

## **BIOMASA AÉREA LEÑOSA EN UN ÁREA NATURAL PROTEGIDA, LACALDERA-SALTA: BALANCE DE UNA DÉCADA**

**S. Ontiveros, S. Manrique, J. Franco y G. Ellenrieder**

INENCO – Universidad Nacional de Salta – CONICET - Avda. Bolivia 5150, 4400 Salta, Argentina  
Tel. 0387-4255424 – Fax: 0387-4255389  
Email: [silvimagda@yahoo.com.ar](mailto:silvimagda@yahoo.com.ar)

*Recibido: 02-02-18; Aceptado: 29-06-18.*

**RESUMEN.-** Se estudió la estructura, composición florística y biomasa aérea leñosa en los bosques húmedos de galería (ecosistema de Yungas) de la Reserva Campo Alegre (Salta). Se realizó un muestreo al azar mediante parcelas rectangulares de 100 m<sup>2</sup> en el año 2006 señalizadas en el terreno, repitiéndose idéntico muestreo en el año 2016. La biomasa aérea leñosa fue estimada empleando ecuaciones alométricas, obteniendo un valor de 127 t/ha (2006) y alcanzando un valor de 152 t/ha (2016), con una productividad de 2,5 t/ha\*año. La biomasa aérea total en la superficie de estudio (12 ha) fue de 1.524 t (2006) y 1.824 (2016), siendo las diferencias entre años estadísticamente significativas ( $t=0,48$ ;  $p<0,05$ ). Al inicio del estudio la tasa de reclutamiento de regeneración era elevada, logrando instalarse efectivamente algunos individuos pioneros. Al final del estudio aumentó el área basal tanto de la regeneración como la de adultos, lo cual se refleja en el incremento de la productividad del bosque. Nuestro trabajo aporta al conocimiento de la dinámica forestal y potencial de los bosques secundarios del ecosistema de Yungas en la mitigación de emisiones de gases efecto invernadero, vislumbrando la importancia de las áreas protegidas como estrategias de recuperación y conservación de los ecosistemas.

**Palabras claves:** biomasa aérea leñosa, bosque secundario, ecuaciones alométricas, estructura del bosque, secuestro de carbono.

## **ABOVEGROUND BIOMASS IN A PROTECTED NATURAL AREA (LA CALDERA-SALTA): BALANCE OF A DECADE**

**ABSTRACT.-** The structure, floristic composition and aboveground biomass in the humid gallery forests (Yungas ecosystem) of the Campo Alegre protected area (Salta) were studied. A random sampling was carried out using rectangular plots of 100 m<sup>2</sup> in 2006, marked on the ground, and the same sampling was repeated in 2016. The aboveground biomass was estimated using allometric equations, obtaining a value of 127 t/ha (2006) and reaching a value of 152 t/ha (2016), with a productivity of 2.5 t/ha\*year. The total aboveground biomass in the study area (12 ha) was 1.524 t (2006) and 1.824 (2016), being the differences between years statistically significant ( $t = 0,48$ ;  $p < 0,05$ ). At the beginning of the study, the regeneration recruitment rate was high, some pioneering individuals were able to install themselves effectively. At the end of the study, the basal area of both regeneration and adults increased, which is reflected in the increase in forest productivity. Our work contributes to the knowledge of the forestry dynamics and potential of the secondary forests of the ecosystem of Yungas in the mitigation of emissions of greenhouse effect gases, glimpsing the importance of the protected areas as strategies of recovery and conservation of the ecosystems.

**Keywords:** aboveground biomass, secondary forest, allometric equations, forest structure, carbon sequestration.

### **1. INTRODUCCIÓN**

El potencial de los ecosistemas para generación de biomasa se define por el tipo y la condición del hábitat, es decir por la composición de especies, la edad, los procesos de producción primaria bruta, producción primaria neta del ecosistema, por las características geográficas del sitio (localización, clima, fertilidad, disponibilidad de agua, etc) y por el grado de fragmentación o régimen de perturbación (Terradas, 2001). Debido a que los bosques del mundo desempeñan un papel importante en la regulación de los

ciclos de nutrientes y carbono, hay mucho interés en la estimación de su biomasa (Cairs et al, 1997).

Los bosques tropicales representan menos del 10% de la superficie total y contienen más del 40% de todo el carbono en la biomasa terrestre (Lewis et al., 2009) y resultan un sumidero global de 1,3 Pg C\*año<sup>-1</sup> (Lewis et al., 2009; Chavéet al, 2008). Los bosques secundarios corresponden al 35% del total de los bosques tropicales del mundo (Emrichet al, 2000).

El calentamiento global es un fenómeno que genera cada vez mayor preocupación en la comunidad científica internacional (Van der Warf et al., 2009). Por tanto, la conservación y/o restauración de los bosques tropicales y subtropicales, pueden tener efectos profundos en los gases atmosféricos globales a través del almacenamiento de carbono y disminución de las emisiones de GEI (Santilli et al., 2005). La creación de áreas protegidas puede constituir una estrategia eficiente de conservación de ecosistemas y flujos derivados de ellos, posibilitando un suministro de bienes y servicios ecosistémicos indispensables para asegurar el mantenimiento de la población (Pérez et al., 2007).

