

## **ESTIMACION DE DENSIDAD DE BIOMASA AEREA EN ECOSISTEMAS NATURALES DE LA PROVINCIA DE SALTA**

**Silvina Manrique<sup>1</sup>, Judith Franco<sup>2</sup>, Virgilio Núñez<sup>3</sup> y Lucas Seghezzo<sup>2</sup>**

Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO); Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo (IRNED), Facultad de Ciencias Naturales.

Consejo de Investigaciones de la UNSa. (CIUNSa).

Universidad Nacional de Salta. Avda. Bolivia 5150, A 4408 FVY Salta, Argentina

Tel.: 0387-4255533 – E-mail: [silmagda@unsa.edu.ar](mailto:silmagda@unsa.edu.ar)

### **RESUMEN**

Se estimó la biomasa aérea leñosa en tres ambientes de la provincia de Salta: Chaco, Selva y Monte (Arbustales). Se aplicaron dos métodos no destructivos: factores de expansión y ecuaciones alométricas generales. Se utilizaron datos provenientes de dos fuentes: inventario forestal realizado en la provincia (1975) y los de un muestreo de campo. En las tendencias generales ambos métodos se muestran coherentes entre sí, siendo la biomasa menor en sitios de arbustales y mayor en la selva del municipio en estudio (Coronel Moldes). El primer método, permite una aproximación rápida al potencial de cada zona, si se dispone de un inventario forestal previo, y el segundo precisa aún más los resultados. Las estimaciones fueron comparadas con referencias internacionales para ambientes similares. Los datos obtenidos permitirán proyectar el secuestro de carbono que realiza cada ambiente y contribuir al armado de una base de datos científicamente elaborada, útil para fines diversos.

**PALABRAS CLAVE:** biomasa aérea, densidad biomasa, métodos no destructivos, ecuaciones alométricas, inventarios forestales, factores de expansión, secuestro de carbono.

### **1. INTRODUCCION**

#### **Importancia de la biomasa**

La biomasa representa la cantidad total de materia orgánica vegetal viva - almacenada en las porciones aéreas y subterráneas del ecosistema - por unidad de área en un momento dado, expresada en g/m<sup>2</sup> o t/ha (Brown y Lugo, 1984; Clark et al., 2001). Incluye follaje, ramas, troncos y raíces, pero excluye la hojarasca y la materia orgánica en descomposición (Haase y Haase, 1995). Generalmente, se hace la distinción entre biomasa aérea y subterránea, tanto en aspectos conceptuales como metodológicos (Salas e Infante, 2006).

Northup et al. (2005) y Brown (1997) mencionan que la biomasa es útil para describir cuantitativamente los ecosistemas e indicar los recursos vivos orgánicos disponibles, así como la estructura y condición forestal. Uri et al. (2007) y Cobb et al. (2008) indican que la biomasa sirve para cuantificar la cantidad de nutrientes y dilucidar el ciclo de los mismos en los ecosistemas. Ryan y Openshaw (1991) usan la información de biomasa para determinar la fijación de energía en ecosistemas forestales y Zhao y Zhou (2005) la utilizan para cuantificar el incremento en la productividad de los bosques. Por su parte, Kueh y Lim (1999) realizan una comparación de atributos estructurales y funcionales de los ecosistemas forestales a través de un amplio rango de condiciones ambientales a partir de la biomasa; mientras que Mani y Parthasarathy (2007) estudian la biomasa para la determinación del régimen del fuego. El estudio de la biomasa como una fuente de energía alternativa, también es importante en diferentes sitios del mundo (Yokoyama et al., 2000; Krajnc y Domac, 2007).

Mayor énfasis cobra el estudio de la biomasa en el marco del cambio climático global y la preocupación por el medio ambiente (Phillips et al., 1998; Mani y Parthasarathy, 2007; Bryan et al., 2008). Por un lado, se refuerza y multiplica el interés como fuente de energía renovable y como sustituta parcial de los combustibles fósiles que generan grandes cantidades de emisiones contaminantes (Houghton y Goodale, 2004). La energía de biomasa es considerada de baja tecnología y disponible a nivel local y regional (Haberl y Geissler, 2000; Dalton et al., 2009) y es una fuente de energía neutra en emisiones de carbono en la medida en que haya una continua reposición del recurso, ya que el carbono liberado por el uso de la biomasa fue capturado previamente por la misma (Borjesson, 1996; Yokoyama et al., 2000; Nagel, 2000). Además, tiene un bajo contenido de sulfuros y puede ser convertida a electricidad, calor, combustibles líquidos, sólidos y gaseosos (Ahl, 2000; Ilavsky y Oravec, 2000; Schneider et al., 2001), y su uso como combustible podría reducir las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> en 1000 millones de toneladas anuales para el 2020 si se empleara para suplir el 15% de la demanda eléctrica de los países industrializados (WWF, 2004).

Por otro lado, los ecosistemas boscosos juegan un gran papel en el balance de carbono global al ser importantes reservorios de carbono (Dixon et al., 1994; Iverson et al., 1994). La estimación de biomasa provee información del pool de carbono en la vegetación de los bosques ya que cerca del 50% de la misma es carbón (IPCC, 1996). Consecuentemente, la biomasa representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberada a la atmósfera como CO<sub>2</sub> cuando el bosque sea clareado o

<sup>1</sup> Becaria Doctoral del CONICET.

<sup>2</sup> Investigador Adjunto CONICET.

<sup>3</sup> Director Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo.

quemado (Hiratzuka et al., 2005; Lufafa et al., 2008) sin desconocer que el contenido del mismo varía entre sitios, entre especies, y aún entre secciones de un mismo individuo (Elías y Potvin, 2003; Kyrby y Potvin, 2007), y que el factor de 0.5 resulta en muchos casos una sobre o sub-estimación de la verdadera capacidad de fijación de carbono (Álvarez et al., 2005).

En el caso de Argentina, la extensa superficie de bosques (más de 33 millones ha de bosques nativos y casi 61 millones ha de otros paisajes forestales) podría contribuir en gran medida a la mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, principalmente al actuar como enormes sumideros de carbono, cuyo potencial aún es poco conocido (Gasparri y Manghi, 2004). El manejo planificado y racional de los bosques permitiría obtener beneficios adicionales al mantener el flujo de bienes y servicios ecosistémicos derivados de los mismos, logrando un equilibrio entre necesidades humanas y cuidado del medio natural.

