

BIOMASA Y STOCK DE CARBONO EN LA RESERVA DE CAMPO ALEGRE, LA CALDERA, PROVINCIA DE SALTA

S. Ontiveros¹, S. Manrique², J. Franco³, R. Díaz, N. Barranco.

Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta (UNSa) – Avda. Bolivia 5150, A 4408 FVY Salta, Argentina. Tel.: 0387-4255533 – E-mail:

silvinaontiveros@yahoo.com.ar

Recibido 16/09/15, aceptado 15/10/15

RESUMEN: En un bosque secundario de la Reserva Privada Campo Alegre, provincia de Salta, en zona de transición entre dos regiones naturales: Yungas y Chaco, se estimó la biomasa aérea leñosa, subterránea y stock de carbono. Se zonificó la Reserva en bosque de galería, bosque de filo, zona incendiada y zona no incendiada, y se realizó un muestreo al azar estratificado (n: 36). Interesó comparar el stock de carbono de los distintos sitios y su contribución al conjunto de la Reserva. Se emplearon distintos modelos alométricos construidos en ecosistemas similares al área de estudio. Se realizó un ANOVA y test de Tukey; encontrándose diferencias significativas en algunos sitios con respecto a otros. El stock total de carbono de la biomasa (aérea y subterránea) del ecosistema estudiado fue de *63,25 t C/ha*. Esta información contribuirá al determinar el potencial de mitigación de estos bosques secundarios frente al Cambio Climático Global (CCG).

INTRODUCCIÓN

La biomasa es una unidad de medida de la productividad de un ecosistema, del potencial energético y de la contribución de los bosques en el ciclo del carbono (FAO, 2012). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) ha incluido la biomasa vegetal como esencial variable climática necesaria para mejorar la predicción y mitigación del CCG y sus impactos en las sociedades humanas (Conti, 2013). Por ello estimar las reservas de biomasa de los bosques es una herramienta útil para valorar la cantidad de carbono que se almacena en las estructuras vivas en un momento dado, lo cual es importante para evaluar su contribución al ciclo de carbono (Vázquez y Arellano, 2012); la abundancia de combustibles en un bosque, los efectos de los tratamientos aplicados a la cobertura forestal y la productividad del sitio en forma de madera y forraje, entre otros (Návar et al., 2013).

Los ecosistemas forestales ejercen influencias sobre el clima mediante el intercambio de carbono, energía e intercambio de agua (IPCC, 2001) y pueden ser empleados para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Dixon et al., 1994; Houghton, 2005) y contribuir potencialmente a la mitigación del CCG. Se reconoce a la deforestación como el segundo mayor foco emisor de GEI, después de los combustibles fósiles (FAO, 2010); se estima que el 18% de las emisiones provienen de la deforestación (Stern, 2007). Los dos principales mecanismos para mitigar el CCG consisten en la reducción de la fuente de emisión o el aumento del secuestro de carbono en los sistemas terrestres (FAO, 2007). La conservación y el manejo sostenido de estos bosques constituye una estrategia apropiada de mitigación del CCG, al mantener estas reservas de biomasa actuales se reducen las emisiones de GEI producto de la deforestación principalmente (Vázquez y Arellano, 2012).

En la medida en que la deforestación representa una fuente considerable de carbono a nivel de país (Gasparri et al., 2008), resulta fundamental generar mayor información sobre la potencialidad de mitigación de los bosques nativos nacionales y provinciales.

¹ Becaria doctoral del CONICET

² Investigadora Post-doctoral del CONICET.

³ Investigadora Adjunta del CONICET

El bosque nativo secundario estudiado en la Reserva, fue sometido a procesos de disturbios tales como pastoreo e incendios, procesos que incidieron en la dinámica de acumulación de carbono en su biomasa; por lo cual es necesario cuantificar las reservas de biomasa actual de estos bosques. Interesó estudiar este bosque por su cercanía a la ciudad de Salta y su importancia en la provisión de bienes y servicios ecosistémicos a la comunidad aledaña. La zona se corresponde con un ambiente de transición entre dos ecoregiones: Yungas y Chaco, encontrándose presentes los distritos de selva montana en bosques en galería y distrito de chaco serrano en bosques de filos y las laderas principalmente de exposición norte: sectores denominados como zona incendiada y no incendiada, en función de la afección por fuego sufrida. El objetivo del trabajo fue estimar biomasa aérea leñosa, biomasa subterránea y el almacenamiento de carbono en cada tipo de bosque, mediante la aplicación de diferentes modelos alométricos construidos en ecosistemas similares al área de estudio; de manera de determinar el potencial de mitigación al CCG de cada unidad de vegetación presente en la Reserva y su aporte al valor total para la misma. Las estimaciones de biomasa se realizaron aplicando dos ecuaciones alométricas por tipo de ambiente, consideradas más idóneas para cada uno de ellos, a fin de comparar los resultados obtenidos y finalmente seleccionar una ecuación para cada ambiente.

METODOLOGÍA

Área de Estudio

La Reserva Privada Campo Alegre, de propiedad de Club de Amigos de la Montaña de Salta, se encuentra en el Departamento de la Caldera, 26 km de la ciudad de Salta capital, sobre el faldeo occidental de las sierras subandinas que cierran el vaso del embalse Campo Alegre, por el este, entre las coordenadas 24°34' latitud sur y 65° 21' longitud oeste. Tiene una superficie de 100 ha, altitud máxima sobre la reserva de 1.700 m.s.n.m. El clima es subtropical montano con estación seca. La precipitación media anual es de 800 a 900 mm y la temperatura media anual es de 17°. Presenta suelos pocos desarrollados, con texturas pesadas con un 40% de arcilla en superficie que incrementa en profundidad (60%) y escaso desarrollo de un horizonte b (Neumann et al, 2009).

La vegetación actual del área corresponde a las Provincias Fitogeográficas de Yungas y Chaco (Cabrera, 1976), es una zona transicional entre dos ecoregiones, algunos autores (Digilio y Legname, 1966), identificaron esta transición en ambientes similares, en el cual se hallan algunas especies de Chaco entremezcladas con las especies del nivel inferior de Selva. En los bosques en galería (quebradas y desagües pluviales) la vegetación que predomina es de selva montana, mientras que en las laderas se encuentran los "pastizales serranos de baja montaña" (Neumann et al, 2009). En laderas solanas de exposición norte la vegetación que se dispone en forma de parches, es predominante de Chaco Serrano y según observaciones, en laderas umbrías de exposición sur, se observaron facetas de Yungas.