Los bosques húmedos de Yungas que ingresan a Argentina desde Bolivia y se extienden hasta Catamarca, son una de las formaciones de mayor biodiversidad del país (Brown et al., 2002). Este ecosistema se manifiesta en configuraciones particulares según altitud y latitud, pero representa una biomasa forestal que actúa en la retención de humedad en la región noroeste, como así, en la regulación de sedimentos y mantenimiento de especies endémicas (Brown et al., 2002). Estos bosques han registrado un importante esfuerzo de conservación, lo cual se ve reflejado en la existencia de 14 áreas protegidas de jurisdicción nacional y provincial y la creación de la Reserva de la Biosfera de las Yungas (Brown et al., 2002). Existen estudios previos sobre la importancia de estas áreas protegidas en la conservación de algunos servicios ecosistémicos (Del Valle, 2012; Ontiveros, 2011; Lomáscolo, 2007; Brown y Grau, 1999). Sin embargo, es poca la información generada a partir de áreas protegidas que albergan sectores de bosques secundarios de este ecosistema, y menos aún, con respecto a la dinámica del mismo a lo largo de una década.

Interesó en este trabajo explorar un área protegida de naturaleza privada, cercana a la ciudad de Salta capital que fue creada en el año 1994, y que al momento de realizar el primer estudio, contaba ya con poco más de 10 años de existencia. Dentro del área protegida se observan diferentes facetas ecosistémicas definidas por rangos de altitud y exposición fundamentalmente, dado que se encuentra en un sector de serranías. Los registros se hicieron sobre sectores donde se manifiestan distritos del ecosistema de Yungas. El segundo muestreo se realizó 10 años después del primero en idéntico sector, contabilizando el crecimiento de la biomasa aérea leñosa en una década, y posibilitando identificar algunos rasgos florísticos sucesionales del ecosistema. Se muestran en este trabajo los resultados de dicho estudio comparativo que da cuenta de la estructura y composición del bosque seleccionado, analizando posibles factores intervinientes de la configuración actual y realizando una estimación de la acumulación de biomasa y productividad del bosque nativo.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Área de estudio.

La Reserva Privada Campo Alegre, propiedad de Club de Amigos de la Montaña de Salta (CAM), se localiza en el Departamento de la Caldera a 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. La altitud máxima sobre la Reserva es 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 °C. Los suelos son 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 manifestaciones de las Provincias Fitogeográficas de Yungas y Chaco (Cabrera, 1976), siendo una zona transicional entre estas dos eco regiones, y pudiendo identificarse diferentes facetas de estos ecosistemas definidos por factores de exposición, pendiente y altitud (Ontiveros et al., 2015). El bosque de galería se encuentra emplazado en quebradas por donde ocurren las aguas pluviales, formando una comunidad de árboles, enredaderas, epífitas y herbáceas de gran complejidad. Se trata de un sector sombreado y húmedo, donde se albergan especies de selva montana entremezcladas con otras de selva de transición (Neumann et al., 2009).

Los orígenes de lo que hoy constituye el actual bosque nativo secundario de la Reserva, se remonta desde antes de la construcción del Dique Campo Alegre. En los años 30 ese lugar fue habitado por los primeros pobladores de Campo Alegre, que empezaron a hacer uso del bosque primario para pastoreo y siembra principalmente. Posteriormente, estos pobladores vendieron sus tierras y deshabitaron el lugar para la construcción del proyecto hidráulico de importante magnitud que se realizó en la localidad de la Caldera (con el fin de almacenamiento de agua y regulación de riego en la zona) entre los años 72-77 (H. Sastre, comunicación personal, 7 de Julio de 2017). Este proyecto realizó una modificación en la parte baja del bosque donde se construyó el vaso de agua del Dique, ya que según entrevistas a pobladores de La Caldera, no hubo movimientos de tierras importantes ya que el lugar tenía la "forma de vaso" que se precisaba, toda tierra removida fue depositada en zonas fuera del bosque y algunos sectores bajos de bosque quedaron bajo el agua (M. Reinaga, comunicación personal, 7 de Julio de 2017). Con el correr de los años, las zonas aledañas al Embalse y parte baja de la reserva comenzaron a repoblarse de vegetación autóctona, y fueron siendo moldeadas por los factores climáticos locales.

Ante lo expuesto se podría afirmar que los primeros procesos sucesionales de vegetación iniciaron a partir de los años 30 cuando llegaron los primeros pobladores (3-4 familias) y empezaron a realizar uso del bosque. Sin embargo, dichos procesos no fueron lineales e ininterrumpidos, ya que luego de la construcción del Dique Campo Alegre, empezaron a ocurrir otros eventos antrópicos que operaron de manera esporádica e irregular en la Reserva, tales como la quema de pastizales en la época seca para habilitar pastos frescos para el ganado por parte de productores locales. Algunos de estos eventos de incendios más recientes se registran en los años 2007, 2012 y 2013 (G. Ellenrieder, comunicación personal, 25 de Setiembre de 2015, 17 de Junio de 2014), se puede afirmar que estas perturbaciones sumado a las prácticas de pastoreo extensivo que se inició desde los años 30 aproximadamente (H. Sastre, comunicación personal, marzo de 2018) son los eventos antrópicos de mayor impacto negativo en el bosque.

