

TRABAJO CIENTÍFICO

# Variación temporal de biomasa en el Refugio Biológico de Mbaracayú, un remanente del Bosque Atlántico del Alto Paraná

*Biomass temporal variation in the Mbaracayú Biological Refuge, a remnant of the Upper Parana Atlantic Forest*

Caballero González, R. D.<sup>1</sup> y V. R. Kubota<sup>2</sup>

Recibido en abril de 2022; aceptado en octubre de 2022

## RESUMEN

Se evaluó la variación temporal de biomasa total en una parcela permanente de 1 ha instalada en el Refugio Biológico de Mbaracayú, ubicada en el Departamento Canindeyú, Paraguay, haciendo énfasis en la dinámica forestal y las clases diamétricas. Se estimó la biomasa total de los árboles con DAP  $\geq 10$  cm, empleando datos de mediciones del año 1997, 1999, 2001, 2005, 2009 y 2014. En 17 años, la densidad aumentó en 4,35 ind. año<sup>-1</sup> y la biomasa en 2,92 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. A excepción del año 2005, se registró un aumento gradual de biomasa a través del tiempo. La variación de biomasa fue más notable en las clases diamétricas inferiores. La conservación del área protegida y la restauración forestal que se llevó a cabo en el entorno del remanente boscoso pudo haber influido positivamente en el incremento de la biomasa total.

**Palabras clave:** Bosque subtropical, Clase diamétrica, Dinámica forestal, Parcela permanente, Restauración forestal.

## ABSTRACT

The temporal variation of the total biomass in a 1 ha permanent plot located in the Mbaracayú Biological Refuge, Canindeyú, Paraguay, was evaluated emphasizing its forest dynamics and diameter classes. The total biomass of individuals with DBH  $\geq 10$  cm was estimated, using measurement data from 1997, 1999, 2001, 2005, 2009 and 2014. In 17 years, the tree density increased by 4.35 ind. year<sup>-1</sup> and the biomass by 2.92 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. Except for 2005, a gradual increase of biomass was recorded over studied period. The biomass variation was more visible in lower diameter classes. The conservation of the protected area and the forest restoration carried out in the surroundings of the remnant forest may have had a positive influence on the increase of total biomass.

**Key words:** Subtropical forest, Diametric class, Forest dynamics, Permanent plot, Forest restoration.

<sup>1</sup> División de Áreas Protegidas, Dirección de Coordinación Ejecutiva, ITAIPU Binacional, Alto Paraná, Paraguay, <https://orcid.org/0000-0003-2932-508X>.

<sup>2</sup> División de Áreas Protegidas, Dirección de Coordinación Ejecutiva, ITAIPU Binacional, Alto Paraná, Paraguay, <https://orcid.org/0000-0001-7080-7406>. E-mail: [kubota@itaipu.gov.py](mailto:kubota@itaipu.gov.py)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los bosques juegan un papel relevante en el ciclo global de carbono, pudiendo actuar tanto de sumidero como de fuente de carbono, lo último especialmente cuando sufren alteración o deforestación (Pan *et al.*, 2011). La biomasa disponible en América del Sur disminuyó 20.962 millones de Mg en el período 1990-2020 debido a la reducción de la superficie boscosa, registrándose actualmente 198.556 millones de Mg a nivel regional, que en promedio equivale a 235,2 Mg ha<sup>-1</sup> (FAO, 2020). A su vez, el Bosque Atlántico fue un gran reservorio de carbono antes de la pérdida masiva de su superficie, siendo su almacenamiento actual y variación futura relevante para el balance global de carbono.

El Bosque Atlántico del Alto Paraná (BAAPA) es una de las 15 ecorregiones que forma parte del Complejo Ecorregional Bosque Atlántico y ocupa parte de Brasil, Paraguay y Argentina con una superficie original de 47.120.400 ha (Di Bitetti *et al.*, 2003). En los últimos siglos, el BAAPA fue explotado mediante la extracción de maderas de especies de alto valor comercial y de grandes dimensiones, ocasionando la reducción de cantidad de árboles grandes en los bosques remanentes (Fleytas, 2007; Tortorelli, 1967). Además, en las últimas décadas, extensas superficies del BAAPA fueron transformadas principalmente para usos agropecuarios (De Sy *et al.*, 2015). En Paraguay, la cobertura del BAAPA se redujo a 13,4 al 19,7 % de su cobertura original (Di Bitetti *et al.*, 2003; Hirata *et al.*, 2011). Como consecuencia, los remanentes forestales se encuentran altamente fragmentados, encontrándose principalmente dentro de las áreas protegidas (Da Ponte, 2017). Esta historia de disturbio se ve reflejado en la biomasa y contenido de carbono actual de los remanentes del BAAPA en Paraguay (Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Asunción [FCA-UNA], 2013).