Los pastizales fueron sometidos a disturbios combinados de sobrepastoreo e incendios de pastizales periódicos en época invernal; no obstante los pastizales rizomatosos aún persisten. Los incendios de pastizales también limitaron la extensión de los bosques en galería (Neumann et al, 2009). En los filos de las montañas se encuentran bosques abiertos con pastizal húmedo (bosque de filo).

Diseño de Muestreo

La Reserva se estratificó, a partir de estudios previos en la zona (Ellenrieder, 2009a, 2009b comunicación privada) y recorridas de terreno, considerando en el ambiente de Yungas: *bosque en galería*; y en el ambiente de Chaco: bosque abierto con pastizal húmedo (*bosque de filo*), zona incendiada y zona no incendiada, estos dos últimos son sitios que pertenecen a la unidad de vegetación de *pastizal arbustal seco*, diferenciándose ambos por la afectación por fuego en años anteriores (Ellenrieder, 2015, 2014 comunicación privada). El diseño de muestreo fue aleatorio. Se emplearon parcelas rectangulares de 100 m² en las cuales se midieron árboles y arbustos (diámetro altura de pecho (DAP) \geq 10 cm), necromasa (muertos en pie y árboles caídos de cualquier diámetro). En subparcelas de 50 m² se midió regeneración (altura $>$ 50 cm y un diámetro de base \geq 5 cm y $<$ a 10 cm). No se midieron individuos con diámetro $<$ 5cm; debido a que este compartimento representa menos del 3% de la biomasa de un bosque maduro (Vaccaro et al., 2003). Además se estudiaron lianas (diámetro \geq 5 cm medido a 1,30 m del último enraizamiento según los criterios tomados de Schnitzer et al., 2008). Las variables estudiadas fueron: **i)** Composición florística; **ii)** Diámetro a altura de pecho en árboles y arbustos: mediante la medición de CAP y su posterior conversión a DAP. **iii)** En arbustos

plurifustales (multifustales), se midió el área de copa (AC) mediante la medición con cinta métrica de diámetro más largo de la copa (d_1) y el diámetro perpendicular a d_1 que se denominó d_2 , según lo establece Conti et al. (2013); **iv**) altura total de árboles y arbustos mediante método de vara y cinta métrica (necromasa y regeneración); **v**) calidad del árbol; considerando Calidad I (árbol sano, vigoroso), Calidad II (árbol deforme, bi o trifurcado), Calidad III (árbol enfermo o hueco), Calidad IV (árbol muerto en pie) y Calidad V (árbol caído).

Estimación de Biomasa

Dentro de la categoría de biomasa se incluyó la fracción aérea leñosa y subterránea. El desarrollo de ecuaciones alométricas es la metodología estándar para la estimación de la biomasa aérea leñosa (Návar et al., 2013; Chavé et al., 2005; Brown, 1997; Brown et al., 1989).

Para el presente trabajo, en ausencia de ecuaciones desarrolladas localmente, se seleccionaron ecuaciones alométricas citadas en la literatura, desarrolladas en bosques con similares condiciones edáficas, climáticas y/o ecosistemas al área de estudio (Tabla N°1). Considerando ecuaciones empíricas (no modelos teóricos), ya que las mismas desarrolladas *in situ* proporcionan la mejor bondad de ajuste ($r^2 = 0,88$ y $0,78$ y los cv de $40,6\%$ y $52,5\%$ en contraste con las ecuaciones convencionales desarrolladas *ex situ*) (Návar et al., 2013). Además se tuvo en cuenta estos modelos alométricos debido a que tienen en su estructura, las variables de densidad básica (ρ_w), altura (H), además del diámetro normal; que según manifiestan algunos autores (Conti et al., 2013), son los responsables de un alto porcentaje de la variación de la biomasa en los bosques tropicales. Para la comparación de resultados, en ambiente de Yungas se emplearon los modelos de Brown et al. (1989) para bosques tropicales y Chavé et al. (2005) para bosques húmedos tropicales mundiales. En ambientes de Chaco, se emplearon la ecuación de Chavé et al. (2005) para bosques secos tropicales mundiales y la ecuación de Návar et al. (2013) para bosques tropicales secos.

La ecuación de Brown et al. (1989), fue aplicada en la eco región de Yungas. La ecuación moderna de Návar et al. (2013): es decir la última ecuación de este autor, fue creada a partir de $n: 39$ en bosques tropicales secos de Sinaloa- México. Las ecuaciones generalistas mundiales de Chavé et al. (2005) para bosques húmedos tropicales y bosques secos tropicales, fueron aplicadas en bosques del sur y noroccidente de Colombia.

Para **Biomasa Aérea Leñosa (BAL)**: en árboles, arbustos y regeneración, en estos compartimentos se emplearon los modelos alométricos de: Brown et al. (1989), Chavé et al. (2005) y Návar et al. (2013), en Multifustales, se empleó el modelo de Conti et al. (2013) iii) y en lianas, se empleó el modelo de Gehring et al. (2004).

Estos modelos alométricos (con excepción del modelo de lianas, que solo emplea el DAP y el modelo para multifustales que emplea el AC en vez de DAP), utilizan las variables de DAP, altura total y densidad básica de la madera (gr/cm^3) (cociente entre el peso de la madera anhidra (0% de humedad) y el volumen en condiciones de campo, es decir en estado verde).

Se emplearon datos de densidad básica de la madera de las especies presentes en el área de estudio y de valores registrados en la literatura (Global Wood Density Database y Chavé et al., 2006). Para las especies que no se encontraron valores de densidad (*Schinus mirtifolium*, *Carica quercifolia* y *Senna spectabilis*), se usó el valor o promedio de la/s densidad/es del mismo género y para las especies que no se pudieron identificar (13 %) -en su mayoría necromasa- se usó el promedio de densidad de todos los individuos por parcela.

Para los individuos de calidad III, IV y V: los individuos enfermos, muertos en pie y árboles caídos, se aplicaron diferentes factores de descuento de biomasa, luego de realizadas estimaciones mediante ecuaciones alométricas: factores 0.9 (Calidad III), 0.8 (Calidad IV) y 0.7 (Calidad V) respectivamente.