El Club Amigos de la Montaña (CAM), una vez lograda la titularidad de la Reserva, empezó a llevar a cabo varias mejoras tales como: la construcción de un refugio con agua corriente y luz de paneles solares; cercado perimetral total de la Reserva (año 2010 a 2015) para evitar el ingreso de ganado principalmente; construcción de senderos,

cortafuegos y enriquecimiento forestal; vigilancia permanente por parte de guardaparques y la contratación reciente de un Director del Área Protegida. Esta serie de medidas realizadas, ha restringido el libre acceso a la Reserva, disminuyendo el acceso del ganado y la ocurrencia de los eventos de fuego. Dado que la orografía de la Reserva es variable, se han ido definiendo formaciones vegetales distintas en la superficie de la misma. Visualmente, la vegetación se ha recuperado, pero no existían hasta el momento, estudios de seguimiento que cuantificaran y evaluaran la magnitud de dichos cambios. Este estudio se ha concentrado en cuantificar el sector de bosque mejor constituido como tal dentro del área de la Reserva: el sector denominado como “bosque de galería” de 12 ha (representando el 11% de la superficie total de la Reserva).

## 2.2 Diseño de muestreo y variables estudiadas

El diseño de muestreo fue al azar, dentro del área previamente estratificada. Las parcelas realizadas en el 2006 fueron delimitadas y marcadas en terreno e identificadas mediante imágenes satelitales. Las mismas parcelas fueron medida sal cabo de 10 años. Se emplearon parcelas rectangulares anidadas, de 100 m<sup>2</sup> con subparcelas de 50m<sup>2</sup> en su interior. El tamaño de la muestra fue de 15 parcelas (0,15 ha superficie de muestreo total).

Las medidas usadas para la caracterización de bosques son naturalmente las empleadas para cuantificar la degradación y la recuperación de los mismos. Entre las más comunes se pueden citar las que definen la “estructura”, tales como: área basal, biomasa, altura de los árboles, densidad, riqueza de especies, y las que caracterizan la “composición de especies”: densidad de especies, índices de diversidad, etc (Chazdon, 2003). Ambos aspectos: estructura y composición fueron abordados en esta investigación.

Para definir la estructura, en cada parcela mayor se midieron variables de diámetro y altura en árboles adultos: considerando como tales a individuos con un diámetro altura de pecho (dap)  $\geq 10$  cm. En sub-parcelas de 50 m<sup>2</sup> se midieron idénticas variables para *regeneración* considerando a los individuos con altura  $> 50$  cm y un diámetro de base  $\geq 5$  cm y  $< 10$  cm de dap. No se midieron individuos con diámetro  $< 5$  cm debido a que este compartimiento representa menos del 3% de la biomasa de un bosque maduro (Vaccaro *et al.*, 2003). Además se registraron diámetros de lianas (diámetro  $\geq 5$  cm medido a 1,30 m del último enraizamiento según los criterios tomados de Schnitzer *et al.* (2008). En arbustos multifustales, se midió altura total, área de copa registrando el diámetro más largo de la copa y su perpendicular, siguiendo a Conti *et al.* (2013). Para cada individuo registrado se utilizó una escala de calidad según: calidad: I (árbol sano, vigoroso), II (árbol deforme, bi o trifurcado), III (árbol enfermo o hueco), IV (árbol muerto en pie) y V (árbol caído).

Para definir la composición florística, se identificaron todas las especies presentes a campo o en gabinete (herborización). Luego se estimó el índice de diversidad de Shannon (H) para determinar la diversidad de especies (Ec.1).

$$H' = -\sum_{i=1}^s p_i \cdot \log_2 p_i \quad (1)$$

Donde:

$H'$ : índice de diversidad de Shannon

$S$ : número de especies (riqueza de especies)

$p_i$ : proporción de individuos de la especie  $i$  respecto al total de individuos (abundancia relativa de la especie  $i$ )  $n_i/N$

$n_i$ : número de individuos de la especie  $i$

$N$ : número total de individuos de todas las especies

## 2.3 Estimación de biomasa aérea leñosa (BAL)

Las ecuaciones alométricas son una metodología estándar para la estimación de la biomasa aérea leñosa de manera indirecta (Návar *et al.*, 2013; Chavé *et al.*, 2005; Brown *et al.*, 1989). En este caso se seleccionaron las ecuaciones de Chavé *et al.* (2014) para biomasa de árboles-arbustos-regeneración (Ec.2), la ecuación Conti *et al.* (2013) para biomasa de arbustos multifustales (Ec.3), y la ecuación de Gehring *et al.* (2004) para biomasa de lianas (Ec.4). Los valores se expresaron en toneladas de materia seca por hectárea (densidad de biomasa).

$$Y = 0,0673 \cdot (p \cdot D^2 \cdot H)^{0,976}$$

$$\ln(AGB) = -17,550 + 1,22 \cdot \ln(H) + 0,75 \cdot \ln(CA) + 55,92 \cdot WSG$$

$$\ln(\text{totalbiomass}) = -7,114 + 2,276 \cdot \ln(\text{diameter})$$

Donde: **Ec.2:**  $Y$ : Biomasa aérea leñosa (kg),  $D$ : diámetro a la altura de pecho (1,30 m) (cm<sup>2</sup>),  $H$ : altura total (m),  $p_i$ : Densidad básica o gravedad específica aparente de la madera (g/cm<sup>3</sup>). **Ec.3:**  $AGB$ : Biomasa aérea leñosa (kg),  $H$ : altura total (cm),  $WSG$ : Densidad básica o peso específico aparente de la madera (kg/dm<sup>3</sup>),  $CA$ : área de la copa (cm<sup>2</sup>).  $CA = \pi \cdot (R_1 \cdot R_2)$ .  $R_1$ : radio del diámetro más largo de la corona ( $CD_1$ ) (cm),  $R_2$ : radio del diámetro más corto de la corona ( $CD_2$ ), perpendicular a  $CD_1$  (cm).  $\ln$ : logaritmo neperiano. **Ec.4:** totalbiomass: biomasa total de lianas (kg), diameter: diámetro de liana (mm).