En el Bosque Atlántico, los remanentes fragmentados con efecto borde y aquellos degradados tienden a tener menor biomasa en comparación a aquellos en buen estado de conservación. (Dantas de Paula *et al.*, 2011, Lindner y Sattler, 2012). Además, en la región amazónica fue reportado un posible colapso de biomasa en bosques fragmentados, siendo la pérdida y daños en los árboles de gran dimensión una de las causas de la reducción de biomasa (Laurance *et al.*, 1997; Laurance *et al.*, 2000). Situaciones similares a las observadas por estos autores podrían darse en los Bosques Atlánticos (Dantas de Paula *et al.*, 2011). Considerando el estado actual de fragmentación y degradación del BAAPA, es relevante estudiar la biomasa de los remanentes, así como su fluctuación a través del tiempo y los mecanismos para su apropiada conservación. El mantenimiento de estos fragmentos es relevante para lograr mayor resiliencia de estos ecosistemas, además de la mitigación de la crisis climática. A pesar de la relevancia del tema, el patrón de distribución y la fluctuación de la biomasa en bosques degradados y fragmentados son aún poco conocido para el BAAPA.

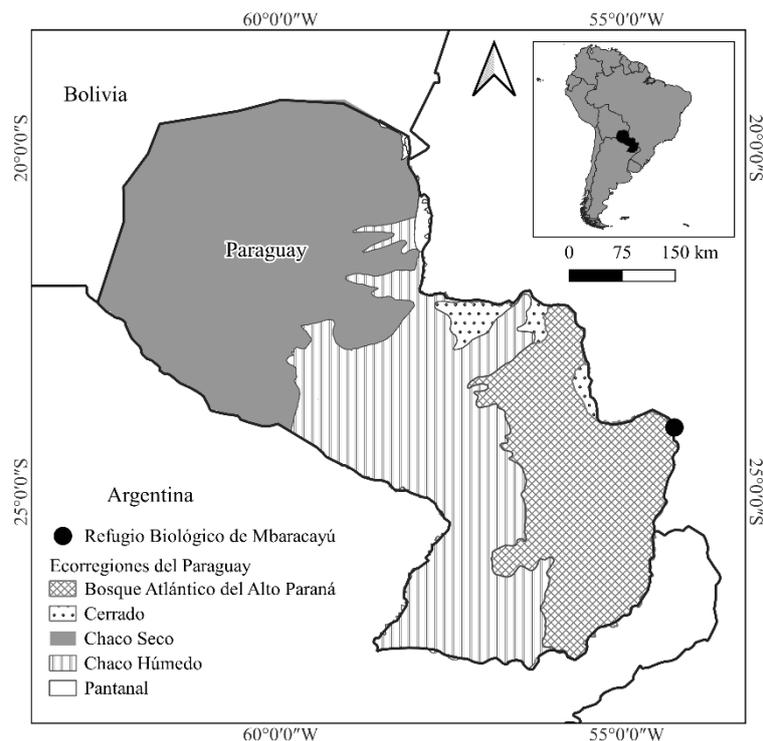
El Refugio Biológico de Mbaracayú es un área silvestre protegida en donde fueron realizadas labores de conservación y restauración forestal activa (Caballero, 2014; ITAIPU, 2016). Los pequeños fragmentos de bosques remanentes que se encontraban dentro del Refugio en el momento de su creación, son una de las pocas masas forestales de la región que pueden reflejar la dinámica de biomasa de un bosque beneficiado por esfuerzos de conservación y restauración en su entorno. Los datos sobre la variación temporal de biomasa de estos fragmentos pueden ofrecer insumos valiosos para el diseño de prácticas de conservación de fragmentos del BAAPA.

En este estudio se analizaron datos de una parcela permanente con 17 años de monitoreo con el objetivo de estudiar la variación temporal de la biomasa total, con énfasis en mortalidad, reducción volumétrica, crecimiento y reclutamiento de los árboles, en conjunto y por clases diamétricas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en una parcela permanente de monitoreo instalada en el Refugio Biológico de Mbaracayú ( $24^{\circ} 2' 23,47''$  latitud sur -  $54^{\circ} 18' 40,50''$  longitud oeste), que se encuentra en una zona periurbana del municipio de Saltos de Guará, Departamento de Canindeyú (Figura 1). La altitud del terreno oscila entre los 220 y 320 m s. n. m. y presenta una temperatura media anual de  $21,9^{\circ}\text{C}$  y una precipitación media anual de 1.630 mm, con verano lluvioso e invierno seco (ITAIPU, 2016). En la zona domina el suelo derivado de arenisca, del orden Ultisol subgrupo Rhodic Paleudult de textura francosa gruesa (Vera Monge, 2009).