Para **Biomasa Subterránea (BS)**, es común utilizar un porcentaje mínimo de la biomasa por encima del suelo. En este trabajo se consideró un 24% para bosques de Yungas y 27% para bosques de chaco, según antecedentes de trabajos realizados en los similares ecosistemas (Gasparri et al., 2004).

Ecosistema	Compartimento	Metodología	Autor
Yungas	Árboles, arbustos y regeneración	Modelo alométrico: $Y = \exp(-2.4090 + 0.9522 * \ln(D^2 * H * S))$	(Ec. 1) Brown et al. (1989)
		Modelo alométrico: $B = \exp(-2.977 + \ln(\pi(DAP^2) * H))$	(Ec. 2) Chavé et al. (2005) Bosques húmedos tropicales mundiales
	Lianas	Modelo alométrico: $\ln(\text{total biomass}) = -7.114 + 2.276 * \ln(\text{diameter})$	(Ec. 3) Gehring et al. (2004)
Chaco	Árboles, arbustos y regeneración	Modelo alométrico $B = \exp[-2,187 + 0,916 * \ln(\pi(DAP)^2 * H)]$	(Ec. 4) Chavé et al. (2005) Bosques secos tropicales mundiales
		Modelo alométrico $M = 0,08479 (pw^{0,55255} * D^{2,2435} * H^{0,4773})$	(Ec. 5) Návar et al. (2013)
Yungas y Chaco	Arbustos multifustales	Modelo alométrico: $\ln(AGB) = -17.55 + 1.22 * \ln(H) + 0.75 * \ln(CA) + 55,92 * WSG$	(Ec. 6) Conti et al. (2013)
Yungas	Raíces	24 % de BAL	(Método 7)
Chaco	Raíces	27 % de BAL	(Método 8)

Tabla N°1: Modelos alométricos y métodos empleados para la estimación de biomasa aérea leñosa (BAL) y subterránea (BS).

Convenciones: Ec: ecuación. Brown et al. (1989) y Chavé et al. (2005): Y-B: Biomasa aérea leñosa (kg), D^2 -DAP²: diámetro a la altura de pecho (1,30 m) (cm²), H: altura total (m), S- π : Densidad básica o gravedad específica aparente de la madera (gr/cm³). Gehring et al. (2004): Ln (total biomass): biomasa total de lianas (kg/m²), diameter: diámetro de liana (mm). Conti et al. (2013): H: altura total (cm), WSG: Densidad básica o peso específica aparente de la madera (kg/dm³), CA: área de la copa (cm²). CA= $\pi * (R_1 * R_2)$. R₁: radio del diámetro más largo de la corona (CD₁) (cm), R₂: radio del diámetro más corto de la corona (CD₂), perpendicular a CD₁ (cm). Ln: logaritmo neperiano. Ec. Návar et al. (2013): M: biomasa aérea leñosa (Kg), D: diámetro a la altura de pecho (1,30 m) (cm), H: altura del dosel (m).

La (Ec.1) creada a partir de n=94 y con R²=0.99, ha sido utilizada en bosques de Yungas, Argentina (Manrique et al., 2011; 2009). (Ec.2) es indicada para bosques húmedos tropicales mundiales con amplio rango de DAP (5-156 cm de diámetro), fue aplicada en bosques de Sur y Noroccidente de Colombia (Vázquez y Arellano, 2012). La (Ec.3) para especies mixtas, válida en un amplio rango de entornos y composiciones de especies, se recomienda para la estimación no destructiva de biomasa de lianas (R²: 0,73) y fue aplicada por su autor en los bosques tropicales y matorrales del amazonas (Gehring et al., 2004). (Ec.4) para bosques secos tropicales mundiales con un amplio rango de DAP (5-156 cm), fue aplicada en los mismo bosques de Colombia que la Ec. 2: en un amplio gradiente de precipitaciones (1000 a 3000 mm) y temperaturas (26-28 °C) (Vázques y Arellano, 2012). La (Ec.5) fue creada por Návar et al (2013) a partir de n:39, en los bosques secos de Sinaloa, México. (Ec.6) fue creada específicamente para arbustos plurifustales, con un R²: 0,88, ha sido aplicada por su autora en bosque chaqueño, Argentina (Conti et al., 2013). El (Mét.7 y 8) surge a partir de la correlación que existe entre la biomasa aérea y la ubicada bajo el suelo, raíces, hojarasca y necromasa (Mokany et al., 2006; Cairns et al., 1997); se estima típicamente que puede ser un 20% de la biomasa por encima del suelo (Gibbs et al., 2007). Sin embargo, MacDicken (1997) obtuvo un 15% de biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea en bosques de Chile. Valores mayores obtuvo Cairns et al. (1997) para distintos lugares del mundo, teniendo a razón de raíz/tallo entre 0.20 y 0.30, es decir un 20 a 30% de

biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea. En estudios realizados en las regiones de Argentina (Yungas, Chaco y Bosques Patagónicos) existen antecedentes (Gasparri et al, 2004), que emplearon en Yungas y Chaco un 24 % y 27 % de la biomasa aérea leñosa. Estos porcentajes derivan de estimaciones promedio para los tipos de bosque de todo el mundo provistos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (Good Practice Guidance for LULUCF); debido a que no existen coeficientes específicos para los bosques argentinos que relacionen biomasa por encima del suelo con otros compartimentos (Gasparri et al, 2004).

Almacenamiento de Carbono

El contenido de carbono en cada compartimento del ecosistema estudiado, se estimó como el 50% de la biomasa en cada compartimento, según lo establece la literatura (IPCC, 2007; IPCC 2003; Brown, 1997). Los valores obtenidos son expresados en t C/ha (toneladas de C por hectárea). El C total almacenado se calculó sumando el C en cada uno de los compartimientos estudiados del ecosistema.