Se emplearon datos de densidad básica de la madera (g/cm<sup>3</sup>) de las especies presentes en el área de estudio utilizando bases de datos internacionales (Global Wood Density Database). Para las especies que no se encontraron valores de densidad, se usó el valor promedio de la/s densidad/es del mismo género, y para las que no se lograron identificar (13 %) –como los árboles muertos - se usó el promedio de densidad de todos los individuos por parcela.

Para los individuos de calidad III, IV y V (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.

## 2.5 Análisis de datos

Para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas en el stocks de biomasa del bosque estudiado entre los años 2006 y 2016, se aplicó la prueba estadística de T Student para medias apareadas considerando un  $\alpha: 0,05$  (nivel de significancia) y un nivel de confianza de 95%. Se empleó software INFOSTAT (2005). Además, se expresaron medidas de tendencia central y desvío para los parámetros

estructurales y estimaciones de biomasa aérea leñosa del bosque.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Composición florística

Se identificaron 19 spp (especies) en el año 2006 ,representado 17 géneros y 13 familias de las cuales *Euphorbiaceae* fue la más abundante, siguiéndole *Fabaceae* y *Myrtaceae*, con iguales proporciones de individuos. La riqueza del año 2016 fue de 18 spp: representadas en 17 géneros y 11 familias, de las cuales *Fabaceae*, *Euphorbiaceae* y *Myrtaceae* fueron las familias más abundantes (Tabla N° 2).

Tabla N° 2: Listado de especies (spp), género y familias identificadas en los años estudiados.

Nombre Vulgar	Nombre científico	Familia	Año 2006	Año 2016
Blanquillo	<i>Sebastianiacommersoniana</i>	Euphorbiaceae	X	X
Chalchal	<i>Allophylusedulis</i>	Sapindaceae	X	X
Churqui	<i>Acacia caven</i>	Fabaceae		X
Coronillo blanco	<i>Xylosmapubescens</i>	Salicaceae	X	X
Coronillo colorado	<i>Scutiabuxifolia</i>	Rhamnaceae	X	X
Eupato	<i>Eupatoriumsaltense</i>	Asteraceae	X	
Horcocebil	<i>Parapiptadenia excelsa</i>	Fabaceae		X
Laurel	<i>Phoebeperphyria</i>	Lauraceae	X	X
lecheleche	<i>Sebastianiabrasiliensis</i>	Euphorbiaceae	X	X
lecherón	<i>Sapiumhaematospermum</i>	Euphorbiaceae	X	X
Mato	<i>Myrcianthespungens</i>	Myrtaceae	X	X
Mirtácea	<i>Mirtácea sp</i>	Mirtáceae	X	X
Ortiguilla	<i>Bohemeriacaudata</i>	Urticaceae	X	
Palo barroso	<i>Blepharocalyxsalicifolius</i>	Myrtaceae	X	X
Palo blanco	<i>Calycophyllummultiflorum</i>	Rubiaceae	X	
Palo yerba	<i>Ilexparaguarensis</i>	Arquifoliaceae	X	X
San antonio	<i>Myrsinelatavirens</i>	Primulaceae	X	
Sacha higuera	<i>Caricaquercifolia</i>	Caricaceae		X
Seibo salteño	<i>Erythrinafalcata</i>	Fabaceae	X	X
Schinus	<i>Schinusmyrtifolius</i>	Anacardeaceae	X	
Tala	<i>Celtisiguanaea</i>	Cannabaceae		X
Tala blanca	<i>Durantaserratifolia</i>	Verbenaceae	X	X
Tipa	<i>Tipuanatipu</i>	Fabaceae	X	X

El Índice de diversidad de Shannon total (considerando regeneración y adultos) obtenido para el año 2006 fue de H=1,9 y para el año 2016 fue de H=2,2. Los resultados obtenidos para cada clase se presentan en la Tabla N°3:

Tabla 3: Índice de diversidad de Shannon (H), año 2006 y 2016.

Año	Clase	
	Regeneración	Adultos
2006	1,8	2,0
2016	1,0	2,2

#### 3.2 Estructura del Bosque al inicio del estudio (año 2006).

Al comienzo de la década bajo estudio, el bosque tenía un área basal (AB) de 17m<sup>2</sup>/ha incluyendo las clases de regeneración y adultos, contribuyendo la clase de adultos en mayor proporción (80%) al valor total (Tabla N° 4).

La comunidad forestal se encontraba dominada por *S. commersoniana*, *B. salicifolius*, *S. brasiliensis* y *A. edulis* (especies con mayor área basal), las cuales contribuían al AB total del bosque en una proporción del 33%, 32%, 23% y 20% respectivamente.

El bosque presentaba una densidad total de 2.280±619ind/ha, aportando la regeneración la mayor proporción (63%) (Tabla N° 4).

