) se obtiene multiplicando la Biomasa del Fuste por un factor de expansión. Este Factor de Expansión (FE) es una constante igual a 1.74 si la biomasa de fuste (BFuste) es mayor a 190 tn/ha; y si es menor a 190 tn/ha el factor de expansión se calcula con la siguiente formula:

$$FE = \text{Exp} (3.213 - 0.506 \cdot \ln (BFuste))$$

Esta fórmula fue ajustada en base a datos de bosques tropicales con un $n = 56$ arrojando un $r = 0.76$; y determina que cuanto menor es la biomasa de fustes mayor es el factor de expansión, por lo cual adquieren mayor participación los otros compartimentos de la biomasa aérea como son ramas y hojas.

La *biomasa por debajo del suelo* y la *biomasa de la madera muerta* surgen de la multiplicación de la biomasa por encima del suelo con un coeficiente para cada uno de estos compartimentos. Cabe mencionar que no existen coeficientes específicos para los bosques argentinos que relacionen biomasa por encima del suelo con otros compartimentos de biomasa, y por lo tanto, los utilizados en este trabajo son estimaciones generales para el mundo, escogiéndose en el caso de estar disponibles calibraciones para ecosistemas similares a los ecosistemas forestales de Argentina. La biomasa por debajo del suelo corresponde al 24% de la biomasa por encima del suelo en las regiones Selva Misionera; Selva Tucumano Boliviana y Bosques Andino Patagónicos y al 27 % en el caso del Parque Chaqueño. En el caso de la biomasa de madera muerta es el 11% de la Biomasa de fuste para la Selva Misionera y la Selva Tucumano Boliviana, mientras que es el 14% para bs Bosques Andino Patagónico y el Parque Chaqueño. Estos coeficientes son utilizados en función de los procedimientos señalados como directrices por el proceso FRA2005 de la FAO y corresponden a las tablas del IPCC Good Practice Guidance for LULUCF, 2004.

5.3 Estimación de Contenido de Carbono

El contenido de carbono para los compartimientos por encima del suelo, debajo del suelo y en la madera muerta constituye el 50% de la biomasa de los mismos. El contenido de carbono en la hojarasca y en el suelo provienen de una generalización según tablas de IPCC Good Practice Guidance for LULUCF desarrollados para distintos ecosistemas forestales.

Al igual que en el caso de la estimación de biomasa, no existen coeficientes específicos para los bosques argentinos que relacionen el contenido de carbono encima del suelo con otros compartimientos de contenido de carbono, y por lo tanto, se utilizaron en este trabajo estimaciones generales, prefiriéndose, en el caso de estar disponibles, calibraciones de ecosistemas similares a los ecosistemas forestales argentinos.

6. Resultados

6.1 Estimación de Volumen

Los resultados de las estimaciones de volumen se presentan en la Tabla 4 y la Figura 4.