Análisis de datos

Los datos fueron analizados estadísticamente por el software InfoStat (2015). Se expresaron medidas de tendencia central y desvío de las estimaciones de biomasa y stock de carbono en cada compartimento del ecosistema estudiado. Para determinar diferencias en las estimaciones de biomasa, entre ecuaciones, se realizó una prueba T Student para medias apareadas y luego para identificar diferencias en el contenido de biomasa aérea y subterránea entre unidades de vegetación se realizó un análisis de varianzas (ANOVA) seguido de un Test de Tukey con nivel de confianza del 95% y α : 0,05. Para aplicar el análisis de varianzas (ANOVA), se corroboró el cumplimiento de sus supuestos de normalidad, homogeneidad e independencia, y en la medida en que no se cumplía el de homogeneidad de varianzas, se transformaron los datos de biomasa (tn/ha) a \log_{10} para cumplir con el supuesto de homogeneidad de varianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron 21 especies en total en toda el área y en base a un criterio de dominancia de especies, se definieron para su estudio las siguientes unidades de vegetación; a) **bosque de *Scutia buxifolia*, *Sebastiania commersoniana* y *Sebastiania brasiliensis*** (Bosque en Galería), presenta un área basal de 2,70 m²/ha, una densidad de 800 individuos/ha; b)El **bosque de *Acacia caven* y *Vassobia breviflora*** (Bosque de Filo), tiene un área basal de 1,52 m²/ha, densidad: 867 individuos/ha; c) **Bosque de *Acacia caven* y *Sapium haematospermum*, (Pastizal Arbustal Seco) que corresponde a la i) zonas incendiada con un área basal de 0,51 m²/ha, densidad: 171 individuos/ha y ii) zona no incendiada, con un área basal: 0,22 m²/ha, densidad: 240 individuos/ha (Foto N°1).**

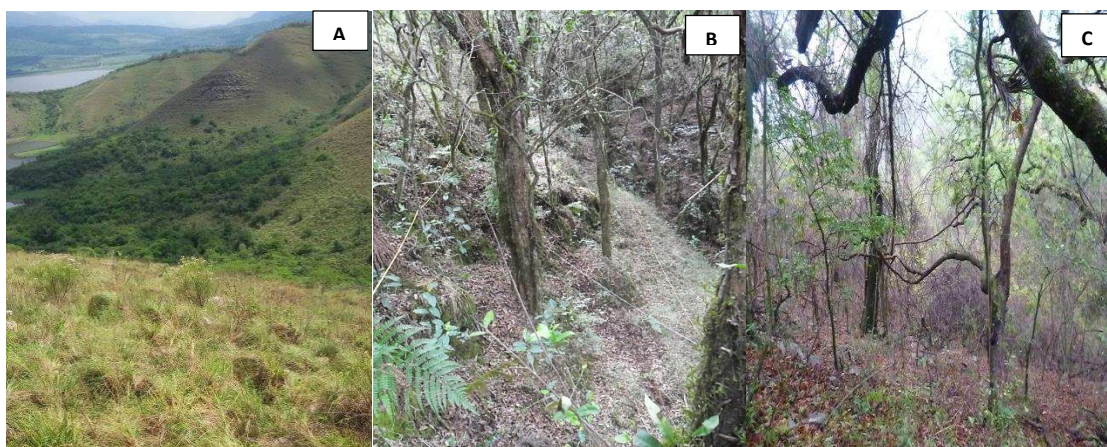


Foto N°1: Unidades de vegetación estudiadas: Pastizal Arbustal Seco (A), Bosque en Galería (B) y Bosque de Filo (C).

Los resultados de estimación de biomasa de cada tipo de bosque en cada ecoregión se presentan a continuación (Tabla N° 2 y 3):

Biomasa media (tn/ha)	Bosque de filo		Zona Incendiada		Zona No Incendiada	
	Chavé et al.(2005)	Návar et al. (2013)	Chavé et al.(2005)	Návar et al. (2013)	Chavé et al.(2005)	Návar et al. (2013)
*Árboles, arbustos y multifustales	57.9 ±25.1	75.6 ± 34.6	7.1 ±5.2	9.6 ±7.3	6.1 ±7.9	7.7±10.8
Regeneración	10.4 ±11.0	10.3±10.5	6.6±2.8	6.9 ±2.8	2.6 ±3.8	2.9 ±4.2

(*) Incluye la biomasa de árboles y arbustos muertos en pie y caídos (necromasa).

Tabla N°2: Biomasa media total (tn/ha) de cada compartimento del ecosistema de Chaco serrano (medias y desvíos estándar).

Biomasa media (tn/ha)	Bosque en Galería	
	Brown et al. (1989)	Chavé et al. (2005)
Árboles, arbustos y multifustales	172.3 ± 253.6	157.8 ± 244.1
Regeneración	10.7±7.3	7.9±5.5
Lianas	0.2 ±0.7	0.2 ±0.7

Tabla N°3: Biomasa media total (tn/ha) de cada compartimento del ecosistema de Yungas (medias y desvíos estándar).

Con respecto a la distribución de la biomasa en cada compartimento, se observa que en todas las unidades de vegetación el compartimento con mayor reserva de biomasa es el estrato arbóreo y arbustivo, seguido del sistema radicular y regeneración, sin embargo en Chaco, se evidenció mayor concentración en regeneración que en raíces. El menor valor de biomasa se obtuvo en lianas (0,23 t/ha), la misma concentrada únicamente en bosque en galería (Tabla N° 2 y 3).

La biomasa media total (tn/ha), estimada para arbustos plurifustales (multifustales) en toda el área protegida fue de 6,7 tn/ha ($\pm 28,6$). La misma centrada principalmente en el bosque en galería ($3,7 \pm 0,8$) y bosque de filo ($3,6 \pm 0,6$), no obstante en el bosque en galería se obtuvo un menor valor de densidad de multifustales (147 ind/ha) en comparación con bosque de filo (400 ind/ha), observándose que el primero a pesar de tener menor densidad, sus individuos son más desarrollados en altura y área de copa, en comparación con el bosque de filo. El menor valor de biomasa de multifustales, se obtuvo en zona incendiada ($3,4 \pm 1,4$), con una densidad de 100 ind/ha.

Las especies con mayor aporte en biomasa de multifustales en toda la reserva fueron: *Sebastiania brasiliensis*, *Vassobia breviflora*, *Acacia caven* y *Scutia buxifolia*.

Mediante la prueba T Student, para muestras apareadas realizada con estimaciones de biomasa de árboles, arbustos y regeneración, en el caso de Yungas: entre la ecuación de Brown et al. (1989) y Chavé et al. (2005), se obtuvo que existen diferencias entre las medias estimadas ($T: 5, 42$ y $p: 0, 0001$) siendo 17,3 tn/ha ($\pm DE 12,4$) la ecuación de Brown mayor que las estimaciones obtenidas con el modelo de Chavé. para bosques húmedos tropicales. En el caso de Chaco, la comparación de estimaciones entre las ecuaciones de Návar et al. (2013) y Chavé et al. (2005) también se obtuvieron diferencias ($T: 3, 64$ y $p: 0, 0016$), siendo las estimaciones con el modelo de Návar 8,8 tn/ha ($\pm DE 10,9$) superior a las estimaciones obtenidas con el modelo de Chavé (Tabla N°4).