### **Cuantificación de la biomasa**

De todos los componentes de la biomasa, el mayor aporte al total de un sitio dado lo hace la fracción leñosa arbórea aérea, denominada *densidad de biomasa* y definida como la cantidad total de materia orgánica viva aérea presente en los árboles, incluyendo hojas, ramas, tronco principal y corteza, y medida como masa (tonelada de peso seco) por unidad de área (generalmente hectárea) (Brown, 1997). Por tanto, muchos autores se abocan principalmente a su determinación, considerando la categoría  $\geq 10$  cm de diámetro a la altura de pecho<sup>4</sup> (DAP) (Termikaelian y Korzukhin, 1997; Antolín Giraldo et al., 2000; Pande, 2005; Komiyama et al., 2008) y empleando dos grupos de metodologías: i) *directas o destructivas* e ii) *indirectas o no destructivas*. La elección de cualquiera de ellas dependerá en cada caso del objetivo propuesto; de los recursos disponibles; del nivel de precisión requerido, entre otros aspectos (Castro et al., 1996).

La aplicación de *metodologías destructivas* muchas veces resulta prohibitivamente costoso en tiempo y recursos, por lo cual se restringe a estudios locales y sobre especies particulares (Rivera y Chaidez, 2004; Peichl y Arain, 2006; Uri et al., 2007). La biomasa en peso seco de una especie se estima a partir de un proceso destructivo sobre un número relativamente reducido de muestras. Con ellas se establece una función predictiva que relacione un parámetro característico de la estructura del vegetal con la biomasa (Hierro et al., 2000). Resulta muy útil disponer de funciones adecuadas que permitan el cálculo de la biomasa sin necesidad de realizar en cada ocasión el proceso completo (Montero y Montagnini, 2005).

Por otra parte, las *metodologías no destructivas* son menos demandantes en tiempo de ejecución y recursos económicos, ya que no implican la colecta del material para su secado, y en ciertos casos resultan suficientes (Rosillo-Calle, 2006; Van Laar y Akca, 2007). Se basan en realizar estimaciones y cálculos a partir de datos estructurales obtenidos sobre un determinado bosque o ecosistema. Estos datos pueden provenir de un muestreo local con un número de parcelas estimadas como representativas de las condiciones particulares de un sitio, o de inventarios forestales realizados a nivel regional o nacional. Ejemplos de estas estimaciones para bosques de Brasil, Europa y China se encuentran en Brown y Lugo (1992), Kauppi et al. (1992), Fang y Wang (2001) y Zhao y Zhou (2005).

Pueden aplicarse dos aproximaciones metodológicas no destructivas: 1) factores de expansión de biomasa (FEB) y 2) ecuaciones alométricas (EA). La primera aproximación utiliza mediciones de volúmenes existentes que son convertidos a densidad de biomasa (t/ha) usando una variedad de herramientas, entre las que se incluyen los denominados FEB, que son relaciones de la biomasa del fuste con la biomasa total (Brown et al., 1999). La segunda aproximación se basa en el uso de EA, que son relaciones matemáticas para estimar una variable (volumen o biomasa) con base en una o más variables independientes (diámetro, altura, área basal, diámetro de copa, entre otros). El uso de ecuaciones alométricas basado en variables relativamente fáciles de medir tales como el diámetro, permite el cálculo de la biomasa de una especie de una manera no destructiva y extrapolable a situaciones de crecimiento similares (Montero y Montagnini, 2005). Sin embargo, no existen funciones para todas las especies de árboles ni registros en los inventarios de todas las especies que viven en los bosques. Por otra parte, estas ecuaciones son sólo válidas dentro del rango de diámetros de tallo cubiertos en el muestreo (Haase y Haase, 1995). También es posible que las relaciones alométricas dependan de una estructura vegetal determinada y debe investigarse si las ecuaciones pueden aplicarse a otros bosques con estructuras diferentes (Chave et al., 2003; Hiratzuka et al., 2005).

Cabe destacar que en ambos casos, los métodos no destructivos solamente permiten estimar la densidad de biomasa, pero no así otros componentes presentes en el ecosistema de estudio (herbáceas, arbustivas, raíces, lianas, entre otros) (Martínez Yrizar et al., 1992). Estos componentes deben sumar a la densidad de biomasa estimada, cuando interesa, por ejemplo, realizar un inventario de carbono, precisando el aporte que ese bosque puede realizar en el secuestro de carbono global (Segura y Kanninen, 2002; Manrique et al., 2009).

En el presente estudio, las dos aproximaciones no destructivas mencionadas (FEB y EA) fueron aplicadas simultáneamente para estimar la densidad de biomasa y obtener resultados comparables en tres diferentes ecosistemas de la provincia de Salta (representados en el municipio de Coronel Moldes). Los resultados fueron cotejados asimismo con datos de otras estimaciones internacionales para bosques de zonas climáticas similares. Por último, el método de EA fue analizado en forma particular, observando comparativamente las ecuaciones alométricas empleadas.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Área de estudio**

El municipio de Coronel Moldes, departamento La Viña, provincia de Salta, es uno de los trece municipios que pertenecen al Valle de Lerma, en el cual se enclava la capital de dicha provincia. Tiene una superficie de 84.000 ha. La altitud varía entre

<sup>4</sup> Por convención, se mide a 1.3 metros desde el suelo.

1.100-1.200 m.s.n.m. El clima es templado serrano, con una fuerte concentración de las precipitaciones entre diciembre y marzo. La temperatura media es de 17,9 °C (FUNIF, 1997; Cutuk y Piacentini, 2004).

El área se estudió a partir de imágenes satelitales Landsat 5, cartografía disponible (Núñez et al., 2007), relevamiento de campo y literatura de la zona. A partir de clasificaciones no supervisadas y supervisadas de las bandas de las imágenes Landsat se estratificó la zona y se estimaron las superficies ocupadas por cada uno de los ambientes mayormente representados en el municipio:

- **Chaco serrano y transición (Chaco):** Correspondiente a la provincia fitogeográfica de Chaco (Cabrera, 1994). Los bosques son principalmente caducifolios xerófilos. La precipitación media anual es de 500 mm. En el municipio, ocupa aproximadamente 40.000 ha.
- **Bosque subhúmedo o selva (Selva):** corresponde a la provincia fitogeográfica de las Yungas (Cabrera, 1994), bosque subtropical de montaña, con tipos forestales heterogéneos asociados a diferencias climáticas altitudinales (Gasparri y Manghi, 2004). Facetas del ambiente chaqueño serrano aparecen entremezcladas (Brown y Malizia, 2004). La precipitación media anual varía desde los 600 a 1000 mm. La superficie representada en el municipio ronda las 2.540 ha.
- **Arbustales y matorrales (Arbustal).** Fitogeográficamente se incluye dentro de la región de Chaco y se define como una zona cubierta por arbustos con árboles aislados o pastizales en manchones, donde la altura de los arbustos raramente supera los 5 metros (SAyDS, 2004). Las precipitaciones rondan los 500 mm anuales. En el municipio de estudio ocupa aproximadamente 6.950 ha.