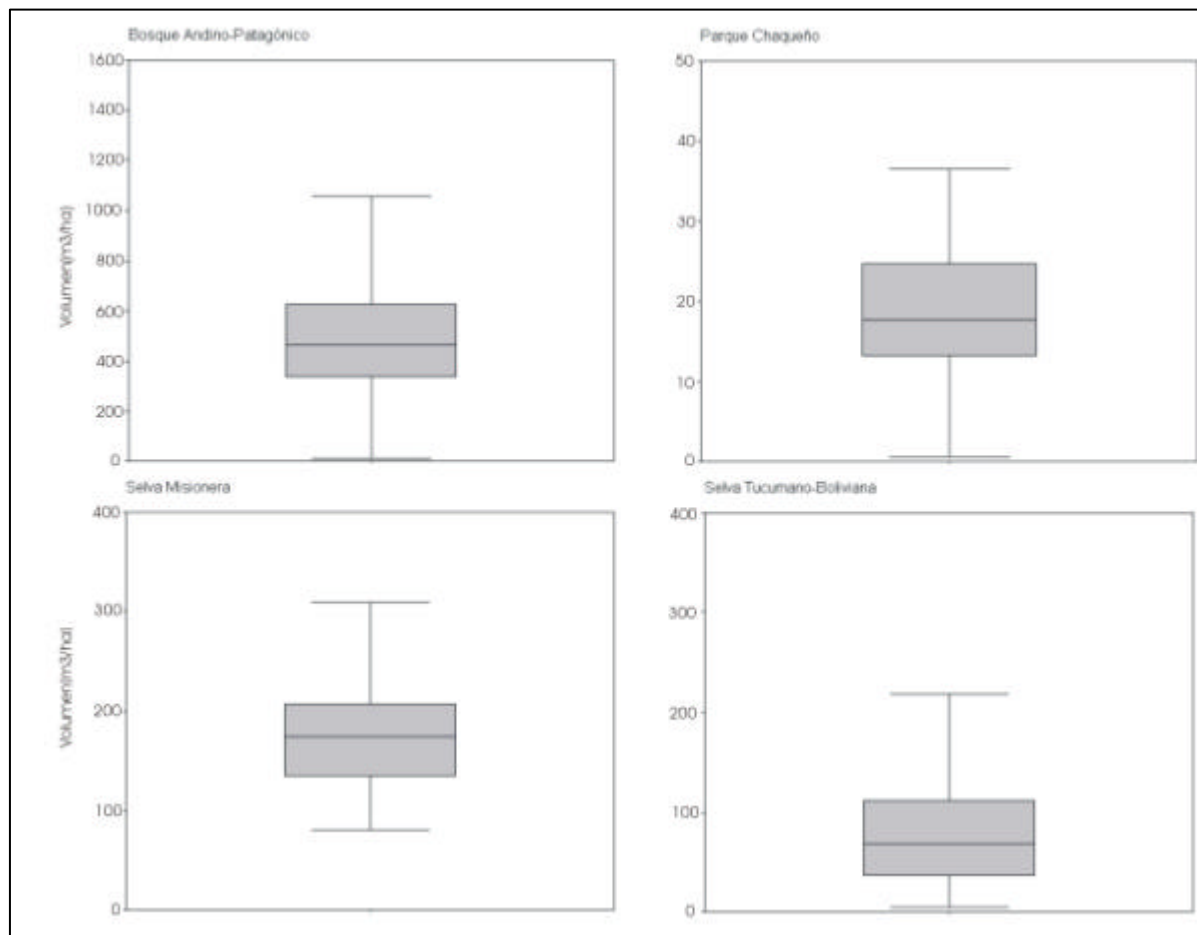
TABLA 4. VOLUMEN DE MADERA EN TIERRAS FORESTALES POR REGIÓN FORESTAL EN 1998

Región Forestal	Volumen medio (m ³ /ha)	Desvío típico	Volumen total (x1.000m ³)	Desvío típico
Parque Chaqueño	18,72	8,77	412.600,72	193.466,92
Selva Misionera	174,16	54,83	159.325,57	50.159,07
Selva Tucumano Boliviana	79,56	54,62	294.171,75	201.966,71
Bosque Andino Patagónico	496,74	277,86	986.274,29	551.683,52
<i>Total nacional</i>	64,68*		1.852.372,33	

Ver definiciones de volumen en el glosario.

*Ponderado con respecto a la superficie de cada región.

FIGURA 4. VOLUMEN (M³/HA) PARA LAS DISTINTAS REGIONES FORESTALES. Diagrama de *boxplot*: línea central (mediana), caja (50 % de los datos), líneas continuas (1.5 rango intercuartil), excluyendo los valores atípicos.



6.2 Estimación de Biomasa

Los resultados de las estimaciones de biomasa se presentan en las tablas 5, 6 y 7 y las figuras 5 y 6.

TABLA 5. BIOMASA DEL FUSTE EN TIERRAS FORESTALES POR REGIÓN FORESTAL EN 1998

Región Forestal	Biomasa media del fuste (tn/ha)	Desvío típico	Biomasa total del fuste (x1.000tn)	Desvío típico
Parque Chaqueño	17,54	8,60	386.409,94	189.536,36
Selva Misionera	123,21	38,85	112.716,72	35.539,68
Selva Tucumano Boliviana	57,08	37,08	211.069,39	137.096,71
Bosque Andino Patagónico	303,65	185,26	602.892,95	367.826,55
Total nacional	46,88*		1.342.660,89	

*Ponderado con respecto a la superficie de cada región.

FIGURA 5. BIOMASA DEL FUSTE (TN/HA) PARA LAS DISTINTAS REGIONES FORESTALES.

Diagrama de *boxplot*: línea central (mediana), caja (50 % de los datos), líneas continuas (1.5 rango intercuartil), excluyendo los valores atípicos.