Ecuación		Media (diferencia)	D.E	T	P
(Ec.1) Brown et al. (1989)	(Ec.2) Chavé et al. (2005)	17.3	12.4	5,42	0,0001
(Ec.5) Návar et al. (2013)	(Ec.4) Chavé et al. (2005)	8.8	10.9	3,64	0,0016

Tabla N°4: Prueba T Student para comparar estimaciones de biomasa media de árboles, arbustos y regeneración, entre ecuaciones seleccionadas para cada ambiente manifestado en la Reserva.

Para las estimaciones finales de biomasa, se seleccionó una ecuación para cada eco región, en base a recomendaciones bibliográficas u antecedentes de aplicación de ecuaciones alométricas en los mismos o similares ambientes: Yungas y Chaco.

Para la estimación de biomasa en Yungas (Bosque en galería) se seleccionó la ecuación de Brown et al. (1989) debido a que existen antecedentes de estudios de biomasa realizados en esta eco región (Manrique et al, 2011; 2009), se eligió la ecuación de Nívar et al. (2013) para la estimación de biomasa en Chaco (bosque de filo, zona incendiada y zona no incendiada), debido a que esta ecuación, fue crea en bosques secos similares y porque esta ecuación demostró tener la mejor bondad de ajuste (r^2 : 0,88 y un E.E del 40, 6%) entre un grupo de 11 ecuaciones desarrolladas in situ y ex situ (Nívar et al, 2013).

Los resultados de biomasa media aérea leñosa y subterránea (tn/ha), obtenida en cada unidad de vegetación presente en cada ecoregión de Yungas y Chaco presentan el siguiente orden de importancia; bosque en galería con 183,2 tn/ha (\pm DE 253,5), seguido del bosque de filo con 85,8 tn/ha (\pm 36,9), zona incendiada con 16,5 tn/ha (\pm 8,4) y finalmente zona no incendiada con 10,6 tn/ha (\pm 14,2) (Tabla 5).

En lo que respecta a la biomasa media total de la reserva (n: 36), considerando la aérea y subterránea fue de 126,5 (tn/ha) (\pm 219), dónde 102,6 tn/ha corresponden a biomasa media aérea leñosa (n: 36) y 23,9 tn/ha a biomasa media subterránea (n: 36).

Biomasa media (tn/ha)	Yungas		Chaco Serrano	
	Bosque en galería	Bosque de filo	Zona incendiada	Zona no incendiada
BAL	183.2 \pm 253.5	85.8 \pm 36.9	16.5 \pm 8.4	10.6 \pm 14.2
BS	44.0 \pm 60.6	23.2 \pm 9.9	4.5 \pm 2.3	2.9 \pm 3.8

Tabla N°5: Biomasa media (tn/ha) de cada unidad de vegetación de Yungas y Chaco con las ecuaciones de Brown et al. (1989) y Nívar et al. (2013) (medias y desvíos estándar).

Test de Tukey para comparación de biomasa aérea leñosa en cada unidad de vegetación:

Unidades de Vegetación	Media	n	E.E	
ZNI	0,65	7	0,19	A
ZI	1,17	5	0,22	A
BF	1,90	9	0,16	B
BG	1,94	15	0,13	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla N°6: Test de Tukey ($\alpha=0,05$ DMS=0,66813- DMS=0,66813)

Los resultados del análisis de varianzas ANOVA y test de Tukey dieron que existen diferencias (F: 13,40 y P: 0,0001), siendo significativas entre algunos sitios; bosque en galería y bosque de filo, con respecto a otros sitios: zonas incendiadas y zonas no incendiadas (Tabla N°6).

Los resultados obtenidos de almacenamiento de carbono en biomasa aérea leñosa y subterránea, en cada unidad de vegetación y su contribución al total de la reserva, se observan en la Figura N°1.

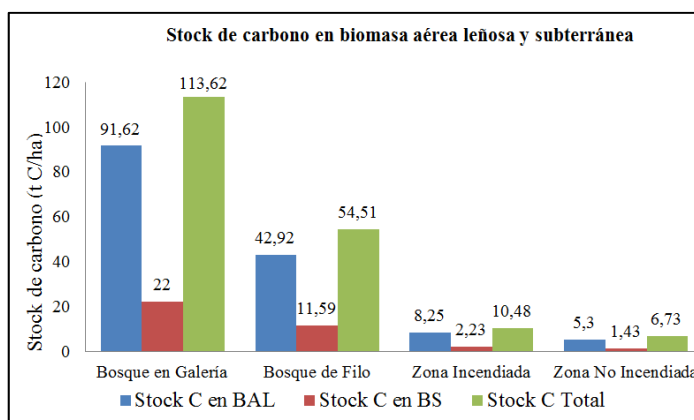


Figura N°1: Stock de carbono (t C/ha) en cada tipo de unidad de vegetación de la Reserva (los sitios: zona incendiada y no incendiada correspondientes a la Unidad de Pastizal Arbustal Seco).

Se estimó que el stock total de carbono de toda el área protegida es de $63,25 \text{ t C/ha}$ (± 109).

En cuanto a las reservas de biomasa y el stock de carbono; el bosque con mayor potencial de captura es el bosque en galería con $91,6 \text{ t C/ha}$ ($\pm 126,3$), seguido de bosque de filo con $42,9 \text{ t C/ha}$ ($\pm 18,5$), por último los sitios de zona incendiada con $8,2 \text{ t C/ha}$ ($\pm 4,2$) y zona no incendiada con $5,3 \text{ t C/ha}$ ($\pm 7,1$). La BS de toda la reserva, se comporta de la misma manera que la BAL en la medida en que es una proporción directa de aquella; siendo mayor en bosque en galería con 22 t C/ha ($\pm 30,3$), seguido de bosque de filo con $11,6 \text{ t C/ha}$ ($\pm 4,5$), zona incendiada con $2,2 \text{ t C/ha}$ ($\pm 1,1$), y por último zona no incendiada con $1,4 \text{ t C/ha}$ ($\pm 1,9$) (Figura N° 1).

El carbono almacenado en los diferentes compartimentos por encima y debajo del suelo, se correlaciona con las reservas de biomasa; en mayor medida en la biomasa de árboles y arbustos, seguido del sistema radicular y menor medida en regeneración y lianas.