## 2.2. Diseño del muestreo

Se realizó un muestreo estadístico estratificado aleatorio limitado por variables de accesibilidad, propiedad de la tierra y situaciones puntuales de terreno (quemadas, prácticas humanas, etc.). El tamaño total de la muestra se definió en base a un pre-muestreo con un nivel de confianza del 90% y un error fijado de 20% (probabilidad de riesgo) (Van Laar y Akca, 2007). Se trabajó con unidades rectangulares de 100 m<sup>2</sup> (20 m × 5 m). La superficie total muestreada fue de 6400 m<sup>2</sup> (64 parcelas) distribuida de la siguiente manera: 2600 m<sup>2</sup> en Chaco; 2300 m<sup>2</sup> en Selva y 1500 m<sup>2</sup> en Arbustales. Para la determinación del número de muestras, se optó por un valor medio obtenido a partir de los coeficientes de variación para cada una de las dos ecuaciones definidas por ambiente. La categoría de muestreo fue la **biomasa aérea leñosa**, con DAP ≥ 10 cm. Se midieron las siguientes variables estructurales: DAP (cm) (o diámetro a la base cuando no fue posible el DAP), altura total (m), altura de fuste (m). Se confeccionó un herbario para identificación de especies en laboratorio, cuando no fue posible su reconocimiento a campo.

## 2.3. Estimación de biomasa aérea

### • Método 1: Inventarios forestales y FEB.

La fuente de datos utilizada fue el Inventario Forestal del Noroeste Argentino (Sevola, 1975), único disponible para la zona. A partir de los datos de DAP y altura de fuste de cada individuo registrado en las parcelas, se obtuvo el volumen de fuste (VF) a partir de las tablas de volumen por especie del Inventario Forestal. Cuando no existían datos para una especie determinada, se optó por utilizar las tablas de especies similares en cuanto a hábitat y patrones de crecimiento. Para el sitio arbustales se recurrió a tablas de volumen de especies del ambiente chaqueño. El volumen de fuste promedio (en m<sup>3</sup>/ha) calculado por ambiente, se convirtió en biomasa total de fuste (BF, en t/ha), multiplicando los VF por los valores promedio de densidad básica<sup>5</sup> (DB en t/m<sup>3</sup>) de las especies presentes en cada ambiente. Los valores de densidad se obtuvieron de la base de datos de INTI- CITEMA (2007). Se trabajó con un valor promedio de 0.766 t/m<sup>3</sup> para chaco, 0.745 t/m<sup>3</sup> para selva y 0.695 t/m<sup>3</sup> para arbustal.

Posteriormente, se utilizó un factor de expansión de biomasa (FEB) para convertir la BF en Biomasa Aérea Total (BAT), que Brown y Lugo (1992) ajustaron en base a datos de bosques tropicales del mundo con un n = 56 (r = 0.76). Este FEB adopta diferentes valores en función de BF hallada por sitio: *para BF ≥ 190 t/ha = 1,74* y *para BF <190 t/ha = FEB = e<sup>(3.213 - 0.506 × ln BF)</sup>*. Cuanto menor es la BF mayor es el FEB, por lo cual adquieren mayor participación los otros compartimentos de la biomasa aérea como son ramas y hojas (Brown et al. 1999). La BAT (t/ha) se calcula finalmente como el producto entre VF, DB y FEB.

### • Método 2: Ecuaciones alométricas

Dado que no existen ecuaciones alométricas específicas para cada una de las especies registradas, se aplicaron dos ecuaciones *generales* por ambiente, obtenidas para ecosistemas de características similares (Tabla 1). Las ecuaciones para *chaco* y *selva* contemplan diferentes variables. Interesó evaluar si la incorporación de mayor cantidad de variables en los cálculos, introducían cambios importantes en los resultados que justificaran el esfuerzo de conocerlas. Para *arbustales* interesó aproximar ecuaciones sencillas que pudieran evaluar este sitio, que posee una configuración particular, con gran parte de los individuos de tipo plurifustales.

	Autor	Nº	Ecuación (ec)	Variables
Chaco	Brown (1997)	(1)	$Y = \exp\{-1.996 + 2.32 \times \ln(D)\}$	D= DAP (cm)
	Chave et al. (2005)	(2)	$Y = 0.112 \times (\rho \cdot D^2 \cdot H)^{0.916}$	ρ= densidad básica (g/cm <sup>3</sup> ) D=DAP (cm) H=altura total (m)

<sup>5</sup> Peso seco sobre volumen verde.

Selva	Brown et al. (1989)	(3)	$Y = 34.4703 - 8.0671(D) + 0.6589(D^2)$	D= DAP (cm)
	Brown et al. (1989)	(4)	$Y = \exp\{-2.4090 + 0.9522 \ln(D^2 HS)\}$	D= DAP (cm) H=altura total (m) S=densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )
Arbustales	Martínez Yrizar et al. (1992)	(5)	$Y = 10^{\{-0.535 + 0.9996(\log 10(AB))\}}$	AB= área basal (cm <sup>2</sup> )
	Zhou et al. (2007)	(6)	$MT = 0.1368 (D^2 \times H)^{0.7559}$	D= DAP (cm) H=altura hasta la primera rama de 2,5 cm (m)

Tabla 1. Ecuaciones alométricas utilizadas para estimar densidad de biomasa (BAT). En todos los casos Y=biomasa árbol (kg), con excepción de ec.6, donde MT= biomasa del fuste del árbol (kg).

La ec. 1 fue obtenida a partir de datos de un bosque seco de la India ( $r^2=0.89$ ) y es mencionada para sitios con 900 mm de precipitación media anual. La ec. 2, fue hallada a partir de datos de inventarios de bosques tropicales secos de América, Asia y Oceanía. La ecuación 3, con ( $n=32$  y  $r^2=0.67$ ) es aconsejada para bosques secos, que en los trópicos abarca sitios con precipitación media anual de hasta 2000 mm y en los subtropicos, hasta 1000 mm (Holdridge, 1947). La segunda ecuación de Brown et al. (1989)(ec.4) (a partir de  $n=94$  y con  $r^2=0.99$ ) ha sido utilizado por Dauber et al. (2002) para Bolivia en ambientes similares. La ec.5, obtenida para bosques secos de México (Chamela), se aconseja para lugares con precipitación media anual menor a 900 mm por año. Esta ecuación se empleó para arbustales, similar a Pece et al. (2000) para La María, en Santiago del Estero; Gaillard de Benítez et al. (2000), en dos sitios del parque chaqueño seco y zonas degradadas; Bonino (2006) en el chaco árido y zonas degradadas. La ec.6, fue desarrollada para una especie plurifustal –el olivo ruso o *Elaeagnus angustifolia*- cuya morfología y hábitat de crecimiento se asemeja a la de las especies mayoritariamente encontradas en los arbustales. Dichos autores consideran (similar a Parra Valdés, 2001; Hierro et al., 2000) que la biomasa del fuste representa el 30-40% de la biomasa total del árbol y las ramas y demás componentes entre 50-68%. Por tanto, se obtuvo la biomasa del fuste y se multiplicó por un coeficiente de 0.6 para estimar la biomasa total.