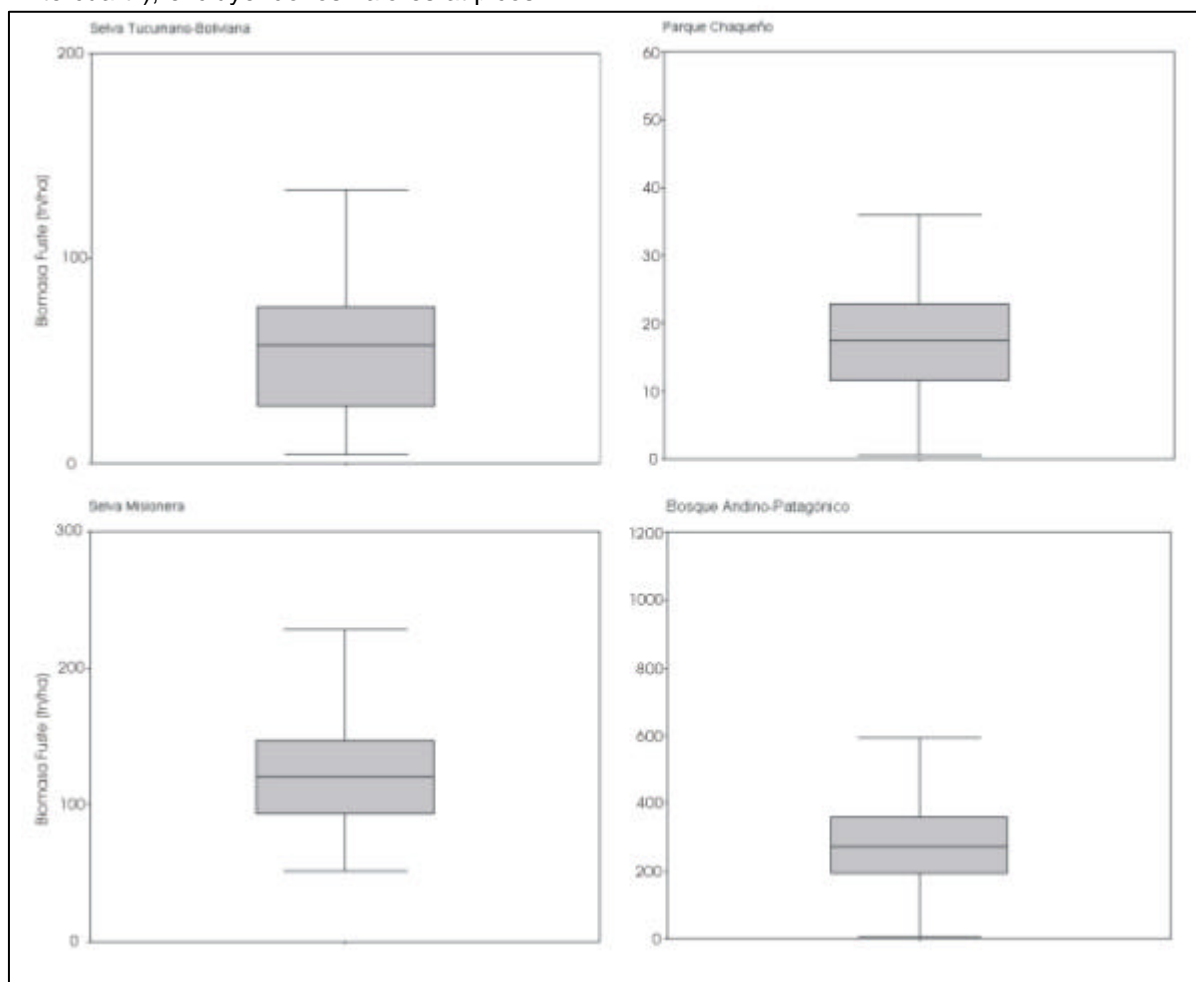
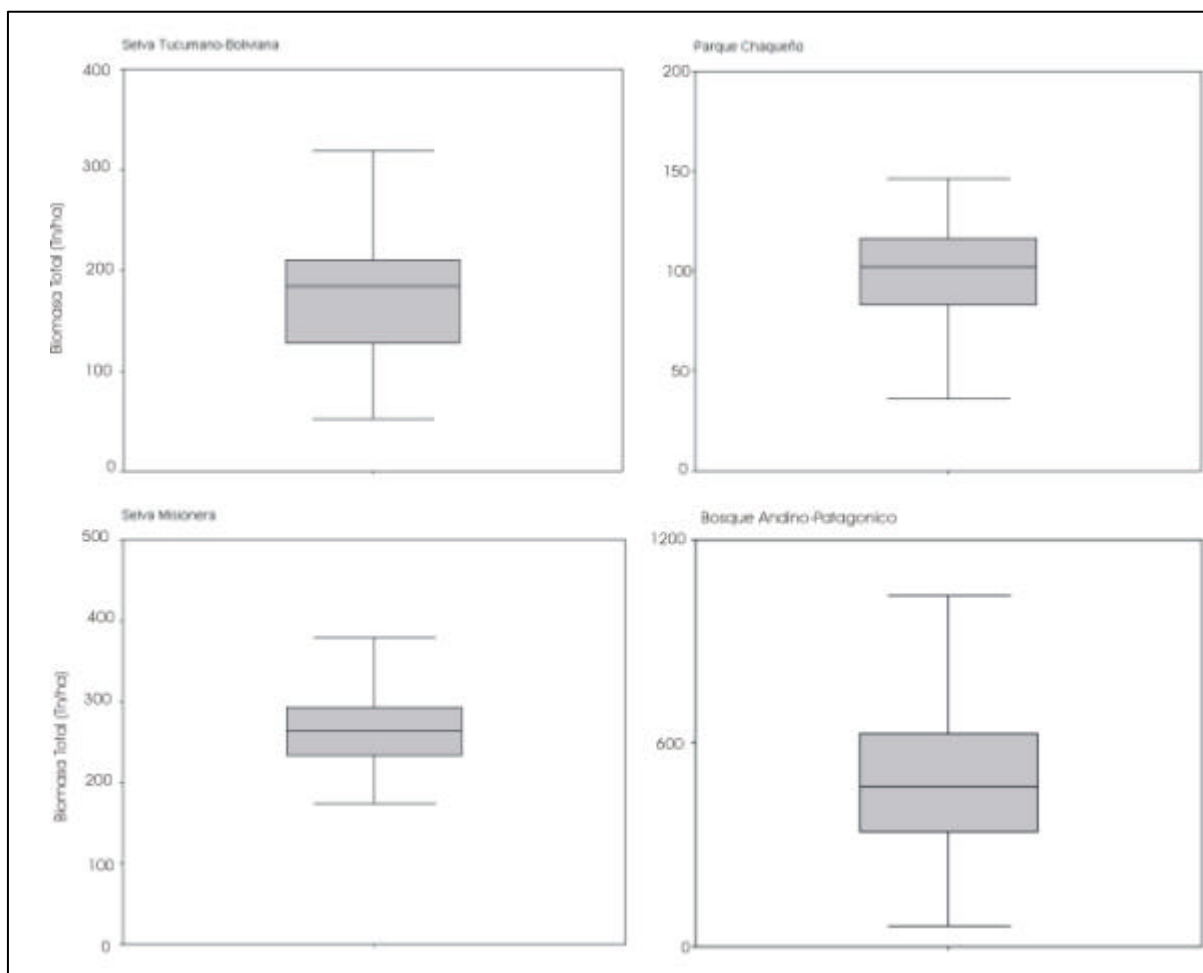