#### 3.3 Estructura del Bosque al final del estudio.

El bosque tiene un AB total de 18m<sup>2</sup>/ha, con un aporte del 89% de la fracción adulto (los valores extremos no fueron incluidos: 79,6 cm y 94,5 cm). Presenta una densidad total de 1.113±430 ind/ha, con una proporción de 62% de adultos (Tabla N° 5). La comunidad forestal se encuentra dominada por *S. buxifolia*, *S. commersoniana*, *A. edulis* y *B. salicifolius*, que contribuyen al AB total en una proporción del 28%, 10%, 10% y 8%.

Tabla N° 4: Resumen de parámetros estructurales del año 2006. Medias y desvíos estándar (±).

Variables	Clase	
	Regeneración	Adultos
dap (cm)	6,7 ± 1,3	17,2 ± 11,4
Altura (m)	5,4 ± 1,3	7,5 ± 2,4
AB (m <sup>2</sup> /ha)	-	13,7 ± 1,3
Densidad (ind/ha)	1.440±5,6	840±3,4

Tabla N° 5: Resumen de parámetros estructurales del bosque año 2016. Medias y desvíos estándar (±).

Variables	Clase	
	Regeneración	Adultos
dap(cm)	6,9±1,7	17,5±7,5
Altura (m)	5,3±2,2	8,8±3,3
AB (m <sup>2</sup> /ha)	-	16,0±0,0
Densidad (ind/ha)	440±253	693±294

#### 3.4 Biomasa aérea leñosa.

La biomasa aérea leñosa (BAL) existente en el bosque secundario en el lapso de tiempo estudiado se observa en la tabla N°6.

Tabla N°6: Biomasa aérea leñosa. Medias y error estándar (EE) e intervalo para 95% de confianza.

Año	BAL (t/ha)			
	Media	EE	Li(95%)	Ls(95%)
2006	127	30,6	88,52	210,51
2016	152	40,7	50,58	225,29

Existe una diferencia en la biomasa aérea leñosa de 25 t/ha entre el inicio y el final del periodo de estudio. Asumiendo que el bosque creció de manera regular y sostenida, la productividad estimada fue de 2,5 t/ha\*año. Considerando la totalidad de la superficie del bosque de galería, se obtuvo una biomasa acumulada total de 1.524 toneladas (2006) y 1.824 toneladas (2016); siendo las diferencias entre los años de referencia, estadísticamente significativas ( $t=0,48$ ;  $p<0,05$ ) (Tabla N° 7).

Tabla N° 7: Test T de Student para muestras apareadas.

T	Bilateral	Li(95%)	Ls(95%)
-4,08	0,001	4,67	47,12

#### 4. DISCUSIÓN

##### 4.1 Estructura y composición del bosque.

La estructura, composición y fisonomía actual del bosque en estudio son el resultado de los procesos naturales de sucesión vegetal operando en la zona, moldeados por las perturbaciones antrópicas existentes en la Reserva. Sin embargo, la imagen actual del bosque, con respecto a la estructura, biomasa y especies más abundantes, se muestra más favorable que el punto de partida. Posiblemente a través de las mejoras realizadas (alambrado, cortafuego, vigilancia permanente) se haya favorecido la recuperación del bosque, lo cual se evidencia en este estudio en un incremento significativo de la biomasa aérea leñosa de toda la superficie (12 ha) de 300 toneladas en 10 años (o un equivalente anual aproximado de 2,5 t/ha\*año).

La riqueza y composición florística, no varió mucho en el lapso de tiempo estudiado. Sin embargo en el año 2016 no se lograron identificar algunas especies (17%), con lo cual es posible que haya una mayor riqueza que la reportada en este trabajo.

Según la literatura (Grau *et al.*, 2010; Brown y Grau, 1999), se evidencia una tendencia a un aumento de la diversidad con la edad de bosques secundarios. Si bien en general existe variabilidad en la diversidad según el tipo de uso y cobertura de suelo, se observa una tendencia a valores mayores de diversidad en bosques originados a partir de cultivos, parcelas de cultivos abandonadas y campos de pastoreo abandonados, Brown y Grau (1999) mencionan que es posible encontrar bosques secundarios de 22 y 35 años con una riqueza de especies (17 spp) y diversidad que resultan equivalentes a la encontrada en los bosques primarios de Yungas.

Al fin de la década, la densidad tanto de regeneración como la de adultos disminuyó, en mayor magnitud la de regeneración (69%). Sin embargo, el área basal de la fracción de individuos adultos incrementó en mayor magnitud (15%) que en regeneración. Esto podría señalar que al inicio del estudio la tasa de reclutamiento de regeneración era elevada, pero con el tiempo, no todos los individuos pudieron sobrevivir; logrando instalarse efectivamente solo algunos de estos individuos pioneros. Dichos individuos pasaron a formar parte de la fracción de adultos, aumentando el área basal al final de la década, tanto de la regeneración instalada como la de los adultos que continuaron su crecimiento. Lo cual se refleja en el

incremento de la productividad del bosque que se muestra en la biomasa aérea leñosa estimada.

Los valores de densidad, riqueza de especies e índice de diversidad de Shannon obtenidos al final del estudio (2016), se encuentran dentro del rango de valores reportados en bosques primarios de Yungas del NOA (transición y selva montana) (Grau *et al.*, 1997; Ayarde *et al.*, 1995) y trabajos precedentes en la reserva (Ellenrieder, 2009b). No obstante, el valor obtenido de área basal fue levemente inferior a los informados (Tabla 8).