La unidad de bosque en galería (bosque de *Scutia buxifolia*, *Sebastiania commersoniana* y *S. brasiliensis*), presenta la mayor área basal en toda la reserva, lo cual está directamente relacionado con su elevado contenido de BAL y BS registrado. En este sitio se encuentran los individuos maduros, bien establecidos y con mayores DAP. El bosque de *Acacia caven* y *Vassobia breviflora* (bosque de filo), presenta una área basal menor que el bosque en galería, lo cual se corresponde con su contenido de BAL obtenido. El bosque en galería seguido del bosque de filo, tienen los mayor valores de almacenamiento de carbono en su biomasa, por la cual representan importantes sumideros de carbono y considerable potencial de mitigación al CCG.

En la estimación de biomasa aérea en bosque en galería, se obtuvieron elevados valores de D.E ($183,2 \pm 253,5 \text{ tn/ha}$), que se atribuye a la disposición agrupada de la biomasa propio de condiciones de sitio, generando valores de reservas de biomasa muy contrastantes entre las parcelas (parcelas N° 7, 11, 13 1, 2, 6, 10, 12) (Figura N°2).

En la unidad de Pastizal Arbustal Seco (ubicada en laderas secas de exposición norte) en la estimación de biomasa aérea en uno de sus sitios no afectado por incendios recientes, también se obtuvo un elevado D.E (11 ± 14), este patrón de distribución de la vegetación responde a las diferencias en la exposición de sus laderas, encontrándose claramente definidos sectores de pastizales puros y sectores de pastizales acompañados de especies arbustivas en diferentes densidades (Figura N°2: parcelas N°6-12), en dónde en algunas parcelas realizadas (N°8, 9 y 11) no se obtuvieron valores de biomasa aérea, debido a que en esos casos la vegetación corresponde a pastizales puros.

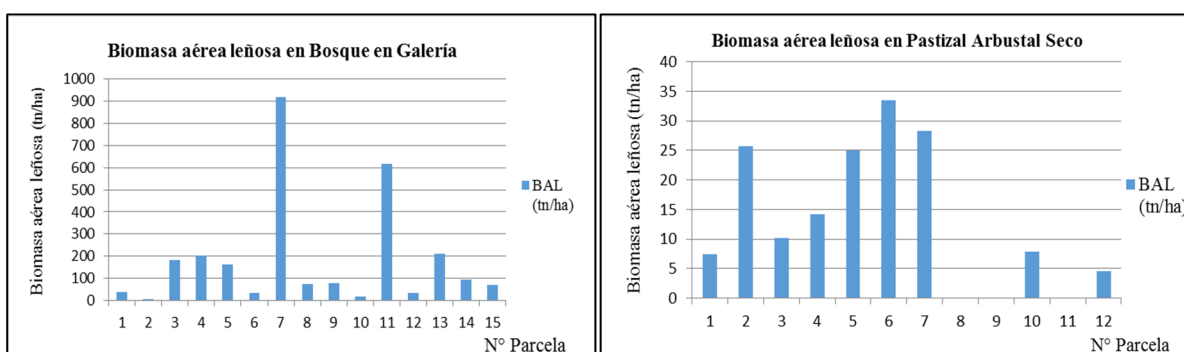


Figura N°2: Distribución de biomasa aérea leñosa en Bosque en Galería y Pastizal Arbustal Seco.

Otro factor relevante de gran influencia en la distribución de la biomasa en esta unidad de pastizal arbustal seco y principalmente en la zona incendiada; es el efecto de los incendios antrópicos de pastizales, los cuales cambiaron su fisonomía original, propagándose hasta otros sectores e incluso limitándolos (bosques en galería) e influyendo en la dinámica de almacenamiento de carbono en esta unidad.

La zona incendiada, corresponde con una parte de los sitios afectado por incendios registrados recientemente en el año 2012-2013. Según se determinó (Ellenrieder, 2015, 2014 comunicación

privada) los incendios ocurrieron mayormente después de la temporada de lluvias y el comienzo de la estación seca (fin de mayo, principio de junio), en esta última existe el mayor peligro de propagación de incendios.

El efecto de incendios originó una disposición de la vegetación en parches con vegetación secundaria en distintas edades sucesionales: en dónde en la zona incendiada se detecta claramente los daños sobre la vegetación y el suelo, sin embargo no se descarta que el sotobosque de la zona no incendiada en algún momento haya sido afectado por la propagación de incendios de pastizales desde sitios vecinos.

La zona afectada por incendios recientes (Figura N°2: parcelas N°1-5), presenta mayores valores de área basal, lo cual se corresponde con valores de biomasa y stock de carbono superiores en comparación con la zona no incendiada (Tabla N°5 y Figura N°1). Por otro lado presenta mayores valores de biomasa de regeneración: 6.9 tn/ha (en comparación con el sitio no afectado por incendios: 2.9 tn/ha), tiene mayor densidad de individuos de clases diamétricas menores (> 5 cm y ≤ 10 cm) y menor densidad de individuos de clases diamétricas mayores (≥ 10 cm), lo cual indica que este sitio se encuentra en etapa de reclutamiento de nuevos individuos; es decir en periodo de regeneración natural.

El estado de sucesión temprano que se encuentra este sitio, sumado a los efectos químicos en el suelo generados por el aporte de cenizas provenientes de la quema de biomasa, influyeron en la dinámica de almacenamiento de carbono.

La tasa de acumulación de carbono varía entre compartimentos (biomasa, matillo y suelo) durante cada etapa de la sucesión vegetal; se estableció que el carbono almacenado en suelos de bosques secundarios afectados por incendios (Misiones-Argentina), en el primer año post-abandono es el momento de máxima tasa media anual de fijación y luego su contribución proporcional desciende a través del tiempo a medida que avanza la sucesión (alcanzando el 50% alrededor de los 12 años) (Vaccaro et al, 2003). Estudios sobre los efectos químicos de las cenizas de madera en el crecimiento de las plantas, determinaron que las cenizas de madera constituye una fuente importante de nutrientes P, K, Mg, Ca (Huang et al., 1992; Etiegni et al, 1991; Ohno y Erich, 1990), es un agente neutralizados de acidez en suelos ácidos tropicales (Voundi Nkana, 1998) y además los beneficios agronómicos de la ceniza de madera en zonas templadas están bien documentados (Krejsl y Scanlon, 1996; Clapham y Zibilske, 1992; Ohno, 1992).