TABLA 6. BIOMASA AÉREA EN TIERRAS FORESTALES POR REGIÓN FORESTAL EN 1998.

Región Forestal	Biomasa aérea media (tn/ha)	Desvío típico	Biomasa aérea total (x1.000 tn)	Desvío típico
Parque Chaqueño	98,80	26,45	2.177.595,10	582.902,89
Selva Misionera	266,24	45,07	243.563,82	41.232,67
Selva Tucumano Boliviana	172,87	60,60	639.194,14	224.088,93
Bosque Andino Patagónico	540,20	309,34	1.072.567,44	614.194,64
<i>Total nacional</i>	144,31*		4.132.920,50	

*Ponderado con respecto a la superficie de cada región.

FIGURA 6. BIOMASA TOTAL (TN/HA) PARA LAS DISTINTAS REGIONES. Diagrama de *boxplot*: línea central (mediana), caja (50 % de los datos), líneas continuas (1.5 rango intercuartil), excluyendo los valores atípicos.



Con fines comparativos se puede mencionar que para los bosques bolivianos se indica una biomasa de 171 tn/ha en la Amazonia boliviana y 97 tn/ha para los bosques de transición entre la Amazonia y Chiquitania (Dauber *et al* 2002). El valor promedio calculado para la Amazonía brasilera es de 298 tn/ha, valor que puede ser comparable al obtenido en este trabajo para la región Selva Misionera. En cuanto a los valores para el Bosque Andino Patagónico (Ritcher *et al* 2004) señalan una biomasa total para bosques maduros de ñire de 236 tn/ha, 482 tn/ha para bosques de lenga y 846 tn/ha para bosques de guindo.

TABLA 7. RESULTADOS DE DISTINTOS COMPARTIMENTOS DE BIOMASA MEDIA Y TOTAL EN 1998.

	PCH	SM	STB	BAP	Promedio*
Biomasa media por encima del suelo (tn/ha)	98,80	266,24	172,87	540,20	144,31
Biomasa media por debajo del suelo (tn/ha)	26,68	63,90	41,49	129,65	36,92
Biomasa media de la madera muerta (tn/ha)	13,83	29,29	19,02	75,63	19,28
Biomasa total (tn/ha)	139,31	359,43	233,38	745,48	200,51
					Total
Biomasa total por encima del suelo (x1000tn)	2.177.615	243.562	639.194	1.072.564	4.132.935
Biomasa total por debajo del suelo (x1000tn)	587.956	58.455	153.407	257.415	1.057.233
Biomasa total de la madera muerta (x1000tn)	304.866	26.792	70.311	150.159	552.128
Biomasa Total (x1000tn)	3.070.437	328.809	862.912	1.480.138	5.742.297

Observación: las distintas clases de biomasa están referidas solamente a los árboles inventariados, que son los de dap>10 cm, sin tener en cuenta los demás tipos de vegetación que puedan encontrarse. Ver definiciones de biomasa en el glosario y abreviaturas al final del informe. *Ponderado con respecto a la superficie de cada región. PCH: Parque Chaqueño, SM: Selva Misionera, STB: Selva Tucumano Boliviano y BAP: Bosque Andino Patagónico.

6.3 Estimación de Contenido de Carbono

Los resultados de contenido de carbono se presentan en la Tabla 8.

TABLA 8. RESULTADOS DE DISTINTOS COMPARTIMENTOS DE CONTENIDO DE CARBONO MEDIO Y TOTAL EN 1998.