**Figura 1.** Ubicación del Refugio Biológico de Mbaracayú (punto negro) dentro de la ecorregión Bosque Atlántico del Alto Paraná

El Refugio Biológico de Mbaracayú es un área silvestre protegida que corresponde a la Hidroeléctrica ITAIPU Binacional y tiene una gestión binacional (Paraguay y Brasil, ITAIPU, 2016). El Refugio fue creado en el año 1984, y en su inicio sólo contaba con algunos fragmentos del bosque remanente (Figura 2; Caballero, 2014). A partir de su creación, fue implementada la restauración activa que consistió en la plantación de especies arbóreas y remoción de pasturas exóticas, mediante las cuales el Refugio cuenta actualmente con una cobertura forestal casi en toda su extensión (ITAIPU, 2016).



**Figura 2.** Proceso de recuperación de la cobertura forestal en el Refugio Biológico de Mbaracayú y la ubicación de la parcela permanente indicada con un punto blanco; **A.** Ortofotocartas del año 1994 (DISERGEMIL, 1994); **B.** Imagen satelital del año 2004 y **C.** del año 2016 (Google Earth, 2004 y 2016).

Estos remanentes boscosos corresponden a un bosque subtropical semideciduo con especies latifoliadas (Vera Monge, 2009). Algunas de las especies arbóreas abundantes son: *Guarea kunthiana* A. Juss. (karaja bola), *Citrus aurantium* L. (apepu), *Alchornea triplinervia* (Spreng.) Müll. Arg. (chipa rupa), *Plinia rivularis* (Cambess.) Rotman (yva poroity), *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg (guavira pyta), *Jacaratia spinosa* (Aubl.) A. DC. (jacaratia), *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler) Engl. (aguai), *Nectandra lanceolata* Nees & Mart. (aju'y moroti), *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. (cancharana), *Cedrela fissilis* Vell. (cedro), además de especies características de la zona como *Annona cacans* Warm. (aratiku guasu) y *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze (ka'í ka'y gua) (Caballero, 2014). La mayoría de estas especies son secundarias o climáticas, destacándose además la abundancia de *C. aurantium* que es introducida y naturalizada (Vera Monge, 2009). La cantidad de árboles por hectárea puede superar los 500 individuos que corresponden a unas 64 especies y la altura máxima del estrato arbóreo alcanza los 29 m (Vera Monge, 2009).

### Muestreo y análisis de datos

Fueron empleados datos de mediciones de una parcela permanente de 100 m × 100 m (1 ha) (Caballero, 2014), correspondientes a los años 1997, 1999, 2001, 2005, 2009 y 2014, abarcando un período de 17 años. Esta parcela fue instalada en el fragmento de bosque nativo más grande que existía en el Refugio (30 ha aprox.) y se encuentra en un lugar con pocas variaciones topográficas (Figura 2). Todos los árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 10 cm están enumerados con chapas metálicas e identificados taxonómicamente. En la primera medición fueron registrados datos de DAP, altura total y especie de todos los individuos vivos, mientras que, para las mediciones posteriores, fueron tomados datos de individuos vivos, incluyendo a los reclutados que alcanzaron el DAP mínimo considerado; además fueron registrados aquellos muertos después de la medición anterior. El DAP fue medido empleando cintas diamétricas, mientras que la altura fue estimada empleando como referencia una vara altimétrica.

Se estimó la biomasa total (sumatoria de la biomasa aérea y subterránea) de los individuos registrados en cada una de las mediciones empleando una ecuación alométrica (Sato *et al.*, 2015). Para los individuos bifurcados por debajo del DAP, fue empleado el diámetro cuadrático medio DCM, (Magarik *et al.*, 2020).

$$BT = 0.0505 \times (D^2 \times H)^{0.9564}$$

Donde:

BT = Biomasa total (kg),

D = DAP (cm) o DCM (cm),

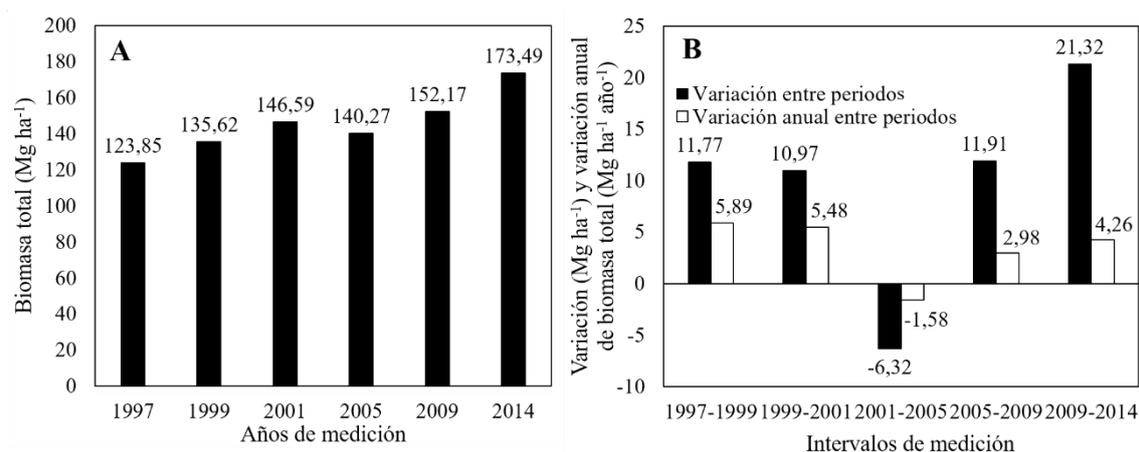
H = altura total (m)