#### 2.4. Análisis de los datos

Los datos fueron analizados estadísticamente con el software SPSS<sup>TM</sup> ver 15.0. Se expresaron medidas de tendencia central y de dispersión para cada método. Para el análisis de las ecuaciones del método 2 se aplicaron test no paramétricos (test de Mann-Whitney) para un nivel de significancia de 0.05 y pruebas de dos colas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Densidad de Biomasa Aérea: Método 1

Los datos de volumen medio de fuste hallados para Chaco (Tabla 2) son similares a los mencionados por Gasparri y Manghi (2004), mientras que se reportan valores 1.6 veces superior en el caso de Selva (sin datos de referencia para el caso de los Arbustales). Los mismos autores mencionan 98,8 t/ha de BAT para Chaco y 172,87 t/ha para Selva. Las principales diferencias en el caso de Selva, quizás procedan de la escala de trabajo, ya que los autores mencionados estimaron la biomasa a nivel de bosques de Yungas sin discriminación de distritos o sub-ambientes (definidos por gradientes de humedad, temperatura y altitud), mientras que en el muestreo realizado en esta investigación se abarcó sólo el piso inferior de las Yungas. En el caso del Chaco, sin embargo, no se observan prácticamente diferencias, a pesar de que dichos autores consideraron el ambiente en su totalidad.

Densidad de biomasa en t/ha					
	Volumen medio fuste	Densidad básica promedio	Biomasa fuste	Factor de expansión	Biomasa aérea total
	(VF)	(DB)	(BF)	(FEB)	(BAT)
	(m <sup>3</sup> /ha)	(t/m <sup>3</sup> )	(t/ha)	Ad.	(t/ha)
Chaco	23,78	0,766	18,21	5,75	<b>104,79 ± 28,99</b>
Selva	48,82	0,745	36,37	4,05	<b>147,49 ± 51,45</b>
Arbustales	3,05	0,695	2,11	16,94	<b>31,93 ± 30,35</b>

Tabla 2. Densidad de biomasa aérea leñosa (BAT) (media y desvío estándar). Método 1.

En la aplicación de este método, una de las variables que influye más fuertemente en el resultado final es la densidad básica. Sería interesante explorar el margen de error que introduce este término en la ecuación. Con respecto a los FEB, para los estudios de bosques tropicales, se señalan valores de 1,52 a 4,92 (Dauber et al., 2002), indicando que el FEB declina desde bajos volúmenes de fuste a altos volúmenes de fuste (Brown et al., 1999). Para los altos valores de FEB hallados en el presente, se conoce que los volúmenes son bajos con respecto a bosques tropicales primarios del mundo, aunque similares a lo descrito por Dauber et al. (2002).

### Densidad de Biomasa Aérea: Método 2

Los resultados de este método reiteran la tendencia observada en el método 1: la BAT es mayor en Selva, seguida por Chaco y luego, como podría suponerse, por la zona de Arbustales (Tabla 3). Comparativamente, la inferioridad en los valores encontrados con este método, para todos los ambientes, podría estar señalando que el método FEB sobrestima la biomasa o aún que el método EA, la subestima. Sin embargo, otros reportes (Brown et al., 1989) han mencionado la menor precisión del método FEB y su adecuación para estimar biomasa sobre grandes áreas (Fang y Wang, 2001), determinado en función de los datos disponibles. Sólo en el caso de Selva, los valores tienden a aproximarse entre el método 1 y el 2, considerando la EA que incorpora la variable *altura*. En el caso de Arbustales, la mayor parte de los individuos presentes en las parcelas

pertenecía a la categoría no estudiada (< 10 cm DAP), por lo que quizás las estimaciones no resulten representativas del total de biomasa de este sitio, y de ahí los bajos valores. Este aspecto debería ser cuantificado en estudios futuros.

Ambiente	Densidad de biomasa (t/ha)		
	Nº ecuación	N	Media y D.E.
Chaco	1	26	58,56 ±26,36
	2	26	54,52 ±25,20
Selva	3	23	82,15 ± 42,32
	4	23	130,15 ± 81,15
Arbustales	5	20	8,41 ± 8,72
	6	20	7,68 ± 8,53

Tabla 3. Densidad de BAT (media y desvío estándar). Método 2.

### Comparación con otras estimaciones

Otros trabajos en zonas similares permiten comparar (Tabla 4 y 5) los resultados obtenidos en cada caso. La BAT estimada para *Chaco* en este trabajo mediante EA se localiza en una posición cercana al límite inferior considerado (44,17 t/ha en Puerto Rico); mientras que casi alcanza el límite superior referido para ambientes similares (126 t/ha en México) si se toma en cuenta la estimación del método FEB. El rango de estimaciones, posiblemente pueda estar refiriendo a diferentes condiciones estructurales de los sitios (Martínez Yrizar et al., 1992); nivel de degradación y de aridez (Bonino, 2006); condiciones particulares locales (Robledo et al., 2001; Jaramillo et al., 2003; Zerger et al., 2009); entre otras.

CHACO		
Autor	BAT (t/ha)	Sitio de estudio
Murphy y Lugo (1986)	44,17	Puerto Rico-Guanica
Bonino (2006)	50,99	Argentina-Santiago del Estero
Brown (1997)	78,00	Venezuela
Gasparri et al. (2008)	80,30	Argentina
Martínez Yrizar et al. (1992)	85,00	México-Chamela
Gasparri y Manghi (2004)	98,80	Argentina
Dauber et al. (2002)	97 a 114	Bolivia- Chiquitanía y Transición
Jaramillo et al. (2003)	70	México-Chamela

Tabla 4. Algunos valores de BAT reportados en la literatura en ambientes similares a la región de Chaco.

Cálculos anteriores a partir de ecuaciones alométricas y para bosques de Argentina (Gasparri et al., 2008) mencionan valores que son 1.5 veces superiores a los obtenidos en esta investigación. Si bien la EA empleada es diferente de las utilizadas en el presente.