	PCH	SM	STB	BAP	Promedio*
Carbono por encima del suelo (tn/ha)	49,40	133,12	86,44	270,10	72,16
Carbono por debajo del suelo (tn/ha)	13,34	31,95	20,74	64,82	18,46
Carbono en la madera muerta (tn/ha)	6,92	14,64	9,51	37,81	9,64
Carbono en la hojarasca (tn/ha)	2,80	2,80	2,80	16,00	3,72
Carbono en el suelo (tn/ha)	38,00	47,00	65,00	95,00	45,73
Carbono Total (tn/ha)	110,45	229,51	184,49	483,74	149,70
					Total
Carbono total por encima del suelo (x1000tn)	1.088.807	121.781	319.597	536.282	2.066.468
Carbono total por debajo del suelo (x1000tn)	293.978	29.227	76.703	128.708	528.616
Carbono total en la madera muerta (x1000tn)	152.433	13.396	35.156	75.079	276.064
Carbono total en la hojarasca (x1000tn)	61.714	2.562	10.353	31.768	106.396
Carbono total en el suelo (x1000tn)	837.544	42.997	240.336	188.622	1.309.499
Carbono Total (x1000tn)	2.434.477	209.963	682.145	960.459	4.287.044

Observación: las distintas clases de contenido de carbono están referidas solamente a los árboles inventariados, que son los de $d_{ap} > 10$ cm, sin tener en cuenta los demás tipos de vegetación que puedan encontrarse. Ver definiciones de contenido de carbono en el glosario y abreviaturas al final del informe. *Ponderado con respecto a la superficie de cada región. PCH: Parque Chaqueño, SM: Selva Misionera, STB: Selva Tucumano Boliviano y BAP: Bosque Andino Patagónico.

7. Balance de emisión-captación de CO₂

Desde la celebración de la reunión de Kyoto, se comenzó a percibir a los bosques como productores de servicios ambientales para la sociedad en su conjunto, amplificando la concepción clásica de la producción de madera. Los bosques juegan un importante papel en el balance de CO₂ a nivel mundial a través de su fijación en la madera mediante la fotosíntesis. Por otro lado, la sustitución del bosque por tierras agrícolas conduce a la liberación a la atmósfera del CO₂ acumulado en la madera. El método de sustitución de bosques por tierras agrícolas en Argentina consiste en el volteo de la vegetación, formación de escolleras y posterior quema, no contemplándose el uso de la madera. Aunque esta madera fuera utilizada, el destino predominante es para leña por lo que también se la puede considerar pérdida como depósito de carbono. La emisión de CO₂ se obtiene bajo el supuesto de que el 100% de la biomasa deforestada es transformada en CO₂ por combustión y no se consideran las pérdidas de C de suelos, que ocurren tanto por el fuego en las escolleras, como por la fuerte oxidación de la materia orgánica residual por lo cual se esta subestimando el valor de emisión al desconocer la fuente que representa el suelo. La emisión de CO₂ equivale a 3.666 veces el peso de carbono que interviene en la combustión según IPCC Good Practice Guidance for LULUCF. Las provincias involucradas en el cálculo son Chaco, Formosa, Salta, Jujuy, Tucumán, Santiago del Estero y Córdoba, que representan casi la totalidad de la superficie del Parque Chaqueño y de la Selva Tucumano-Boliviana.

El carbono captado por cada región forestal depende de la superficie de la región y del incremento medio anual de materia seca por hectárea para cada tipo de bosque. En este trabajo se adoptaron valores de incremento en biomasa seca de 1 tn/ha.año para la región Parque Chaqueño lo que significa 0.5 tnC/ha.año es decir 1.833 tn CO₂ fijadas por hectárea por año. Para la Selva Tucumano Boliviana se adoptó un valor de 2.5 tn/ha.año que equivale a 4.582 tn de CO₂ por hectárea por año. Estos datos se aplican según los utilizados por la Universidad Nacional de La Plata para el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 1997 (UNLP).

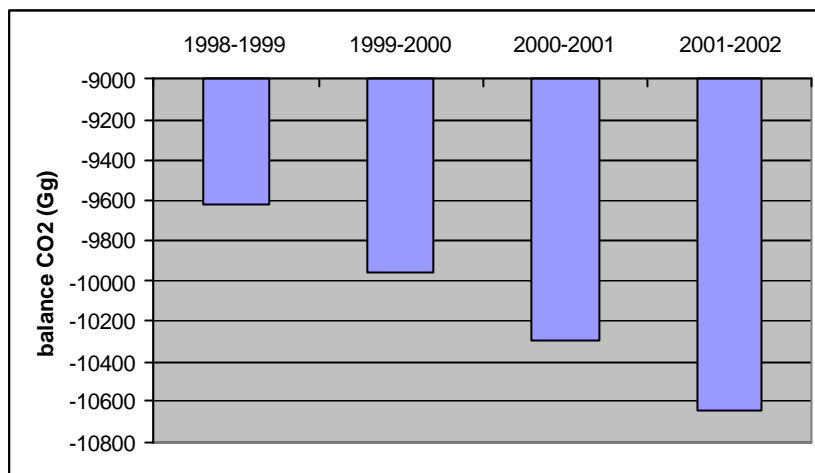
TABLA 9. BALANCE DE CO₂ EN Gg PARA PARQUE CHAQUEÑO Y YUNGAS (PERÍODO 1998 -1999)