Los individuos de *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman (pindo) fueron excluidos de la estimación debido a que la ecuación empleada no es apta para las palmeras y su abundancia fue mínima (< 1 %); en la medición del 1997, 1999 y 2001 fueron registrados tres individuos de *S. romanzoffiana* y en el 2005, 2009 y 2014, cuatro individuos. La biomasa de la parcela para cada medición fue estimada mediante la sumatoria de la biomasa total de todos los individuos vivos registrados en la ocasión y expresada en Mg ha<sup>-1</sup>. Se comparó la biomasa total entre las mediciones para determinar su variación temporal. Se analizó la contribución del crecimiento (un crecimiento mayor a las pérdidas de biomasa por daños en el tejido, excluyendo a los reclutados) y el reclutamiento de individuos en el incremento de biomasa, así como la influencia de la muerte y la disminución de DAP (por daños en el fuste) y/o altura total (por rotura de la parte aérea) en la reducción de biomasa, debido a su transformación a la necromasa. El mismo análisis se realizó también por clase diamétrica.

### 3. RESULTADOS

#### Variación de biomasa

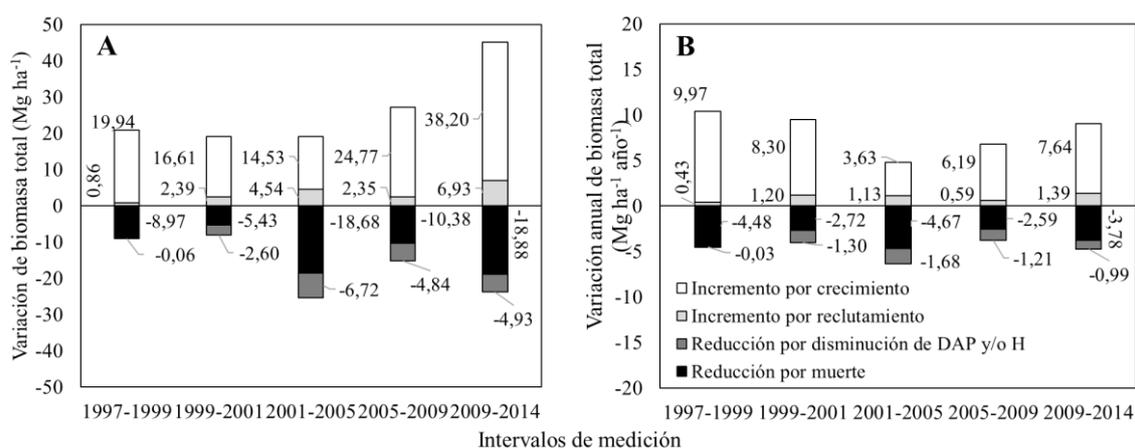
La cantidad de árboles registrados fueron 467, 450, 470, 518, 526 y 541, para los años 1997, 1999, 2001, 2005, 2009 y 2014, respectivamente. En el transcurso de 17 años, hubo un incremento en 74 individuos (4,35 ind. ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y un aumento de biomasa de 49,64 Mg ha<sup>-1</sup> (2,92 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, Figura 3A). A excepción del año 2005, se observó un incremento gradual de biomasa a través de los años (Figura 3 A y B).



**Figura 3. A.** Comparación de la biomasa total entre las mediciones; **B.** Comparación de la variación de biomasa total y de la variación anual de biomasa total entre los períodos de medición

En todos los períodos, hubo ganancia de la biomasa total debido al crecimiento y reclutamiento de los individuos. Asimismo, fue registrada la reducción de biomasa total por la muerte de individuos y la disminución del DAP y/o altura total (Figura 4 A y B).