En cuanto a *Selva* (Tabla 5), los resultados de diferentes investigaciones muestran un rango de BAT entre 83 t/ha a 232 t/ha. Gasparri et al. (2008) mencionan uno de los mayores valores para este ambiente (205,7 t/ha) razonablemente explicado por la abundante vegetación de los pisos altitudinales de las Yungas que no fueron estudiados en este trabajo, y que seguramente implican un gran aporte al total. Por otra parte, a la escala en que se evaluó este ambiente, quizás se perciban con mayor facilidad influencias por calidad de sitio y nivel de perturbación humana y/o animal (Lufafa et al., 2008; Castro y Freitas, 2009; Villagra et al., 2009), sumado a la fisonomía que muestra facetas ecotonaes (yungas y chaco serrano) (Brown y Malizia, 2004).

SELVA		
Autor	BAT (t/ha)	Sitio de estudio
Kueh y Lim (1999)	83- 232	Malasia- Reserva Air Hitam
Dauber et al. (2002)	86- 191	Bolivia- Preandino amazónico y Amazonia
Masera et al. (1997)	135	México- Costa del Pacífico
Brown (1997)	145	Guyana- Wallaba
Gasparri y Manghi (2004)	173	Argentina
Hernández (2001)	197	Venezuela- Cuenca Río Caura
Gasparri et al. (2008)	206	Argentina

Tabla 5. Valores de BAT reportados en la literatura en ambientes similares a la región de Selva de Yungas.

Kueh y Lim (1999), en un estudio de la reserva de Air Hitam, mencionan que los menores valores de biomasa hallados se corresponden con zonas que se encuentran en estadios sucesionales tempranos, generalmente por causas de disturbios humanos o naturales, y cuentan con mayor porcentaje de especies pioneras. Los sitios maduros, bien establecidos o recuperados, muestran mayores DAP y área basal y, por tanto, mayores valores de biomasa, siendo la composición específica también diferente. Particularidades climáticas y de sitio podrían explicar el resto de las diferencias en BAT (Delitti et al., 2006; Sochacki et al., 2007; Cobb et al., 2008) y aún la topografía (Castilho et al., 2006).

Con respecto a los *Arbustales*, existen pocos estudios específicos, lo que concuerda con la apreciación de Brown (1997) y Murphy y Lugo (1986). Castro y Freitas (2009) mencionan comunidades arbustivas en Montado (Portugal) con valores desde 2-12 t/ha, en estadios sucesionales tempranos. Dichos autores mencionan que se reportaron mayores cuantías para

ecosistemas arbustivos mediterráneos (21.9- 46 t/ha) (Ehleringer y Mooney, 1983, cit. en Castro y Freitas, 2009). Martínez Yrizar et al. (1992) mencionan un estudio realizado en India (Vyas et al., 1977), donde se citan 28.2 t/ha, en condiciones climáticas semiáridas y comunidades afectadas por influencia humana. Por su parte, Bonino (2006) estimó BAT en el chaco seco, y encontró un valor de 16,75 t/ha considerando los renovales, aplicando también la ecuación de Martínez Yrizar et al. (1992). Las investigaciones mencionadas encuadran el valor promedio encontrado en el presente trabajo. Según Brown et al. (1989) la BAT varía según la región geográfica, zona de vida, tipo y estructura del bosque y grado de disturbio. Algunos o todos estos factores podrían explicar parte de las diferencias observadas. Sin embargo, sería interesante explorar con mayor profundidad este ambiente, ya que los ecosistemas arbustivos también realizan un aporte importante de secuestro de carbono. Lufafa et al. (2008) mencionan que la presencia de un dosel arbustivo (estudiados en sitios de Senegal) muestra una relación mucho más estrecha con los niveles de carbono del suelo que la que guardan los árboles. Muñoz et al. (2008) encontraron que la cobertura vegetal de *Acacia caven* (una arbustiva muy representada en el municipio) afecta la distribución y contenido de carbono de las fracciones de carbono orgánico de suelos, decreciendo ambos parámetros en los ecosistemas más degradados, especialmente para las fracciones de carbono orgánico más lábiles.

#### Análisis de las ecuaciones empleadas

Pocos estudios comparan diferentes ecuaciones en un mismo lugar (Araujo et al., 1999; Álvarez, 2001). Los análisis estadísticos muestran que no existen diferencias significativas entre las estimaciones obtenidas con las ecuaciones 1 y 2 en el Chaco, ( $U=284$ ;  $P=0.323$ ). Tampoco existen diferencias significativas para el arbustal ( $U=101.5$ ;  $P=0.64$ ). En el caso de Selva al contrario ( $U=172$  y  $P=0.042$ ) el test estadístico señala diferencias significativas. La dispersión de los datos para cada una de las ecuaciones trabajadas se observa en la Fig. 1.

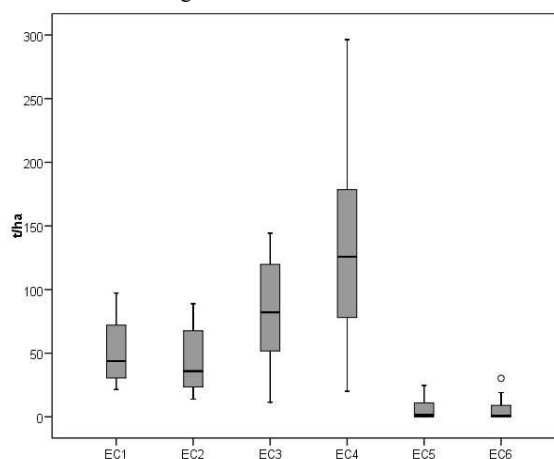


Fig. 1. Densidad de biomasa (t/ha) para cada ecuación empleada.

En el caso de Chaco, podría resultar suficiente realizar las estimaciones de BAT con la ec.1, que sólo incorpora el DAP como variable (Brown, 1997; Dauber et al., 2002), implicando un menor esfuerzo de muestreo. En cuanto a Selva, la ecuación de Brown et al. (1989) que incorpora términos de altura y densidad básica, aumenta el valor obtenido por la ecuación que sólo emplea el DAP (Brown et al., 1989) en 1.6 veces, siendo una diferencia estadísticamente significativa. Por tanto, la ec.4 podría lograr mejores resultados en este sitio. Por otra parte, esta ecuación es notablemente sensible a la variación de altura. Cuando se encuentran árboles por debajo del promedio en altura, los resultados que entrega esta ecuación son muy similares a la ec.3 y aún inferiores- resultados no mostrados-. Idénticos resultados se obtienen en un análisis de sensibilidad para las ecuaciones aplicadas en chaco: se observa la alta influencia de las alturas en el total, cuya incorporación actúa como un factor de ajuste a la estructura de la zona, disminuyendo la BAT estimada, quizás porque el promedio de alturas es bajo (las alturas máximas alcanzan los 8 m); mientras que en Selva (donde los árboles alcanzan los 20 metros) la incorporación de este dato en las ecuaciones, eleva la estimación de BAT. En esta observación, siempre que sea posible, se recomienda el empleo de ecuaciones con la mayor cantidad de variables posibles, en cualquier tipo de ambiente.