Con respecto a la dinámica de almacenamiento de carbono en biomasa Vaccaro et al. (2003); determinaron que la biomasa presenta la mayor tasa de acumulación de carbono a medida que avanza la sucesión secundaria, alcanzando la biomasa de copa valores máximos de manera más rápida que la biomasa aérea total. Por otra parte Brown y Lugo. (1982); argumentan que la biomasa de la copa se desarrolla rápidamente en las primeras etapas de la sucesión en todas las zonas de vida y aumenta muy poco en las etapas siguientes, debido a que las plantas privilegian inicialmente el despliegue de la mayor superficie fotosintética para la fijación de energía solar por sobre la construcción de los tejidos aéreos de sostén y transporte. Por otra parte los mismos autores (Brown y Lugo, 1990) hicieron un análisis de la tendencia presentada por datos de biomasa de bosques tropicales secundarios de distinta edad y encontraron que independientemente de las condiciones de sitio ocurre una rápida acumulación de biomasa hasta los 15-20 años, momento a partir del cual la tasa de acumulación comienza a decrecer hasta la madurez. De manera similar concluyeron Redondo Brenes y Montagnini (2006); dónde determinaron que las especies de rápido crecimiento (especies pioneras) en estadios de sucesión temprana son capaces de capturar rápido el carbono y en las etapas finales de la sucesión las especies de larga vida especies (no pioneras) mantienen el carbono fijado en el sistema forestal durante largos períodos de tiempo.

La información generada en este trabajo, servirá para estudios posteriores de evaluación de cambios de biomasa a través del tiempo, relacionado con factores ambientales y/o sociales, como así también para evaluar los cambios en la dinámica de almacenamiento de carbono en los suelos de bosques secundarios afectados por incendios.

CONCLUSIONES

Existen diferencias entre estimaciones de biomasa con cada par de ecuaciones empleadas en cada ambiente, sobrestimando algunas (Ec. de Nívar y Brown) con respecto a otras (ambas Ec. de Chavé). Además se determinaron que existen diferencias en estimaciones de biomasa aérea leñosa entre los sitios; siendo significativas en Bosque en galería y bosque de filo, con respecto al sitio de zonas incendiadas y zonas no incendiadas.

Se estimó que la biomasa total (aérea y subterránea) de toda la Reserva Privada Campo Alegre, fue de *126 tn/ha*, la cual actualmente tiene un stock de carbono total de *63 t C/ha*; habiendo unidades de vegetación que contribuyen a este valor de mayor a menor medida.

Los bosques en galería y bosque de filo constituyen importantes sumideros de carbono ya que presentan el mayor potencial de captura de CO₂ y consecuentemente mayor potencial de mitigación al CCG.

El mantenimiento de las reservas de biomasa, los planes de manejo y conservación en toda el área protegida y de restauración de la cobertura vegetal en los sitios afectados por incendios; constituyen estrategias eficientes para contribuir a mitigar los efectos de CCG en el municipio de La Caldera y a escala global, por otro parte asegura la continuidad de provisión de servicios y bienes ecosistémicos a la comunidad cercana.

AGRADECIMIENTOS

A Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por la beca doctoral, al Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO)-Universidad Nacional de Salta, se agradece al Sr. Guillermo Ellenrieder, por su valioso aporte y colaboración en esta investigación. Al Club de Amigos de la Montaña de Salta por apoyar este tipo de investigaciones en la reserva de su propiedad. A los Profesores Silvia Suhring y Andrés Tálamo de la Universidad Nacional de Salta, por su asistencia en los análisis estadísticos.

REFERENCIAS

- Brown S, Lugo AE. 1982. The storage and production of organic matter in Tropical forest and their role in the global carbon cycle. *Biotropica* 14: 161-187.
- Brown S, Lugo AE. 1990 Tropical secondary forests. *J. Trop. Ecol.* 6: 1-32.
- Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Forest Resources Assessment Publication. Forestry Papers 134. Rome, Italy, FAO. 55 Pp.
- Brown S., Gillespie A., Lugo A. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35:881-902.
- Cabrera AL. 1976. Regiones Fitogeográficas de Argentina. Buenos Aires (Argentina): ACME. 87 p.
- Cairns M., Brown S., Helmer E., Baumgardner G. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111:1-11.
- Chavé J., Andalo C., Brown S., Cairns M., Chambers J., Eamus D., Folster H., Fromard F., Higuchi N., Kira T., Lescure J., Nelson B., Ogawa H., Puig H., Riera B., Yamakura T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145(1):87-99
- Chavé J., Muller-Landau H., Baker T., Easdale T., Steege H., Webb C. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. *Ecological Applications* 16:2356-2367
- Clapham W., Zibilske M. 1992. Wood ash as a liming amendment. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23, 1209-1227.
- Conti G., Enrico L., Casanoves F., Díaz S. 2013. Shrub biomass estimation in the semiarid Chaco forest: a contribution to the quantification of an underrated carbon stock. *Annals of Forest Science* DOI 10.1007/s13595-013-0285-9. Pp 1-10.
- Digilio A., Legname P. 1966. Los árboles indígenas de la Provincia de Tucumán. *Opera Lilloana* XV. Universidad Nacional de Tucumán. Instituto Miguel Illo.

