

Nota técnica

SERVICIO ECOSISTÉMICO DE REGULACIÓN DE UN BOSQUE DE GALERÍA DEL ARROYO SAN LORENZO, PARAGUAY

Maura Isabel Díaz-Lezcano^{1/}, Manuel David Rodríguez-Benítez², Higinio Moreno-Resquín³, Cristian Andrés Britos-Benítez⁴*

Palabras clave: Composición florística; estimación de carbono; nutrientes del suelo; velocidad de infiltración; servicio ecosistémico.

Keywords: Floristic composition; carbon estimation; soil nutrients; infiltration rate; ecosystem service.

Recibido: 17/05/2021

Aceptado: 12/08/2021

RESUMEN

Introducción. Los bosques son los ecosistemas terrestres más diversos y cumplen funciones ambientales y ecológicas, sociales y económicas, ofrecen beneficios directos e indirectos al entorno, uno de los principales es el servicio de regulación. **Objetivo.** Analizar el servicio ecosistémico de regulación relacionado con el carbono almacenado y el aprovisionamiento de agua y nutrientes del bosque de galería del Arroyo San Lorenzo, Paraguay. **Materiales y métodos.** El trabajo se realizó en el bosque de galería del arroyo San Lorenzo, Paraguay. Fueron establecidas 4 parcelas de 750 m² cada una para el relevamiento de los datos. Las variables estudiadas fueron: la composición florística, las propiedades físicas y químicas del suelo, la velocidad de infiltración media del agua y el carbono acumulado en el estrato arbóreo aéreo, radicular y suelo. **Resultados.** El bosque está constituido por individuos de la familia

ABSTRACT

Ecosystem regulation service for a gallery forest from the San Lorenzo Stream, Paraguay. Introduction. Forests are the most diverse terrestrial ecosystems and fulfill environmental and ecological, social and economic functions, offer direct and indirect benefits to the environment, one of the main ones is the regulatory service. **Objective.** Was to analyze the ecosystem service of regulation of a gallery forest of the San Lorenzo stream, Paraguay. **Materials and method.** The research work was carried out in the gallery forest of the San Lorenzo stream, Paraguay. Four plots of 750 m² each were established for data collection. The variables studied were: the floristic composition, the physical and chemical conditions of the soil, the average infiltration rate of the soil and the accumulation of carbon in the aerial, root and soil tree strata. **Results.** The forest is made up of individuals from the Meliaceae, Myrthaceae and

* Autora para correspondencia. Correo electrónico: maura.diaz@agr.una.py

1 Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Ingeniería Forestal, San Lorenzo, Paraguay.

 0000-0003-4629-8255.

2 Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Ingeniería Ambiental, San Lorenzo, Paraguay.

 0000-0002-2872-2262.

3 Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Ingeniería Agronómica, San Lorenzo, Paraguay.

 0000-0003-0058-0351.

4 Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Ingeniería Agronómica, San Lorenzo, Paraguay.

 0000-0001-6496-734X.

Meliaceae, Myrthaceae y Moraceae y en menor cantidad de especies se encuentran Cecropiaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Rhamnaceae y la Sapotaceae. El carbono arbóreo almacenado fue de 38,4 tC.ha⁻¹ y el del suelo (COS) fue de 31,08 tC.ha⁻¹. El carbono total acumulado en los 2 componentes fue de 69,48 tC.ha⁻¹ y el dióxido de carbono equivalente de 254,81 tCO₂e.ha⁻¹. El suelo es anegado y poco aireado, con baja conductividad hidráulica a partir de los 50 cm de la superficie y la velocidad de infiltración del agua fue de 66 mm.h⁻¹. **Conclusión.** El bosque de galería ofrece servicios de captación de carbono, lo que constituye la biomasa arbórea el mayor reservorio de carbono, provisión de agua para la conservación y fuente del aprovisionamiento de nutrientes del suelo de la sub cuenca del arroyo San Lorenzo, Paraguay.

INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes desafíos del nuevo milenio para la humanidad es la mitigación y adaptación al cambio climático. De acuerdo con el avance de las investigaciones referentes a la emisión de gases de efecto invernadero, se recomienda tomar las medidas necesarias para reducir los impactos a escala regional y global.

Los bosques son los ecosistemas terrestres más diversos y cumplen funciones ambientales y ecológicas, sociales y económicas. Los mismos ofrecen beneficios directos e indirectos al entorno, uno de los principales es el servicio de regulación que garantiza la provisión de agua y el equilibrio de la temperatura. Los servicios ecosistémicos de regulación del clima, de la calidad del agua y la calidad del aire son otros valiosos aportes para la sociedad. Los ecosistemas, en general, mantienen flujos de materia y energía entre sí y con otros ecosistemas; tales flujos afectan directamente la temperatura y las precipitaciones, y en la medida en que existe mayor

Moraceae families. In fewer species are Cecropiaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Rhamnaceae and Sapotaceae. The arboreal carbon stored yielded an average of 38.4 tC.ha⁻¹, as for the soil (COS) component an average of 31.08 tC.ha⁻¹ was presented. The total carbon accumulated in the two components is 69.48 tC.ha⁻¹. The average carbon equivalent obtained is 254.81 tCO₂e.ha⁻¹. The average infiltration rate was 66 mm.h⁻¹. The soil is flooded and little aerated, with low hydraulic conductivity from 50 cm from the surface. **Conclusion.** The gallery forest offers carbon sequestration services, the arboreal biomass what constitutes the largest carbon reservoir, providing water for conservation and source of the supply of soil nutrients in the sub-basin of the San Lorenzo stream, Paraguay.

evapotranspiración aumenta la precipitación a escala local. Igualmente, los ecosistemas y los agroecosistemas son sumideros de CO₂, un gas de efecto invernadero que en altas concentraciones afecta la temperatura (Corredor *et al.* 2012).

Los bosques de galería o ribera, también conocidos como sotos, poseen una vegetación tan frondosa que cubre por entero un río, su nombre proviene del hecho de que su vegetación cubre al río con una especie de túnel, como en la galería de una mina. Estos bosques son formaciones de árboles, arbustos y especies herbáceas que se desarrollan en los márgenes de los ríos, extendiéndose a los riachuelos que los alimentan e inclusive a algunas zonas de drenajes de las aguas de escurrimiento, en redes continuas de vegetación natural de gran importancia ecológica, ya que controlan la erosión de los márgenes, juegan un importante rol en el ciclo del agua y la regulación ambiental, pero también se comportan como corredores de biodiversidad, que

comunican a diferentes ecosistemas (Stevenson y Rodríguez 2008).

Cuellar y Salazar (2016) sostienen que la capacidad de capturar carbono en el suelo a una profundidad de 50 cm, en los sistemas evaluados está en función de: textura y estructura, pH, nutrientes presentes, tipo de agregado, precipitación que interviene en el crecimiento de la vegetación arbórea y en la descomposición de la hojarasca, temperatura y profundidad del suelo.

De acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, los servicios ecosistémicos (SE) se pueden definir como todos aquellos beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas; un concepto cada vez más aplicado a la conservación del ambiente, el bienestar humano y la implicación de las intervenciones antropogénicas en el medio natural (MEA 2005).

Se considera que los bosques tropicales del mundo, debido a su amplia distribución, elevada diversidad y contribución a funciones clave del planeta como la regulación climática e hidrológica, proveen servicios ecosistémicos críticos (Balvanera 2012).

La regulación de la calidad del agua también proviene de ecosistemas que proveen una gran variedad de funciones hidrológicas importantes para el bienestar humano. Esas funciones se convierten en bienes y servicios ecosistémicos cuando son valoradas en términos del bienestar y el desarrollo de la sociedad. Los servicios hidrológicos incluyen la regulación de caudales para mitigar inundaciones, la recarga de acuíferos que mantienen caudales durante la época seca, la purificación del agua y el control de la erosión (Corredor *et al.* 2012).

Los servicios de regulación están relacionados con la capacidad de los ecosistemas para regular procesos ecológicos esenciales y sostener sistemas vitales a través de ciclos biogeoquímicos (Camacho Valdez y Ruiz Luna 2012).