Para Arbustales, es curioso observar que ambas estimaciones se aproximan, si bien en un caso se obtuvo la biomasa total, y en el otro se obtuvo la biomasa de fuste y se adicionó un 60% de ramas y fustes secundarios. Sin embargo, la categoría no muestreada, es la que podría tener mayor relevancia en este sitio (observaciones de campo). Como resultado preliminar, ambas ecuaciones podrían ser utilizadas en este ecosistema.

#### CONCLUSIONES

Los dos métodos empleados para estimar la densidad de biomasa muestran idénticas tendencias: la región más húmeda (selva) muestra una mayor BAT, que disminuye hacia las regiones más serranas y secas del chaco, y finalmente a valores inferiores en zonas modificadas de arbustales y matorrales. El método a partir de datos de inventarios forestales (FEB) permite realizar una rápida aproximación al potencial de biomasa acumulada en grandes zonas, cubriendo la población de interés de forma representativa (ya que los inventarios forestales se diseñan de esta manera). Sin embargo, debe considerarse que la densidad básica juega un papel fundamental en estos cálculos, sobre o sub-dimensionando los resultados cuando los datos son escasos y deben estimarse promedios locales.

La estimación de BAT a partir de ecuaciones alométricas, requiere conocer la estructura horizontal y vertical del ecosistema, arrojando resultados más precisos cuando se incorpora un mayor número de variables a la ecuación. Sin embargo, esto implica mayores esfuerzos de terreno. Coincidentemente con lo planteado por otros autores, se recomienda este método cuando se trata de estimaciones en superficies menores. Por otra parte, la comparación de ecuaciones alométricas permite observar que para algunos casos, una sola variable podría resultar suficiente. Particularmente, en el caso del arbustal, mayores investigaciones son necesarias para lograr un mayor conocimiento del área.

El estrato leñoso aéreo, es el principal reservorio de biomasa del ecosistema, por lo que su estudio y cuantificación pone a disposición un importante elemento de manejo, principalmente en el marco del cambio climático global y aplicación de políticas de desarrollo forestal sostenible.

#### ABSTRACT

Three environment of the province of Salta: chaco, selva y monte, was studied about the woody aboveground biomass. Two not destructive methods were applied: expansion factor and general allometric equations. Two sources of information was utilized: forest inventory realized in the province (1975) and those of a field sampling. Both methods are consistent with each other: lower biomass in monte and higher biomass in selva of the municipality in study (Coronel Moldes). If exist a forest previous inventory, the first method allows a rapid approximation to the biomass potential of every zone, and the second method specifies better the results. The estimations were compared with international references to similar environments. The obtained information will allow to plan the carbon sequestration that realizes every environment and to contribute to scientific elaborated database, useful to diverse purposes.

**KEYWORDS: aboveground biomass, biomass density, non-destructiv method, allometric equations, forest inventory, biomass expansion factor, carbon sequestration.**

#### AGRADECIMIENTOS

Este estudio de desarrolló en el marco de los proyectos 1345 y 1643 del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa), y de una beca doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Se agradece especialmente a Dra. Sandra Brown, Dra. Milena Segura, y Dra. Angelina Martínez-Yrizar por los invaluables aportes, sugerencias, información y comentarios, para la realización de este trabajo. Al Dr. Andrés Tálamo, por sus observaciones estadísticas. A la Cátedra de Botánica Sistemática. A la Municipalidad de Coronel Moldes. A los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Salta, que colaboraron en las tareas de campo.

#### REFERENCIAS

- AHL, C. 2000. Biomass energy in a small-scale region of a developed country. The case of the district of Goettingen. *Ecological Engineering* 16, S63–S67.
- ALVAREZ, A. et al. 2005. El papel de los coeficientes de carbono de la madera en la certificación del efecto sumidero de los bosques cubanos. Taller por el Desarrollo Forestal Sostenible. La Habana, Cuba.
- ALVAREZ, E. 2001. Comparación de ecuaciones para la estimación de biomasa de árboles, palmas y lianas en un bosque inundable de la Amazonia Colombiana. Simposio Internacional de Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile.
- ANTOLIN GIRALDO, G.; L. GONZALEZ FALCONES; S. DIEZ CASTILLA y R. LOPEZ ALONSO. 2000. Evaluación del potencial de aprovechamiento energético de la biomasa de Castilla y León. CARTIF. España.
- ARAUJO, T.M.; HIGUCHI, N.; CARVALHO JUNIOR, J.A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of ParaÁ, Brazil. *Forest Ecology and Management* 117, 43-52.
- BONINO, E.E. 2006. Changes in carbon pools associated with land-use gradient in the Dry Chaco, Argentina. *Forest ecology and mangement* 223: 183-189.
- BORJESSON, P.I.I. 1996. Energy Analysis Of Biomass Production And Transportation. *Biomass and Bioenergy* 11, 4: 305-318.
- BROWN, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. FAO Montes 134. Roma, Italia. 55 p.
- BROWN, S. y A.E. LUGO. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17(1):8-27.
- BROWN, S. y A.E. LUGO. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. *Science* 223:1290-1293.
- BROWN, S.; GILLESPIE, A.J.R. Y A.E. LUGO. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4):381-902.
- BROWN, S.L.; SCHROEDER, P.; KERN, J.S. 1999. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management* 123:81-90.
- BROWN, D. A. Y MALIZIA, L. R. 2004. Las Selvas Pedemontanas de las Yungas. En el umbral de la extinción. *Revista: Ciencia hoy: Volumen 14 N° 83*.
- BRYAN, B.A.; J. WARD & T. HOBBS. 2008. An assessment of the economic and environmental potential of biomass production in an agricultural region. *Land Use Policy* 25 (2008), 553-549.
- CABRERA, A. 1994. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Primera reimpression. Tomo II. Fasc. I. Editorial ACME S.A.C.I. Buenos Aires. 84 p.
- CASTILHO, C.V.; MAGNUSSON, W.E.; ARAUJO, R.N.; LUIZAO, R.R.; LUIZAO, F.J.; LIMA, A.P. Y N. HIGUCHI. 2006. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian Forest: Effects of soil and topography. *Forest Ecology and Management* 234, 85–96.
- CASTRO, H. Y H. FREITAS. 2009. Above-ground biomass and productivity in the Montado: From herbaceous to shrub dominated communities. *Journal of Arid Environments* (2009), doi:10.1016/j.jaridenv.2008.12.009.
- CASTRO, I.; CASADO, M.A.; RAMIREZ-SANZ, L.; DE MIGUE, J.M.; COSTA, M. Y F. DIAZ PINEDA. 1996. Funciones de estimación de la biomasa aérea de varias especies del matorral mediterráneo del centro de la península Ibérica. *Orsis* 11, 107-116.
- CHAVE, J. et al. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145: 87–99.
- CHAVE, J., CONDIT, R., LAO, S., CASPERSEN, J.P., FOSTER, R.B., HUBBELL, S.P., 2003. Spatial and temporal variation in biomass of a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal of Ecology* 91, 240–252.