	Parque Chaqueño	Selva Tucumano Boliviana
Emisión	-49.175	-5.191
Captación	+39.556	+16.943
Balance	-9.619	+11.752

1 Gg = 10⁹ gr

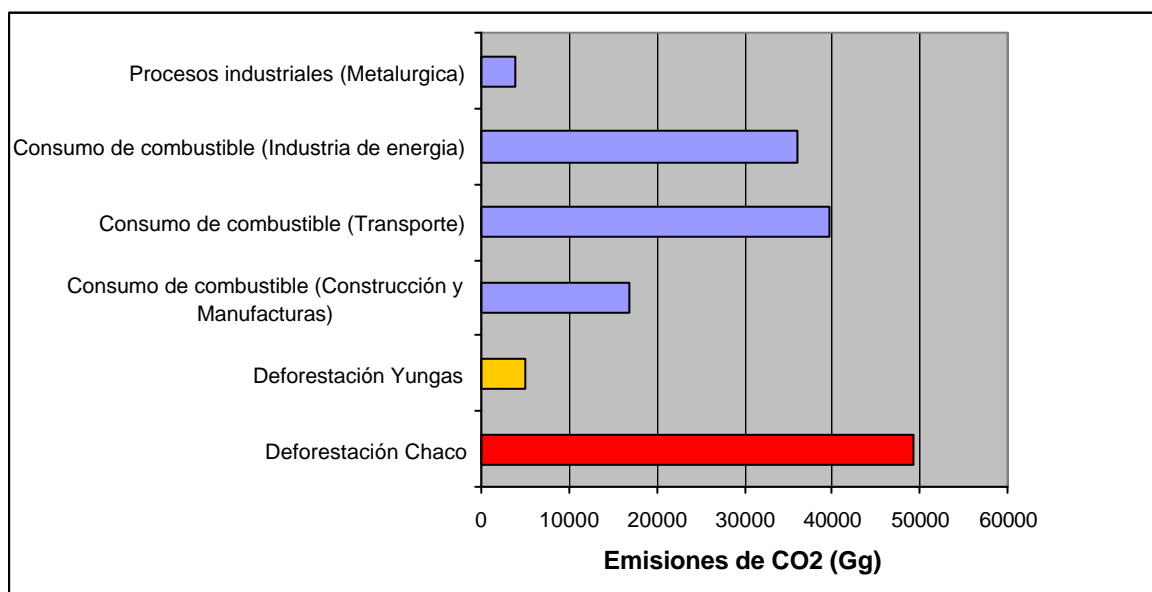
En la Figura 7 se presenta la evolución del balance de CO₂ de la región Parque Chaqueño para las provincias antes mencionadas contemplando el descuento de la superficie deforestada en cada año. El balance neto de CO₂ es cada vez más negativo debido a la reducción anual de la superficie de captación a causa de la deforestación, que se considera constante durante el período 1998-2002.

FIGURA 7. EVOLUCIÓN DEL BALANCE DE CO₂ DE LA REGIÓN PARQUE CHAQUEÑO PARA LAS PROVINCIAS CON DATOS DE DEFORESTACIÓN (Fuente UMSEF).



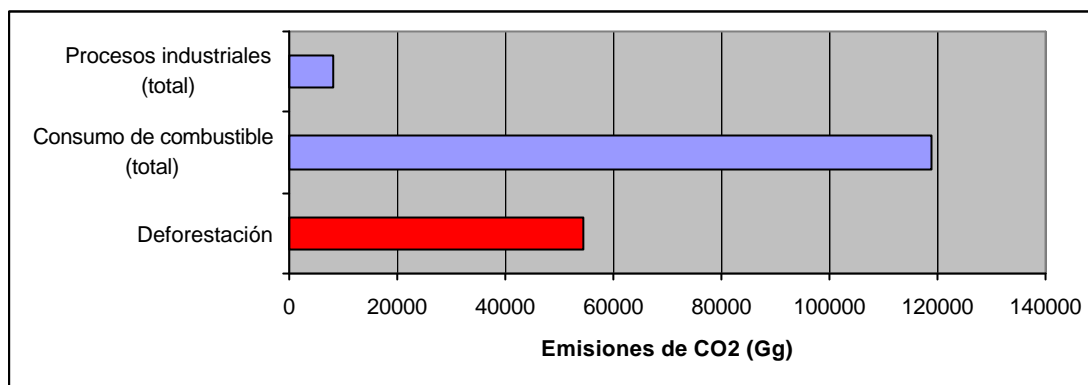
Por otra parte, en la Figura 8 se presenta la emisión anual de CO₂ a la atmósfera por deforestación comparado con otras emisiones de la Argentina para el año 1997 (Fuente: Inventario Gases Efecto Invernadero Argentina). Confrontando las figuras 7 y 8, se puede observar que la emisión de CO₂ por deforestación del Parque Chaqueño en el período 1998-1999 supera a las emisiones del año 1997 por consumo de combustible fósiles del sector de transporte de todo el país.