En el período 1997 - 1999 y 1999 - 2001 fueron registrados un aumento de 5,89 y 5,48 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. La variación fue provocada por un aumento de 10,4 y 9,5 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y una reducción de 4,51 y 4,02 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en ambos períodos (Figura 3B y Figura 4B). En el período 1997-1999 fue registrado el menor número de individuos muertos y de árboles con disminución de DAP y/o altura total (Tabla 1). En el período 2001 - 2005 fue registrado una reducción de biomasa de 6,32 Mg ha<sup>-1</sup> que equivale a 1,58 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Figura 3B). En este período se observó el menor aumento de biomasa por crecimiento, así como la menor cantidad de individuos con crecimiento (Figura 4B y Tabla 1). Además, se encontró la mayor reducción de biomasa por muerte y por reducción de DAP y/o altura total. En los últimos dos intervalos, nuevamente fueron registrados aumentos de biomasa total (2,98 y 4,26 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). La mayor cantidad de individuos muertos e individuos con crecimiento fueron registrados en el período 2009 - 2014 (72 y 402 ind. ha<sup>-1</sup>, Tabla 1).



**Figura 4.** A. Comparación de la variación de biomasa total debido a la muerte, disminución de DAP y/o altura (H), crecimiento y reclutamiento de individuos entre períodos; B. Comparación de la variación anual de biomasa total debido a la muerte, disminución de DAP y/o altura (H), crecimiento y reclutamiento de individuos entre períodos.

**Tabla 1.** Número de árboles muertos, con disminución de DAP y/o altura (H), reclutados y con crecimiento registrados entre intervalos de medición (ind. ha<sup>-1</sup>).

	1997-1999	1999-2001	2001-2005	2005-2009	2009-2014
Muertos	40	44	53	44	72
Con disminución de DAP y/o H	5	19	80	95	47
Reclutados	23	64	101	52	87
Con crecimiento*	381	321	290	370	402

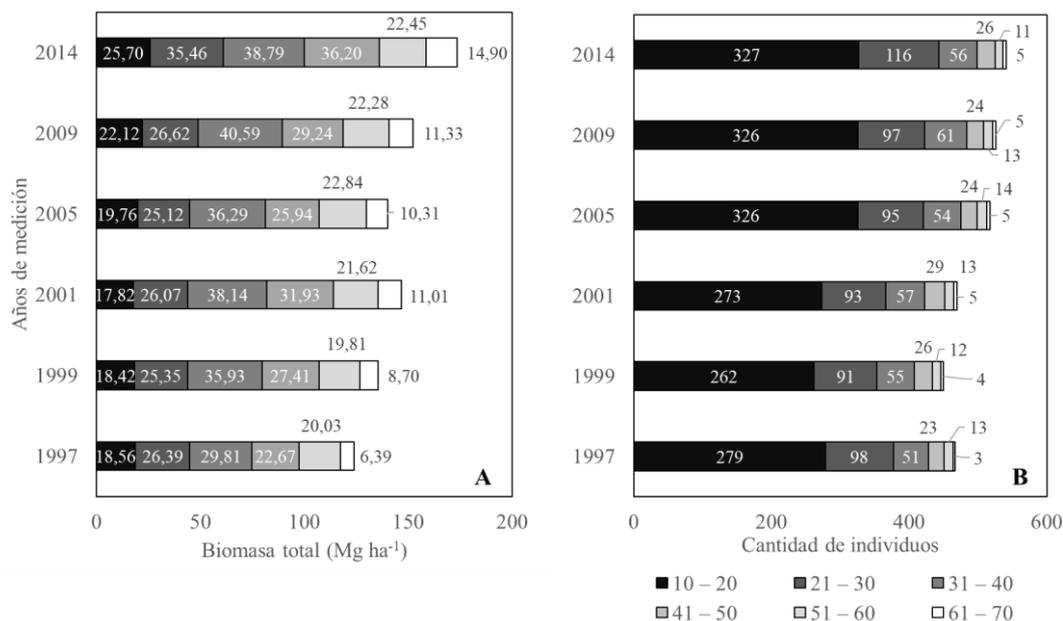
\* individuos registrados en la medición anterior que presentaron aumento de BT

### Variación de biomasa por clase diamétrica

En todas las mediciones, hubo mayor cantidad de individuos con diámetros inferiores, adoptando la distribución de la “J invertida” (Figura 5). Por otra parte, el mayor valor de biomasa total fue registrado en la clase diamétrica 30-39,9 cm en todos los casos, mientras que el menor valor de biomasa fue encontrado en la clase 60-69,9 cm. En el intervalo de 17 años, fueron registrados 25 individuos que alcanzaron un DAP  $\geq$  50 cm, de los cuales siete murieron a lo largo del mencionado período.

Se observó mayor incremento de biomasa total en los individuos de las clases diamétricas inferiores (Tabla 2). Los individuos que correspondían a la clase diamétrica 10-19,9 cm en el

2009 sumados a los reclutados presentaron un incremento en conjunto de 3,61 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para la medición del año 2014, siendo el valor máximo de incremento por clase diamétrica registrado en el período de 17 años. A pesar de que las variaciones de biomasa fueron menores en los individuos de la clase diamétrica superior (60 - 69,9 cm), cada individuo de gran dimensión tuvo elevada influencia en la fluctuación de biomasa.