- CLARK, D.A.; BROWN, S.; KICKLIGHTER, D.W.; CHAMBERS, J.Q.; THOMLINSON, J.R. Y J.NI. 2001. Measuring Net Primary Production In Forests: Concepts And Field Methods. *Ecological Applications*, 11(2), pp. 356–370.
- COBB, W.R.; WILL, R.E.; DANIELS, R.F. Y M.A. JACOBSON. 2008. Aboveground biomass and nitrogen in four short-rotation woody crop species growing with different water and nutrient availabilities. *Forest Ecology and Management* 255, 4032–4039.
- CUTUK, R. y F. PIACENTINI. 2004. Diagnóstico y Plan de Acción del Municipio de Coronel Moldes. Agosto de 2004. 83 p.
- DALTON, G.J.; LOCKINGTON, D.A. Y T.E. BALDOCK. 2009. Feasibility analysis of renewable energy supply options for a grid-connected large hotel. *Renewable Energy* 34, 955–964.
- DAUBER, E.; J. TERAN Y R. GUZMAN. 2002. Estimación de Carbono y Biomasa en Bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana* 1: 1-10.
- DELITTI, W.B.C.; MEGURO, M. Y J.G. PAUSAS. 2006. Biomass and mineralmass estimates in a cerrado ecosystem. *Revista Brasil. Bot.*, V.29, n.4, p.531-540.
- DIXON, R.K.; BROWN, S.; HOUGHTON, T.A.; SOLOMON, A.M.; TREXLER, M.C.; WISNIEWSKI, J. 1994. Carbon pool and flux of global forest ecosystems. *Science* 263, 185–190.
- ELIAS, M. Y C. POTVIN. 2003. Assessing inter- and intra-specific variation in trunk carbon concentration for 32 neotropical tree species. *Can J For Res* 33:1039–1045.
- FANG, J.Y. Y Z.M. WAN. 2001. Forest biomass estimation at regional and global levels, with special reference to China's forest biomass. *Ecological Research* 16, 587–592.
- FUNIF. 1997. Proyecto: diseño de instrumentos para una política productiva para la provincia de Salta. Fundación para la Integración Federal. Funif. Salta. Argentina.
- GAILLARD DE BENITEZ, C.; PECE, M.; JUAREZ DE GALINDEZ, M.; MALDONADO, A.; ACOSTA, V.H. Y A. GOMEZ. 2002. Aerial biomass of individuals of Quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) in two towns of the Dry Chaco Park. *Quebracho* 9: 115-127.
- GASPARRI, I Y MANGHI, E. 2004. Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono de las regiones forestales argentinas. Informe Final. Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Ministerio de Salud y Ambiente. 26 p.
- GASPARRI, N.I.; GRAU, H.R. Y E. MANGHI. 2008. Carbon Pools and Emissions from Deforestation in Extra-Tropical Forests of Northern Argentina Between 1900 and 2005. *Ecosystems* 11: 1247–1261.
- HAASE, R. Y P. HAASE. 1995. Above ground biomass estimates for invasive trees and shrubs in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Forest Ecology and Management* 73, 29-35.
- HABERL, H. Y S. GEISSLER. 2000. Cascade utilization of biomass: strategies for a more efficient use of a scarce resource. *Ecological Engineering* 16, S111–S121.
- HERNANDEZ, L. 2001. Densidad de biomasa aérea en bosques extensos del Neotrópico húmedo. Caso de la Cuenca del Río Caura, Venezuela- *Revista Forestal Iberoamericana* Vol. 1 N° 1.
- HIERRO, J.L.; BRANCH, L.C.; VILLARREAL, D. Y K.L. CLARK. 2000. Predictive equations for biomass and fuel characteristics of Argentine shrubs. *J. Range Manage.* 53:617–621.
- HIRATSUKA, M.; TOMA, T.; MINDAWATI, N.; HERIANSYAH, I. Y Y. MORIKAWA. 2005. Biomass of a man-made forest of timber tree species in the humid tropics of West Java, Indonesia. *J For Res*, 10:487–491.
- HOLDRIDGE, L. R. 1947. Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data. *Science* Vol 105 No. 2727: 367-368.
- HOUGHTON, R.A. y GOODALE, C.L., 2004. Effects of land-use change on the carbon balance of terrestrial ecosystems. In: DeFries, R., Asner, G., Houghton, R.A. (Eds.), *Ecosystems and Land Use Change*. American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 85–98.
- ILAVSKY, J. Y M. ORAVEC. 2000. Utilization of biomass in Slovakia. *Ecological Engineering* 16, S83–S89.
- INTI-CITEMA. 2007. Listado de densidades secas de maderas. Buenos Aires (Argentina): INTI. [http://www.inti.gov.ar/citema/densidad\\_cientifico.pdf](http://www.inti.gov.ar/citema/densidad_cientifico.pdf).
- IPCC. 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change. Report of the twelfth session of the intergovernmental panel on climate change. Reference manual and workbook of the IPCC 1996 revised guidelines for national greenhouse gas inventories. Mexico City, 11 D 13 september 1996.
- IVERSON, L.R.; BROWN, S.; PRASAD, A.; MITASOVA, H.; GILLESPIE, A.I. Y A. LUGO. 1994. Use of GIS for estimating potential and actual forest biomass for continental Routh and southeast Asia. In: Effects of land use change on atmospheric CO2 concentration. South and Southeast Asia as a case Study. Dale, V.H. ed. Springer-Verlag. United States of America.
- JARAMILLO, V.J.; KAUFFMAN, J.B.; RENTERIA-RODRIGUEZ, L.; CUMMINGS, D.L. Y L.J. ELLINGSON. 2003. Biomass, Carbon, and Nitrogen Pools in Mexican Tropical Dry Forest Landscapes. *Ecosystems*, 6: 609–629.
- KAUPPI, P.; MIELIKAINEN, K.; KUUSELA, K. 1992. Biomass and carbon budget of European Forest, 1971 to 1990. *Science* 256:70-71.
- KOMIYAMA, A.; EONG ONG, J. Y S. POUNGPARN. 2008. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany* 89, 128–137.
- KRAJNC, N. Y J. DOMAC. 2007. How to model different socio-economic and environmental aspects of biomass utilisation: Case study in selected regions in Slovenia and Croatia. *Energy Policy* 35, 6010–6020.
- KUEH, R. J. H. Y M. T. LIM. 1999. Forest biomass estimation in Air Hitam Forest Reserve. <http://www.geocities.com/EnchantedForest/Palace/1170/biomass.html>.
- KYRBY, K.R. Y C. POTVIN. 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management* 246, 208–221.
- LUFABA, A.; DIEDHIOU, I.; SAMBA, S.A.N.; SENE, M.; KHOUMA, M.; KIZITO, F.; DICK, R.P.; DOSSA, E. Y J.S. NOLLER. 2008. Carbon stocks and patterns in native shrub communities of senegals peanut basin. *Geoderma* 146, 75-82.
- MANI, S. y N. PARTHASARATHY. 2007. Above-ground biomass estimation in ten tropical dry evergreen forest sites of peninsular India. *Biomass and bioenergy* 31: 284-290.
- MANRIQUE, S.; FRANCO, J.; NUÑEZ, V. Y L. SEGHEZZO. 2009. Stock de biomasa y carbono en una zona del chaco occidental en el municipio de Coronel Moldes, La Viña, Salta. Aceptado para su inclusión en la Revista AVERMA y presentación oral en la XXXII Reunión de Trabajo de Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente y XVIII Reunión de la Sección Argentina de la Asociación Internacional para la Educación en Energía Solar.
- MARTINEZ-YRIZAR, A.; SARUKHAN, J.; PEREZ-JIMENEZ, J.; RINCON, E.; MAASS, J.M.; SOLIS-MAGALLANES, A. Y L. CERVANTES. 1992. Above-ground phytomass of a tropical deciduous forest on the coast of Jalisco, México. *Journal of Tropical Ecology* 8, 87-96.
- MASERA, O.R.; M.J. ORDONEZ Y R. DIRZO. 1997. Carbon Emissions From Mexican Forests: Current Situation And Long-Term Scenarios. *Climatic Change* 35: 265–295, 1997.
- MONTERO, M. Y F. MONTAGNINI. 2005. Modelos alométricos para la estimación de biomasa en diez especies nativas en la región Atlántica de Costa Rica. IN: *Recursos Naturales y Ambiente* n°45: 112-119. CATIE.
- MUÑOZ, C. ; C.M. MONREAL; M. SCHNITZER; E. ZAGAL. 2008. Influence of *Acacia* caven (Mol) coverage on carbon distribution and its chemical composition in soil organic carbon fractions in a Mediterranean-type climate region. *Geoderma* 144, 352–360.