##### 4.2 Dinámica del bosque

Desde los años 70, la ecología en general y los estudios sobre dinámica forestal en particular, han cambiado sustancialmente. Los disturbios, cambios climáticos y heterogeneidad espacial son hoy reconocidos como factores de gran influencia sobre la estructura y funcionamiento de las comunidades vegetales, las que frecuentemente no se encuentran en equilibrio compositivo (Chesson y Huntly, 1997; Pickett y White, 1985); la importancia de entender estos patrones y procesos que se encuentran definidos por escalas temporales y espaciales enfatizan la visión dinámica de los bosques (Rahel, 1989; Pickett y White 1985). Por ejemplo, los gradientes altitudinales de vegetación reflejan un conjunto de patrones y procesos, ya que no solo reflejan la variación climática, sino también la variación en el régimen de disturbios, que a su vez depende de los cambios ambientales y de la vegetación misma (Veblen *et al.*, 1992; Harmon *et al.*, 1984).

Tabla N°8: Parámetros estructurales y su comparación con otros bosques de Yungas del NOA. ( $dap \geq 10$  cm).

Parámetro	Rango en el NOA	Autor
Densidad (n° ind/ha)	2,63 a 650 734 693	Ayarde <i>et al.</i> , 1995; Grau <i>et al.</i> , 1997 Ellenrieder, 2009b Este trabajo
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	21 a 39 28,6 16	Ayarde <i>et al.</i> , 1995; Grau <i>et al.</i> , 1997 Ellenrieder, 2009b Este trabajo
Riqueza de especies	14 a 34 22 18	Ayarde <i>et al.</i> , 1995; Grau <i>et al.</i> , 1997 Ellenrieder, 2009b Este trabajo
Índice de diversidad de Shannon (H)	0,5 a 2,5 2,46 2,2	Ayarde <i>et al.</i> , 1995; Grau <i>et al.</i> , 1997 Ellenrieder, 2009b Este trabajo

Según estudios realizados en la ecoregión de Yungas (Grau *et al.*, 2010; Brown y Grau, 1999) los bosques secundarios con el paso de los años, tienden a una composición florística y estructural de un bosque maduro. Un estudio realizado por Grau *et al.* (1997) acerca de la secuencia cronológica de recuperación de bosques nativos en áreas de cultivos de herbáceas y citrus en zonas de selvas montañas del noroeste argentino, indicó que la estructura, riqueza, diversidad y complejidad de un bosque maduro se alcanza a los 50 años,

y que para este tiempo recién comenzaron a aparecer ejemplares de especies propias de los bosques maduros.

Analizando la variación de la composición florística a lo largo de una década, en este trabajo obtuvimos que tanto en inicio y final del estudio, hubo una mayor abundancia de especies heliófilas pioneras tempranas en sucesión secundaria, tales como: *S. brasiliensis*, *S. commersoniana*, *S. buxifolia*. Sin embargo, en el año 2016 la abundancia de las mismas disminuyó en una proporción de 12% y 11%, para las dos primeras especies; mientras que en el caso de *S. buxifolia* incrementó un 5%. En esta misma instancia empezaron a aparecer otras especies, aunque en baja proporción tales como: *A. edulis* (9 %), *B. salicifolius* (5 %), *M. latevirens* (anteriormente *Rapanea latevirens*) (0,3%). Estas últimas especies fueron identificadas en otros trabajos (Grau *et al.*, 1997) como especies tolerantes y características de bosque maduro. Junto con ellas se identificaron otras heliófitas tales como *P. excelsa* y *T. tipu*, consideradas como especies pioneras de bosque maduro (Grau *et al.*, 1997).

Considerando como referencia la llegada de los primeros pobladores a Campo Alegre, los cuales realizaban uso del bosque, se podría estimar que los bosques secundarios del área protegida, incluyendo el bosque de estudio: bosque de galería tiene aproximadamente 86 años; con lo cual se podría asumir que el bosque se encuentra en un estadio sucesional avanzado, según lo observado en otros trabajos en bosques de yungas de mismo piso altitudinal, aunque con diferente fuente de disturbio (Grau *et al.* (2007).

Sin embargo, reconociendo los factores de disturbio previamente mencionados, que han estado operando en la zona hasta épocas recientes (pastoreo extensivo principalmente en el bosque de galería), y dado que se observa la abundancia de especies heliófitas tanto en el año 2006 como al final de la década (siendo ésta mayor que la abundancia de especies tolerantes pioneras de bosque maduro), es más factible pensar que este bosque aún está en proceso de recuperación. Se podría considerar que las especies típicas del ecosistema todavía no se han establecido totalmente.

Tabla N°9: Comparación con biomasa de otros bosques secundarios del mundo.

Bosques secundarios	Sitio de estudio	BAL (t/ha)	Autor
Menores de 20 años de Región tropical húmeda	Costa Rica	99,9	Chacón <i>et al.</i> (2007)
Menores de 20 años de Región tropical húmeda	Costa Rica	96	Ortiz y Kanninen (2000)
12 a 14 años de Brasil	Amazonia Central	120.9	Feldpausch <i>et al.</i> (2004)

#### 4.3 Biomasa aérea leñosa.

La cantidad de biomasa aérea leñosa en el bosque secundario de estudio tanto al inicio como fin de estudio es

ligeramente superior a la reportada para otros bosques secundarios del mundo (Tabla N°9); esto podría reflejar distintas condiciones de sitio, factores topográficos, régimen de disturbio u otros que influyen en el trascurso de los procesos sucesionales (Veblen *et al.*, 1992; Harmon *et al.*, 1984).