**Figura 5. A.** Distribución de biomasa total (Mg ha<sup>-1</sup>) y **B.** cantidad de individuos por clase diamétrica (cm)

**Tabla 2.** Ganancia por crecimiento y por reclutamiento (Gan.), reducción por muerte y disminución de DAP y/o altura (Red.) y variación de biomasa total (Dif.) por clase diamétrica (cm). La clasificación diamétrica de los individuos fue realizada según su DAP al principio de cada período y los reclutados fueron incorporados a la clase 10-19,9 cm de cada período. Todos los valores están en Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Clase diamétrica	1997-1999			1999-2001			2001-2005			2005-2009			2009-2014		
	Gan.	Red.	Dif.												
10-19,9	3,03	0,75	2,27	2,91	1,01	1,90	2,17	0,81	1,36	2,44	0,67	1,77	3,61	0,60	3,01
20-29,9	2,50	0,96	1,54	2,08	1,20	0,88	0,83	1,01	-0,19	1,36	0,52	0,84	1,75	0,64	1,11
30-39,9	2,50	1,06	1,44	2,15	0,79	1,37	0,95	0,97	-0,03	1,20	1,04	0,17	1,54	1,60	-0,06
40-49,9	0,98	0,86	0,12	1,71	0,81	0,90	0,54	2,37	-1,84	0,94	0,40	0,55	1,09	1,02	0,07
50-59,9	1,33	0,00	1,33	0,50	0,00	0,50	0,28	0,72	-0,44	0,49	0,40	0,08	0,66	0,55	0,11
60-69,9	0,06	0,88	-0,82	0,15	0,21	-0,06	0,00	0,45	-0,45	0,34	0,78	-0,43	0,38	0,35	0,03

## 4. DISCUSIÓN

### Variación de biomasa

Los valores de biomasa total registrados en el período de 17 años se encontraron dentro del rango reportado para los bosques en distintos estados de conservación del BAAPA (22,83 a 193,58 Mg ha<sup>-1</sup>; Molas, 2016; Rodas Amarilla, 2016; Kubota *et al.*, 2021).

Los estudios de fluctuación de biomasa desarrollados hasta la fecha en el BAAPA corresponden a bosques con diferentes historias de degradación. Rodas Amarilla (2016) encontró un incremento de biomasa total de 4,04 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en un bosque secundario con 29 años de restauración

pasiva. Mientras que Molas (2016) y Kubota *et al.*, (2021) reportaron respectivamente un aumento de 2,35 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y 0,82 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en un período de 5 y 21 años respectivamente, en una parcela alterada en el pasado, que se encuentra en proceso de recuperación y está instalada en un bosque con cobertura continua dentro de áreas protegidas. Al igual que otros reportes, los resultados de este estudio indicaron una tendencia de incremento de la biomasa forestal a través del tiempo, siendo la variación en el transcurso de 17 años (2,92 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), ligeramente superior a la reportada por Molas (2016).

Los incrementos de la biomasa arbórea observados en los remanentes del BAAPA sugieren que los bosques estudiados aún se encuentran en proceso de recuperación y por ende la cantidad de carbono captado podría estar superando a la cantidad emitida a la atmósfera por estos ecosistemas. Es necesario generar más información sobre la fluctuación del contenido de carbono en los demás estratos (herbáceas, necromasa y suelo) y en los bosques de distintos estados de conservación para lograr un conocimiento integral y real sobre la participación del BAAPA en el ciclo global de carbono.

La ganancia de biomasa fue mayor en la clase diamétrica inferior debido al crecimiento y reclutamiento de individuos. Este resultado sugiere que la parcela cuenta con elevada cantidad de regeneración natural, que presenta un incremento volumétrico importante. Tendencias similares fueron reportadas por Chave *et al.* (2003) quienes encontraron una clara tendencia de incremento de biomasa en las clases diamétricas inferiores (1-30 cm) y una reducción en las clases superiores (40-110 cm), en una parcela de 50 ha de Panamá. Una tendencia similar fue reportada para clases diamétricas inferiores por Kubota *et al.* (2021), en una parcela ubicada en el BAAPA, Paraguay.

En la parcela estudiada fueron registrados pocos individuos de gran dimensión (el DAP máximo fue de 66,5 cm), probablemente debido a que se trata de un bosque degradado en proceso de recuperación. Los árboles de gran dimensión tienen elevada biomasa y su presencia aumenta el valor del mismo por superficie unitaria. Considerando que algunas de las especies registradas en la parcela pueden llegar a tener un DAP superior a 100 cm (López *et al.*, 2002), se podría esperar que la biomasa del bosque estudiado alcance un valor mayor a medida que avance su estado de recuperación.