- MURPHY, P. Y LUGO, A.E. 1986. Structure and biomass of a subtropical dry forest in Puerto Rico. *Biotropica* 18: 89-96.
- NAGEL, J. 2000. Biomass in energy supply, especially in the state of Brandenburg, Germany. *Ecological Engineering* 16, S103–S110.
- NORTHUP, B.K.; S.F. ZITZERB, S. ARCHERC, C.R. MCMURTRYC, T.W. BOUTTON. 2005. Above-ground biomass and carbon and nitrogen content of woodspecies in a subtropical thornscrub parkland. *Journal of Arid Environments* 62, 23–43.
- NUÑEZ, V. et al. 2007. Cartografía digital generada en el marco del proyecto CIUNSA 1345: Pautas para el ordenamiento territorial del Valle de Lerma. Parte II. Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Salta. UNSA.
- PANDE, P.K. 2005. Biomass and productivity in some disturbed tropical dry deciduous teak forests of Satpura plateau, Madhya Pradesh. *Tropical Ecology* 46(2): 229–239.
- PARRA VALDES, G.C. 2001. Funciones de biomasa total y por componente del espino (*Acacia caven* Mol.) en Pencahue, VII Región. Tesis de grado en Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Talca, Chile.
- PECE, M.G.; BENÍTEZ, C.; GALÍNDEZ, M. Y MACOSTA. 2000. Comparación de las estimaciones de biomasa por hectárea, obtenidas por diferentes métodos en bosque nativo del Parque Chaqueño Semiárido. Cátedra de Estadística Forestal FCF-UNSE.
- PEICHL, M. Y M.A. ARAIN. 2006. Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 140, 51–63.
- PHILLIPS, OL; MALHI, Y; HIGUCHI, N; LAURANCE, WF; NU.EZ, PV; V.SQUEZ RM; LAURANCE, SG; FERRERIA, LV; STERN, M; BROWN, S; GRACE, J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forest: evidence from long-term plots. *Science* 282: 439-442.
- RIVERA, C.M. Y J.J.N. CHAIDEZ. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., en Veracruz, México. *Madera y Bosques* 10(2), 29-43.
- ROBLEDO, A.; RIOS, S. Y E. CORREAL. 2001. Influencia Del Grado De Aprovechamiento Sobre La Estimación De Biomasa En Cinco Poblaciones De *Rosmarinus Officinalis* L. <http://www.carm.es/cagr/cida/pastos/Docs/Documentacion/PDF/Biomasa.PDF>
- ROSILLO-CALLE, F. 2006. Biomass energy: an overview. In: Heinloth, K. Ed. 2006. *Energy Technologies*. Subvolumen 3C Renewable energy. Group VIII: Advanced Materials and Technologies. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. Printed in Germany. P. 334-373.
- RYAN, P. y K. OPENSHAW. 1991. Assessment of biomass energy resources: a discussion on its need and methodology. Industry and Energy Department Working Paper. Energy Series paper n° 48. The World Bank. Washington. 89 p.
- SALAS, J.R. Y A.C. INFANTE. 2006. Producción primaria neta aérea en algunos ecosistemas y estimaciones de biomasa en plantaciones. *Rev. For.Lat.* 40, 47-70.
- SAYDS. 2004. Atlas de los bosques nativos argentinos. Buenos aires (Argentina). Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable. P243.
- SCHNEIDER, L.C., KINZIG, A.P.; LARSON, E.D. Y L.A. SOLÓRZANO. 2001. Method for spatially explicit calculations of potential biomass yields and assessment of land availability for biomass energy production in Northeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 84, 207–226.
- SEGURA, M. Y M. KANINNEN. 2002. Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. (202-212) In: Orozco L., Brumér C. Eds. *Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central*. Serie Técnica, Manual Técnico No. 50. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 264 p.
- SOCHACKI, S.J.; HARPER, R.J. Y K.R.J. SMETTEM. 2007. Estimation of woody biomass production from a short-rotation bio-energy system in semi-arid Australia. *Biomass and Bioenergy* 31 (2007) 608–616.
- SEVOLA, Y. 1975. Cubicación de árboles en el inventario forestal del noroeste argentino. Documento de trabajo N°20. FAO:DP/ARG/70/536. Salta, Argentina.