FIGURA 8. EMISIONES DE CO₂ EN ARGENTINA PARA DISTINTAS FUENTES DE EMISIÓN DURANTE 1997. (Fuente: Inventario Gases Efecto Invernadero Argentina) COMPARADOS CON LA DEFORESTACIÓN (Fuente UMSEF)



A su vez, en la Figura 9 se puede comparar el total de emisiones por deforestación con el total de emisiones por consumo de combustible y procesos industriales de Argentina durante el año 1997.

FIGURA 9. EMISIONES DE CO₂ EN ARGENTINA DURANTE EL AÑO 1997 (Fuente: Inventario Gases Efecto Invernadero Argentina) COMPARADOS CON LA DEFORESTACIÓN (Fuente UMSEF)



La estimación de la emisión de CO₂ a la atmósfera por deforestación en las provincias contempladas en este trabajo es de 54.366 Gg. A modo de comparación, se puede mencionar que Bolivia reportó por transformación de bosques y pastizales en el año 1990 una emisión de 49.645 Gg que declinó en el año 1994 a 32.988 Gg. Por su parte, Chile para el año 1990 y la misma fuente reportó una emisión de 20.823 Gg de CO₂.

8. Discusión

Este trabajo constituye una primera aproximación para la obtención de valores relacionados con la estructura de bosque a nivel nacional que son muy importantes para la formulación de políticas y la evaluación de la situación de los bosques nativos.

Es necesario señalar que existen algunas limitaciones metodológicas relacionadas con las bases de datos utilizadas que pueden afectar la precisión de las estimaciones. Tanto la metodología como las bases de datos se refieren solamente a tierras consideradas como "bosque", quedando las superficies cubiertas por otro tipo de cobertura vegetal fuera de los cálculos. Dentro de las formaciones no consideradas se encuentran aquellas que poseen muy escasa cobertura arbórea o son simplemente arbustales (*Otras Tierras Forestales* según la clasificación utilizada en "Cartografía y Superficie de Bosque Nativo de Argentina" (UMSEF, 2002)) cuyo aporte al volumen, biomasa o contenido de carbono por unidad de superficie puede ser bajo por unidad de superficie, pero que al proyectarlos a las superficies totales serían significativos ya que este tipo de vegetación corresponde a más de 60 millones de hectáreas en todo el país.

Los datos para los cálculos de valores promedio por región fueron utilizados sin ningún tipo de estratificación por tipos forestales y en algunos casos pueden presentar deficiencias en cuanto a la cobertura geográfica de la región y a la captación de estructuras forestales particulares. Por otra parte, los coeficientes utilizados para el cálculo de las distintas clases de biomasa y de contenido de carbono son generalizaciones a nivel mundial y es esperable

que al aplicarlos en los bosques de Argentina los resultados no sean exactos. Un ejemplo de ello es el coeficiente de contenido de carbono en la biomasa vegetal para los Bosques Andino Patagónico: el utilizado para este trabajo es de 50% y según otros estudios, localizados en los bosques andino patagónicos chilenos, debería ser de 44 % (Gayoso et al., 2002).

Consideramos que el principal aporte de este trabajo es el de dimensionar de manera general las magnitudes de disponibilidad del recurso y biomasa en los bosques nativos de Argentina para posteriormente avanzar en estimaciones más ajustadas que se podrían obtener mediante tres líneas de trabajo generales:

- A) Obtención de estimadores más precisos por región como consecuencia de mayor intensidad de muestreo, redefinición de la cobertura geográfica del muestreo, estratificación por tipos de estructura forestal dentro de cada región y mejor cobertura geográfica del muestreo.
- B) Aplicación de técnicas de teledetección para la estimación de biomasa por unidad de superficie de los distintos ecosistemas forestales.
- C) Calibración de los coeficientes de transformación de distintos compartimientos de biomasa para las diferentes regiones.

Por otra parte, la estimación de emisión de CO₂ a causa de la deforestación en Parque Chaqueño esta indicando que la deforestación, más allá de la superficie de bosque transformada y la pérdida de ambientes naturales, es un problema concreto y de magnitudes importantes en cuanto a la emisión de CO₂ para el país que requiere mayor atención y futuros esfuerzos para ajustar las estimaciones.

Glosario

Volumen bruto: volumen con corteza de todos los árboles de más de 10 cm de dap (FRA 2005).

Biomasa: suma total de la materia orgánica viva que se encuentra en un ecosistema en un momento determinado y se expresa en términos de peso seco, masa o volumen (Parde, 1980).

Biomasa por encima del suelo: Toda la biomasa viva por encima del suelo incluyendo el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, semillas y hojas.