### **Implicancia de la conservación de los bosques fragmentados**

A excepción de los bosques conservados en áreas protegidas, la mayoría de los bosques remanentes del BAAPA se encuentran altamente fragmentados en pequeños parches (Da Ponte *et al.*, 2017). Los efectos de la fragmentación sobre la biomasa forestal y los métodos de manejo de estos fragmentos para la conservación de su biomasa son temas relevantes que deben ser estudiados para diseñar e implementar mecanismos de conservación de ecosistemas y mitigación de la crisis climática.

Dantas de Paula *et al.*, (2011) y Laurance *et al.*, (1997) mencionan que la biomasa de los bosques fragmentados y aquellos que sufren del efecto borde tienden a ser menor a la de los bosques en buen estado de conservación y su valor podría reducirse a través del tiempo. La reducción de biomasa en los bosques expuestos a estas condiciones desfavorables puede deberse a la pérdida de árboles de gran dimensión, ya sea a causa del estrés fisiológico por viento, sequía, fuego o de la tala (Dantas de Paula *et al.*, 2011; Laurance *et al.*, 1997). En la parcela estudiada se observó una tendencia inversa a lo reportado por estos autores, debido probablemente a la recuperación gradual de su estructura a partir de la creación del área protegida en el año 1984 y la eliminación del efecto borde a través de la restauración forestal desarrollada en su entorno. Los resultados de este estudio son alentadores, debido a que sugieren la posibilidad de incrementar la biomasa en los bosques fragmentados mediante actividades de conservación y otras intervenciones como la restauración forestal en su entorno.

## 5. CONCLUSIONES

Se comprobó el aumento de la biomasa total en la parcela permanente ubicada en el Refugio Biológico de Mbaracayú en el transcurso de 17 años. Los principales factores que afectaron a la fluctuación de la biomasa total fueron la muerte y el crecimiento de los individuos. En todas las mediciones, se encontraron mayores variaciones de biomasa en las clases diamétricas inferiores.

Mediante este estudio queda comprobado que los bosques fragmentados del BAAPA pueden incrementar su biomasa si son gestionados como parte de un área protegida. Es necesario proteger los remanentes boscosos del BAAPA y restaurar su entorno para lograr mantener o incrementar su biomasa arbórea.

## AGRADECIMIENTOS

La instalación y las mediciones de la parcela permanente fueron realizadas con recursos de ITAIPU Binacional. Se agradece a todas las personas que participaron y apoyaron las mediciones de la parcela estudiada a lo largo de 17 años, en especial a: Carlos Giménez Facetti (†), Amancio Mallorquín, Nicolás Coronel, Vicente López, Edgar Domínguez, Rubén Rodríguez, German Mendoza (†), Néstor Ayala (†), Guillermo Caballero, Antonio Lomaquis, Francisco Calonga y Raúl Ortega, quienes iniciaron este monitoreo instalando la parcela y realizando la primera medición.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caballero, R. 2014. Análisis estructural y dinámico de la parcela permanente de medición y monitoreo de la biodiversidad del Refugio Biológico Mbaracayú: fitosociología forestal, análisis de datos de campo. *Biota*. Paraguay. 17 p.
- Chave, J.; R. Condit; S. Lao; J. Caspersen; R. Foster y S. Hubbell. 2003. Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal of Ecology* 91: 240-252. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2003.00757.x>.
- Dantas de Paula, M.; C. P. Alves Costa; M. Tabarelli. 2011. Carbon storage in a fragmented landscape of Atlantic Forest: the role played by edge-affected habitats and emergent tree. *Tropical Conservation Science* 4(3): 340-349. <https://doi.org/10.1177/194008291100400310>.
- Da Ponte, E.; M. Roch; P. Leinenkugel; S. Dech y C. Kuenzer. 2017. Paraguay's Atlantic Forest cover loss - Satellite-based change detection and fragmentation analysis between 2003 and 2013. *Applied Geography* 79: 37-49. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.005>.
- De Sy, V.; M. Herold; F. Achard; R. Beuchle; J. G. P. W. Clevers; E. Lindquist y L. Verchot. 2015. Land use patterns and related carbon losses following deforestation in South America. *Environmental Research Letters* 10: 124004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/124004>.
- Di Bitetti, M.; G. Placci y L. Dietz. 2003. *A biodiversity vision for the Upper Paraná Atlantic Forest ecoregion: designing a biodiversity conservation landscape and setting priorities for conservation action*. Washington, USA: World Wildlife Fund. 154 p.
- Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Asunción [FCA-UNA]. 2013. *Mapa de stock de carbono Bosque Atlántico del Alto Paraná* [en línea] [fecha de consulta: mayo 2021]. Disponible en: <https://globallandusechange.org/wp-content/uploads/2017/10/Reporte.-2014.-Carrera-Ingeneria-Forestal-UNA-Desarrollo-del-estudio-de-linea-de-base-para-el-sitio-piloto-Bosque-Atlantico-Alto-Parana.pdf>.
- FAO. 2020. *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report*. Rome. 184 p. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>.
- Fleytas, M. C. 2007. Cambios en el paisaje: evolución de la cobertura vegetal en el Paraguay. En: D. A. Salas-Dueñas y J. F. Facetti (eds.). *Biodiversidad del Paraguay: una aproximación a sus realidades* (pp. 77-87). Asunción: Fundación Moisés Bertoni, USAID, GEF/BM.