Otras investigaciones realizadas en bosques secundarios de 20 a 80 años de sucesión, en el trópico húmedo (Silver *et al.*, 2000); informaron una productividad de la biomasa aérea leñosa superior (2,9 t/ha\*año) a la productividad que obtuvimos en este trabajo (2,5t/ha\*año). Asimismo podría deberse a la edad del bosque secundario, régimen de perturbaciones, factores climáticos y de sitio, entre otros.

En el reconocimiento de que la mitad del contenido de biomasa aérea leñosa de un bosque es carbono (IPCC, 2007), podría estimarse que el sitio de estudio realiza actualmente una fijación de carbono de 1 tC/ha\*año, lo que implica 3,66 t CO<sub>2</sub>/ha\*año que no son emitidas anualmente a la atmósfera por el solo hecho de mantener estas masas boscosas.

Como es sabido, los bosques secundarios son ecosistemas de rápido crecimiento, por lo que en ellos se fijan grandes cantidades de carbono en periodos de tiempo cortos (Feldpausch *et al.*, 2004). Por lo tanto, puede esperarse que, si las medidas de vigilancia y control continúan agudizándose dentro de la Reserva, las expectativas de ganancia de carbono continuarán las tendencias actuales y/o aun serán superadoras de tal situación. Esta suposición se basa en reconocer que una gran cantidad de individuos vegetales leñosos ya puede considerarse como “establecidos” en el sentido de que, por su tamaño, han logrado cierta capacidad de supervivencia (mayor de 5 cm de dap).

Por otra parte, la mayor frecuencia de aparición de especies tolerantes a la sombra y más demandantes de ciertas condiciones de humedad, sombra, temperatura y características de suelo, da indicios de que se avanza en dicha dirección.

## 5. CONCLUSIONES

La estructura del bosque en estudio ha cambiado en el lapso de una década, sujeto a los factores de sitio y la intervención antrópica que se ha ido reduciendo con el paso de los años. Posiblemente, las mejoras realizadas en el área a partir de la constitución como Reserva Privada (área protegida), favorecieron la recuperación del bosque, lo cual se evidenció en un incremento significativo de la biomasa aérea leñosa de 300 toneladas de materia seca acumulada en toda la superficie estudiada (12 ha) durante el periodo considerado (10 años).

Por otra parte, los valores de densidad, riqueza de especies e índice de diversidad de Shannon (H) obtenidos para individuos con dap ≥ 10 cm (adultos), al finalizar el estudio (2016), es decir los últimos resultados obtenidos (actuales), se encuentran dentro del rango de valores reportados para bosques del NOA y trabajos anteriores realizados en el área, a pesar de tratarse de bosques secundarios en proceso de recuperación.

La biomasa aérea leñosa total del bosque de galería estimada en el periodo considerado, ha variado positivamente, con un *aumento relativo del 17%* con respecto al valor de inicio (año 2006: 127 t/ha y año 2016: 152 t/ha), siendo la diferencia en biomasa entre años estadísticamente significativa. En valores medios, la producción de biomasa fue de 2,5 t/ha\*año.

Por último, conocer la biomasa, estructura y composición es el primer paso para identificar estado de conservación, y manejo prioritarios. Se recomienda el monitoreo de biomasa aérea leñosa, mediante el establecimiento de parcelas de investigación y registro permanente en el resto de las unidades ambientales manifestadas en la reserva: Bosque de filo, Pastizal arbustal seco, Pastizal arbustal húmedo y Pastizales, a los fines de poder determinar la productividad en cada unidad ambiental y los factores que inciden en la regeneración de las especies.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por la beca doctoral otorgada al proyecto N° 36-88-506 de la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación y al CAM por posibilitar la investigación en la Reserva de su propiedad y su colaboración brindada en el terreno. A las estudiantes Noelia Barranco y Rita Díaz, por su colaboración en los trabajos de campo. A los pobladores del Departamento de La Caldera por la entrevista brindada, principalmente Sr. Máximo Reinaga y esposa, Sr. Horacio Sastre.

#### REFERENCIAS

Ayarde H. R. (1995). Estructura de un sector de la selva pedemontana. Reserva fiscal parque la florida, Tucumán (Argentina). Investigación, Conservación y Desarrollo En Selvas Subtropicales De Montaña. Universidad Nacional de Tucumán. In Brown A y Grau R (eds), Investigación, conservación y desarrollo en selvas subtropicales de montaña. LIEY, San Miguel de Tucumán, pp 69-78.

Brown A. Grau A. Lomáscolo T. Gasparri N. (2002). Una estrategia para la conservación de las selvas subtropicales de montaña (Yungas) de Argentina. *Ecotrópicos* 15(2):147-159. Sociedad Venezolana de Ecología.

Brown A. y Grau H. (1999). El bosque como fuente de recursos y oportunidades de desarrollo para comunidades campesinas del municipio de Los Toldos. Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de las Yungas. Universidad Nacional de Tucumán.

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 A. L. (1976). Regiones Fitogeográficas de Argentina. Buenos Aires (Argentina): ACME. 87 p.

Cairns M. Brown S. Helmer E. Baumgardne G. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111:1-11.

Chacón M. Leblanc H. Russo R. (2007). Fijación de carbono en un bosque secundario de la región tropical húmeda de Costa Rica. Universidad EARTH. *Tierra Tropical*, 3 (1): 1-11

Chavé J. Andalo C. Brown S. Cairns M. Chambers J. Eamus D. et al. (2005). Tree allometry and improved estimation

of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145(1):87-99.