Biomasa por debajo del suelo: Toda la biomasa viva de las raíces. Las raíces pequeñas de menos de 2 mm de diámetro están excluidas porque a menudo no pueden distinguirse de manera empírica, de la materia orgánica del suelo u hojarasca.

Biomasa de la madera muerta: Toda la biomasa leñosa muerta que no forma parte de la hojarasca, ya sea en pie y sobre el suelo.

Carbono en la biomasa por encima del suelo: contenido de carbono en toda la biomasa viva por encima del suelo, incluyendo el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, las semillas y hojas.

Carbono en la biomasa por debajo del suelo: contenido de carbono en toda la biomasa viva de las raíces vivas. Las raíces pequeñas de un diámetro inferior a 2 mm quedan excluidas, porque a menudo no pueden ser distinguidas de manera empírica, de la materia orgánica del suelo o la hojarasca.

Carbono en la biomasa de la madera muerta: contenido de carbono en toda la biomasa leñosa muerta en pie y sobre el suelo que no forma parte de la hojarasca.

Carbono en la hojarasca: contenido de carbono en toda la biomasa muerta con un diámetro inferior al diámetro mínimo elegido (10 cm) para medir la madera muerta, en varios estados de descomposición por encima de suelo mineral u orgánico. Incluye la capa húmica.

Carbono en el suelo: contenido de carbono orgánico en los suelos minerales y orgánicos (incluye la turba) a una profundidad de 30 cm.

Abreviaturas

UMSEF	Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal
SAyDS	Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable
FAO	Organización de Alimentos y Agricultura
FRA 2005	Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales Año 2005
CAC	Consortio Argentino - Canadiense
BAP	Bosque Andino Patagónico
SM	Selva Misionera
STB	Selva Tucumano Boliviana
PCHQ	Parque Chaqueño
UPM	Unidad Primaria de Muestreo
IPCC	Panel Internacional de Cambio Climático
LULUCF	Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Forestación

Bibliografía

Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. FAO Forestry Paper – 134.

Dauber, E.; J. Teran y R. Guzman. 2002. Estimación de Carbono y Biomasa en Bosques naturales de Bolivia. Revista Forestal Iberoamericana 1: 1-10.

FAO, 2004. Términos y Definiciones de la Actualización de la Evaluación de los Recursos Forestales a 2005, FRA 2005.

Gayoso J., Guerra J. y D. Alarcón. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas, Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF D9811076.

INTI – CITEMA (Instituto Nacional de Tecnología Industrial - Centro de Investigaciones Tecnológicas de la Madera) Listado de densidades secas de maderas, disponible en Internet: http://www.inti.gov.ar/citema/densidad_cientifico.pdf .

IPCC Good Practice Guidance for LULUCF. 2004. Directrices para la Elaboración de los Informes Nacionales destinados al FRA 2005. Anexo 5, tablas 3A.1.8, 3.2.2, 3.2.1 y 3.2.4.

Lencinas, M. V., Martínez Pastur, G. y J. Cellini. 2002. Incorporación de la altura dominante y la clase de sitio a ecuaciones estándar de volumen para *Nothofagus antarctica* (Forster f.) Oersted. Bosque (Valdivia). vol.23, no.2, p.5-17. ISSN 0717-9200.

Parde, J. 1980. Forest Biomass. Forestry Products Abstract. Review article. Commonwealth Forestry Bureau. 3(8):165-184.

Presidencia de la Nación Argentina, octubre de 2003. *Argentina, Objetivos de Desarrollo del Milenio, La oportunidad para su reencuentro*. Sistema de las Naciones Unidas en la Argentina.

Richter, L.L., M.D. Barrera y J.L. Frangi. 2004. Biomasa y mineralomasa de bosques maduros de *Nothofagus spp.* en Tierra del Fuego, Argentina. XXI Reunión Argentina de Ecología. Mendoza 2004.

SAyDS (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable), 2004. Bases para una agenda ambiental Nacional. Política Ambiental sostenible para el crecimiento y la equidad.

Teller, A., 1988. Biomass, productivity and wood waste evaluation in a Spruce (*Picea abies*) forest (Strinchmps 983). Commonwealth Forestry Review, 7(2):129-148.

UMSEF. 2002. Cartografía y Superficie de Bosque Nativo de Argentina. Dirección de Bosques - SAyDS.

UNLP (Universidad Nacional de La Plata). Documento inédito utilizado para las estimaciones en el inventario de gases de efecto invernadero de Argentina.

Yrjö Svola. 1975. Cubicación de árboles en el inventario forestal del noroeste argentino. Documento de trabajo N°20. FAO:DP/ ARG/70/536. Salta, Argentina.

Agradecimientos

Héctor Ricardo Grau – Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de las Yungas
Univ. Nac. de Tucumán (LIEY-UNT)

Lic. Mariana Burghi – Productos Forestales No Madereros – Dirección de Bosques, SAyDS

Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino-Patagónico (CIEFAP)

Dirección de Bosques de Tierra del Fuego

Y especialmente al Ing. Agr. Pablo Laclau, por sus valiosos comentarios