Esta investigación apoya el desarrollo de políticas sociales y ambientales que garanticen la puesta en marcha de proyectos ecosistémicos sostenibles. De conformidad con la Ley N° 4241/10 la propuesta de estudio abarca la importancia de

los ecosistemas naturales con miras al desarrollo sustentable (INFONA, PNUD, FMAM 2019).

Al respecto, el bosque de galería del Campus de la Universidad Nacional de Asunción representa un potencial ecosistémico importante para varios pobladores de las zonas aledañas. Dicho ecosistema forestal de relevancia proporciona bienes y servicios de almacenamiento de carbono, regulación del microclima local y provisión de agua para la conservación ecológica de la subcuenca del arroyo San Lorenzo, Paraguay.

Según lo anterior, el objetivo de esta investigación fue analizar el servicio ecosistémico de regulación relacionado con el carbono almacenado y el aprovisionamiento de agua y nutrientes del bosque de galería del Arroyo San Lorenzo, Paraguay.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Campus de la Universidad Nacional de Asunción, ubicada en la ciudad de San Lorenzo a 11 km de Asunción, capital de la República del Paraguay, entre las coordenadas 25°20'18" Lat. Sur y 57°31'04" Lat. Oeste, a 125 m sobre el nivel del mar; en el denominado bosque de galería del Campus de la Universidad Nacional de Asunción.

El bosque de galería del Campus de la Universidad Nacional de Asunción presenta una superficie aproximada de 5,3 ha (384 m x 140 m) (Benítez 2018).

Variables estudiadas. Fueron instaladas 4 parcelas (750m²) cada una en forma aleatoria en 4 puntos más representativos del lugar de estudio, considerándose el tipo de vegetación y cobertura de suelo. Para evitar el efecto de borde, todas las parcelas se ubicaron a una distancia igual o mayor a 10 m del borde.

Las variables estudiadas fueron: la composición florística, las propiedades físicas y químicas del suelo, el carbono acumulado en el estrato arbóreo aéreo, radicular y suelo y la velocidad de infiltración media del agua.

Composición florística. El inventario de composición florística se realizó con el registro de los siguientes datos en planilla: diámetro a altura de pecho igual o mayor a 10 cm, reportes de nombre científico, familia, altura total y de fuste, estado sanitario.

Propiedades físicas y químicas del suelo. Para el muestreo de suelo se extrajeron 8 muestras (4 submuestras a una profundidad de 0 a 10 cm y 4 de 10 a 30 cm) de forma aleatoria en diferentes sectores del bosque de galería, en las mismas parcelas en donde se realizó el inventario forestal, por medio de una pala de punta. Luego se procedió a la homogenización y un secado preliminar para obtener 2 muestras compuestas por sector. Para la determinación de la densidad aparente se tomaron 4 muestras aleatorias por parcela con cilindros metálicos de 100 cm³ a una profundidad de 0 a 10 cm y de 10 a 30

cm, con un total de 32 cilindros con las muestras de suelo correspondientes.

Para la interpretación de los resultados obtenidos se compararon los valores de los nutrientes en el suelo con los parámetros tomados de referencia por el Laboratorio de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, los mismos se exponen en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Interpretación del contenido de nitrógeno total en porcentaje.

Niveles de Nitrógeno	% N
Bajo	0,06-0,10
Medio	0,11-0,20
Alto	0,21-0,30
Muy Alto	0,30- >0,30

Criollo (2013).

Tabla 2. Determinación del contenido de materia orgánica y nutrientes del suelo.

Nivel	Materia orgánica	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Al ⁺³ +H ⁺
Bajo	< 1,2	< 12	< 2,51	< 0,4	< 0,12	< 0,4
Medio	1,2 – 2,8	12 – 30	2,51 – 6,0	0,4 – 0,8	0,13 – 0,17	0,4 – 0,9
Alto	> 2,8	> 30	> 6,0	> 0,8	> 0,17	> 0,9

Fatecha (1999).