Chavé J. Réjou-Méchain M. Búrquez, A. Chidumayo E. Colgan M.S. Delitti W.B. C. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Glob. Change Biol.* 20, 3177-3190

ECOTROPICOS 15(2):147-159 2002. Sociedad Venezolana de Ecología.

Chazdon R. L. (2003). Tropical Forest Recovery: legacies of human impact and natural disturbances. Anon. perspectives in plant ecology, evolution and systematics 6[1-2], 51-71.

Chesson P. y Huntly. (1997). The role of harsh and fluctuating conditions in the dynamics of ecological communities. *American Naturalist* 150: 519-553.

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.

Del Valle C. (2012). Estructura y composición florística de la Reserva Nacional El Nogalar Los Toldos provincia de Salta. Tesina de Grado. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.

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>.

Ellenrieder G. (2009b): Los árboles de la Reserva de Flora y Fauna de Campo Alegre. [www.noticam.com.ar/](http://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.

Enrich A. Pokorny B. Sepp C. (2000). Importancia del manejo de los bosques secundarios para la política de desarrollo. GTZ. Eschborn, DE. 197 p.

Feldpausch T. Rondon M. Fernandes E. Riha S. Wandelli, E. (2004). Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in Central Amazonia. *Ecological Applications* 14(4): 164-176.

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-Global Allometric Tree. Assessing volume, biomass and carbon stocks of trees and forests: <http://www.globalallometree.org/> Global Wood Density Data Base. EOL Encyclopedia of life. <http://eol.org/pages/638623/data>.

Grau H. Arturi M. Brown A. y Aceñolaz P. (1997). Floristic and structural patterns along a chronosequence of secondary forest succession in Argentinean subtropical montane forests. Anon. *Forest Ecology and Management* 95[2], 161-171.

Grau H. Paolini L. Malizia A. y Carilla J. (2010). Distribución, estructura y dinámica de los bosques de la sierra de San Javier (Tucumán, Argentina). Instituto de Ecología Regional, Facultad de Ciencias Naturales, UNT-CONICET

- Harmon M. Bratton S y White P. (1984). Disturbance and vegetation response in relation to environmental gradients in the Great Smoky Mountains. *Vegetation*, **55**, 3, 129-13955: 129-139.
- 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., et al. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pág.
- Lewis S. Lopez-Gonzalez G. Sonke B. Affum-Baffoe K. Baker T. Ojo L. et al. (2009). Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature* **457**, 1003-1007.
- Lomáscolo T. (2007). Diagnóstico socioambiental de la Reserva Nacional El Nogalar de Los Toldos y su área de influencia. Proyecto Alto Bermejo-Fundación ProYungas.
- 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):347-35, 1-10.
- Nuemann R. Garrido J. Lisi F. Matalía C. Samariago J. (2009). Reserva forestal y de fauna en Campo Alegre, Informe de Club Amigos de la Montana (CAM), 1-14.
- Ontiveros S. (2011). Estimación de los Índices de Protección Hidrológica de la Cuenca del Río Huayco Grande de la Reserva Nacional El Nogalar, Los Toldos provincia de Salta. Tesina de Grado. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.
- Ontiveros S. Manrique S. Franco J. Barranco N. (2015). Biomasa y Stock de Carbono en la Reserva de Campo Alegre, La Caldera, Provincia de Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **19**, 06.01-06.12.
- Ortiz R. Kanninen M. (2000). Evaluación económica del servicio de sumidero de carbono en diferentes ecosistemas forestales (en línea). In Robles Valle, G.R.; Oliveira Barbosa, K.; Villalobos Soto, R. Evaluación de los productos forestales no madereros en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, CR. p. 84-92. Consultado el 8 de febrero del 2006. Recuperado de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/AE159S/AE159S00.pdf>.
- Pérez R. García Fernández C. y Sayer J. (2007). Los Servicios ambientales de los bosques. *Ecosistemas* **16** (3): 81-90. AEET. Recuperado de <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=509>.
- Pichett S. y White P. (1985). *The Ecology of natural disturbances and patch dynamics*. Academic press. Orlando, USA.
- Rahel F. (1989). The hierarchical nature of community persistence. A problem of scale. *American Naturalist* **136**: 329-344.
- Santilli M. Moutinho P. Schwartzman S. Nepstad D. Curran L. Nobre, C. (2005). Tropical deforestation and the Kyoto Protocol. *Climatic Change* **71** (3), 267-276.
- Schnitzer A. Rutishauser S. Aguilar S. (2004). Supplemental protocol for liana censuses. *Forest Ecology and Management* **195**, 69-83.
- Silver W. L. Ostertag R. Lugo A.E. (2000). The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pastureland. *Restoration Ecology* **8**(4): 394-407.
- Terradas J. (2001). Ecología de la vegetación de la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes. Barcelona: Omega.
- 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. *Inerciencia*, **28** (9), 1-7.
- Van der Warf G. Morton D. DeFries R. Olivier J. Kasibhatla P. Jackson., et al. (2009). CO<sub>2</sub> emissions from forest loss. *Nat. Geosci.* **2** (11), 737-738.
- Veblen T. Kitzberger T. y Lara A. (1992). Disturbance and forest dynamics along a transect from Andean rain forest to Patagonian shrubland. *Journal of Vegetation Science* **3**: 507-520.