- Dixon, R. K. S. Brown, R. A. Houghton, A. M. Solomon, M.C Trexler and J. Wisniewski, 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* (Washington), 263 (5144): 185-1991.
- Ellenrieder G. 2009a: La Restauración de Bosques Nativos y el Caso de la Reserva de Campo Alegre. Comunicación privada del autor.
- Ellenrieder G. 2009b: Los árboles de la Reserva de Flora y Fauna de Campo Alegre. www.noticam.com.ar/ (Reserva Forestal detallada). Comunicación privada del autor.
- Ellenrieder G. 2014. Reserva de Campo Alegre Club Amigos de la Montaña. Cuarto informe sobre monitoreo – marzo y abril de 2014. Pp 1-19. Comunicación privada del autor.
- Ellenrieder G. 2015. Reserva de Campo Alegre Club Amigos de la Montaña. Cuarto informe sobre monitoreo parcial – mayo y junio de 2015. Pp 1-20. Comunicación privada del autor.
- Etiegni L., Campbell A., Mahler R. 1991. Evaluation of wood ash disposal on agricultural land. I.Potential as a soil additive and liming agent. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 22, 243-256.
- FAO. 2007. Situación de los bosques del mundo 2007. Roma, 2007.
- FAO. 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales. FAO. Roma pp 44
- FAO. 2012. FRA 2015. Términos y Definiciones FAO. Roma. pp 10
- Gasparri, I., Grau R., Manghi E. 2008. Carbón Pools and Emissions from Deforestation in Extra-Tropical Forest of Northern Argentina, Between 1990 and 2005. *Ecosystems* (2008) 11: 1247–1261 DOI: 10.1007/s10021-008-9190-8. Pp 1-15.
- Gasparri., Manghil E., Parmuchi M., Bono J., Strada M. 2004. Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono de las regiones argentinas. Informe final. Dirección de bosques. Ministerio de Salud y Ambiente. Secretaría de ambiente y Desarrollo Sustentable. Pp 1-26.
- Gehring C., Park S., Denich M. 2004. Liana allometric biomass equations for Amazonian primary and secondary forest. Center for Development Research (ZEF), University of Bonn, Walter-Flex-Str. 3, 53113 Bonn, Germany. *Forest Ecology and Management* 195 (2004) 69–83. www.Sciencedirect.com Pp 1-15
- Gibbs H., Brown S., Niles J., Foley J. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. for Sustainability and the Global Environment (SAGE), Nelson Institute for Environmental Studies, University of Wisconsin, 1710 University Avenue, Madison, WI 53726, USA. ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS. Online at stacks.iop.org/ERL/2/045023. *Center. Environ. Res. Lett.* 2 (2007) 045023 (13pp).
- Global Allometric Tree. Assessing volume, biomass and carbon stocks of trees and forests: <http://www.globalloometree.org/>
- Global Wood Density Data Base. EOL Encyclopedia of life. <http://eol.org/pages/638623/data>
- Houghton, RA. 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology* 11: 945-958.
- Huang H., Campbell A., Folk R., Mahler R. 1992. Wood ash as a soil additive and limng agent for wheat. *Field studies Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 23, 25-33.
- InfoStat. 2005. Di Rienzo J, Casanoves F., Balzarini M., Gonzales L., Tablada M, Robledo C. Grupo InfoStat versión 2005. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL. <http://www.infostat.com.ar>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge. 892 pp.
- IPCC. 2003. *Change Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme UNEP* Edited by Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Japan. ISBN 4-88788-003-0.
- IPCC. 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pág.
- Krejsl J., Scanlon A. 1996. Evaluation of beneficial use of wood-fired boiler ash on oat and bean growth. *J. Environ. Qual.*, 25, 950-954.

- Macdicken KG. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. F. C. M. P. Winrock International Institute for agricultural Development.
- Brown S. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Roma, Italia: FAO Montes; 1997. 134.
- Manrique S., Franco J. Núñez V., Seghezzo L. 2011. Potential of native forests for the mitigation of greenhouse gases in Salta, Argentina. *Biomass and bioenergy* 35 (2011)2184-2193. www.sciencedirect.com Pp 1-10.
- Manrique S., Franco J., Núñez V., y Seghezzo L. 2009. Estimación de densidad de biomasa aérea en ecosistemas naturales de la provincia de Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 13, 2009. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184. Pp 1-9. ASADES.
- Mokany K., Raison J., Prokushkinz S. 2006. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*.2006. 12, 84–96, doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.001043.x. Pp 1-13.
- Návar F. Domínguez P. 2013. Ecuaciones alométricas para árboles tropicales: aplicación al inventario forestal de Sinaloa, México. *Proyectos CABSA-CONAFOR, 2003-2004. Agronomía mesoamericana* 24(2):347-356. 2013 ISSN: 1021-7444. Pp 1-10.
- Nuemann R., Garrido J., Lisi F., Matalía C., Samariago J. 2009. Reserva forestal y de fauna en Campo Alegre, Proyecto C.A.M. Informe de Club Amigos de la Montana (CAM), Personería Jurídica Nro. 3939 San Luis N 510. 2do. Piso. (4400) Salta. Argentina. Pp 1-14.
- Ohno T. 1992. Neutralization of soil acidity and release of phosphorus and K by wood ash. *J. Environ. Qual.*, 21, 433-438.
- Ohno T., Erich M. 1990. Effect of wood ash application on soil pH and soil test nutrient levels. *Agric.Ecosyst. Environ.*, 32, 223-239.
- Redondo Brenes, A., Montagnini, F., 2006. Growth, productivity, aboveground biomass, and carbon sequestration of pure and mixed native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. *For. Ecol. Manage.* 232, 168–178.
- Schnitzer A., Rutishauser S., Aguilar S. 2008. Supplemental protocol for liana censuses *Forest Ecology and Management* 255 (2008) 1044–1049. www.sciencedirect.com
- Stern N. 2007. Stern Review on the Economics of Climate Change (pre-publication edition). Cambridge University Press, Tropicos Name Search. <http://www.tropicos.org/>
- Vaccaro S. Arturi M. Goya J. Frangi. Piccolo G. 2003. Almacenaje de carbono en estadios de la sucesión secundaria de la Provincia de Misiones, Argentina. *INTERCIENCIA SEP* 2003, VOL. 28 N° 9. 0378-1844/03/09/521-07. Pp 1-7.
- Vázquez A. y Arellano H. 2012. Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del sur y noroccidente de Córdoba, Colombia. Pp 1-40.
- Voundi Nkana J., Demeyer A y Verloo M. 1998. Chemical Effects of Wood Ash and Plant Growth in Tropical Acid Soils. *Bioresource Technology* 63 (1998) 251-260. Elsevier Science Ltd. 0960-8524/98.

ABSTRACT: The above and underground biomass, and carbon stock was estimated in a secondary forest from a Private Reserve "Campo Alegre", in Salta province. It is a transition zone between two natural regions: Chaco and Yungas, The forest reserve was zoned in gallery forest, forest edge, area burned and not burned area. A stratified random sample (n = 36) was performed. A comparison of the carbon stock and their contribution to the whole reserve of the different sites was made. Different allometric models built in similar ecosystems to the study area were used. ANOVA and Tukey test was performed and finding significant differences in some sites over others. The total carbon stock of biomass (above and below ground) ecosystem was 63.25 tons C / ha. This information will help in determining the mitigation potential of these secondary forests against Global Climate Change (GCC)

KEY WORDS: secondary native forests, above ground biomass, below ground biomass, allometric equations, carbon stock.