- Hirata, Y.; M. Takahashi; A. L. Vega; L. Rejalaga Noguera; N. Guerrero; L. Cabrebra. 2011. *Mapa de cobertura de la tierra Paraguay 2011*. FFPFI, FCA/UNA. Paraguay. 33 p.
- ITAIPU Binacional. 2016. *Plan de Manejo 2017-2021 del Refugio Biológico Binacional Mbaracayú*. Asunción. Editorial fotosíntesis. Paraguay. 141 p.
- Kubota, V. R.; R. D. Caballero González; A. E. Fernández Lomaquiz. 2021. Variación de biomasa en un periodo de 21 años en un Bosque Atlántico del Alto Paraná (Paraguay). *Forestal Colombia* 24(1): 60-70. <https://doi.org/10.14483/2256201X.16313>.
- Laurance, W. F.; P. Delamonica; S. G. Laurance; H. L. Vasconcelos y T. E. Lovejoy. 2000. Rainforest fragmentation kills big trees. *Nature* 404: 836. <https://doi.org/10.1038/35009032>.
- Laurance, W. F.; S. G. Laurance; L. V. Ferreira; J. M. Rankin-d Merona; C. Gascon y T. E. Lovejoy. 1997. Biomass collapse in Amazonian forest fragments. *Science* 278: 1117-1118. <https://doi.org/10.1126/science.278.5340.1117>.
- Lindner, A. y D. Sattler. 2012. Biomass estimations in forests of different disturbance history in the Atlantic Forest of Rio de Janeiro, Brazil. *New Forests* 43: 287-301. <https://doi.org/10.1007/s11056-011-9281-9>.
- López, J. A.; E. L. Little; G. F. Ritz; J. S. Rombold; W. J. Hahn. 2002. *Árboles comunes del Paraguay: ñande yvyra mata kuera*. FCA-UNA/Cuerpo de Paz. Paraguay. 458 p.
- Magarik, Y. A. S.; L. A. Roman y J. G. Henning. 2020. How should we measure the DBH of multi-stemmed urban trees? *Urban Forest & Urban Greening* 47: 126481. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126481>.
- Molas, C. 2016. *Variación temporal de la biomasa y carbono de un bosque del BAAPA en el periodo 2010-2015, Reserva Natural del Bosque Mbaracayú, Departamento de Canindeyú* (Tesis de grado, Ingeniería Ambiental). Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay. 118 p.
- Pan, Y.; A. R. Birdsey; J. Fang; R. Houghton; P. E. Kauppi; W. A. Kurz; P. L. Phillips; A. Shvidenko; S. L. Lewis; J. G. Canadell; P. Ciais; R. B. Jackson; S. W. Pacala; A. D. McGuire; S. Piao; A. Rautiainen; S. Sitch y D. Hayes. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333: 988-993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>.
- Rodas Amarilla, G. D. 2016. *Variación temporal de la biomasa y carbono de un bosque secundario del BAAPA, periodo 2009-2016, Reserva Natural del Bosque Mbaracayú, departamento de Canindeyú* (Tesis de grado, Ingeniería Forestal). Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay. 136 p.
- Sato, T.; M. Saito; D. Ramírez; L. F. Pérez de Molas; J. Toriyama; Y. Monda; Y. Kiyono; E. Herebia; N. Dubie; E. Duré Vera; J. D. Ramírez Ortega y M. Vera de Ortiz. 2015. Development of allometric equations for tree biomass forest ecosystems in Paraguay. *Japan Agricultural Research Quarterly* 49(3): 281-291.
- Tortorelli, L. A. 1967. Formaciones forestales y maderas del Paraguay. *Instituto Forestal Latino-Americano de Investigación y Capacitación* 24: 3-34.
- Vera Monge, V. R. 2009. *Comparação de associações vegetais sobre diferentes tipos de solos na área de influência da Represa Itaipu, para reconhecimento de espécies apropriadas para restauração ecológica* (Tesis de doctorado, Doctor en Recursos Forestales). Universidad de San Pablo, Brasil. 473 p.