En la Tabla 3, se muestran los valores tenidos en cuenta para la determinación del pH del suelo.

Tabla 3. Determinación del pH del suelo.

pH	
< 5,5	Ácido
5,6 – 6,4	Ligeramente ácido
6,5 – 7,4	Neutro
> 7,4	Alcalino

Fatecha (1999).

Velocidad de infiltración media del suelo. Para el cálculo de la velocidad de infiltración media se realizaron 2 ensayos en diferentes sitios del bosque de galería mediante la instalación de cilindros (infiltrómetros de doble anillo). Se procedió al llenado del cilindro interior con carga hidráulica constante de 8 cm y medición de la altura del nivel cada 2, 7, 10, 17, y 32 minutos, al considerar que el descenso del agua fuera notorio entre cada medición, hasta que el descenso del nivel se presentara constante.

Se utilizó la siguiente ecuación, según Pizarro Tapia *et al.* (2008).

$$I = \frac{Dh \times 600}{T}$$

Donde

- I = Velocidad de infiltración en (mm/h)
- Dh = Diferencial de altura (mm)
- t = Tiempo (min)

Carbono acumulado en el estrato arbóreo aéreo, radicular y suelo. Para estimar el carbono acumulado en el estrato arbóreo se midieron los árboles con DAP ≥ 10 cm con forcípula, altura de fuste y total con hipsómetro de cada individuo en cada parcela. Asimismo, para la determinación del carbono en suelo se procedió a la aplicación del Método de Walkley-Black, posteriormente se utilizaron las fórmulas enunciadas en la Tabla 4.

Tabla 4. Fórmulas empleadas para la estimación de carbono.

Variables	Fórmulas	Descripción
Carbono aéreo total (tC.ha ⁻¹)	CAT= BT * 0,5	CAT = Carbono aéreo total en toneladas de carbono (tC) BT = Biomasa total en tonelada (t) Factor de conversión = 0,5 (la materia seca contiene en promedio 50% de carbono almacenado, según la (IPCC 2006)
Carbono radicular (tC.ha ⁻¹)	CR= 0,24 * (CA)	CR = Carbono radicular en tonelada por hectárea CA = Carbono aéreo en tonelada por hectárea (t.ha ⁻¹) Relación media entre biomasa bajo/sobre el suelo de 0,24 para bosque (IPCC 2006)
Carbono total (tC.ha ⁻¹)	CT= CAT + CR	CT = Carbono aéreo total en toneladas de carbono (tC) CR = Carbono radicular en tonelada de carbono (tC)
Carbono equivalente (tC.ha ⁻¹)	CO ₂ e= CT * 3,667	CO ₂ e = Dióxido de carbono extraído de la atmósfera CT = Carbono total 3,667, factor basado en la razón de las masas atómicas de carbono (12) y de oxígeno (16), utilizado por el IPCC en la guía para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero
Área basal (m ² .ha ⁻¹)	$G = \frac{\pi \times DAP^2}{40.000}$	G = Área basal (m ²) $\pi = 3,1416$ DAP = Diámetro a la altura del pecho (1,30 m) 40.000 (se utilizó este denominador para obtener el valor de área basal en m ²)
Volumen de fuste (m ³ .ha ⁻¹) (fórmula de Hubert)	$V = G * f (*) * h_F$	V = Volumen m ³ G = Área basal (m ²) f (*) = Factor de forma de Hutchinsonson (0,775) y h _F = Altura de fuste (m) h _T = Altura total
Volumen total (m ³ .ha ⁻¹) (fórmula de Hubert)	$V = G * f (*) * h_T$	
Biomasa de fuste (t.ha ⁻¹) (Brown 1997)	Bf= (V * Pe)/1000	Bf = Biomasa de fuste (t) V = Volumen de fuste (m ³) Pe = Densidad aparente de la madera (Kg/m ³)
Biomasa total (t.ha ⁻¹) (Brown 1997)	BT= Bf * FEB	BT = Biomasa total en toneladas (t) Bf = Biomasa del fuste en toneladas (t) FEB = Factor de expansión de biomasa FEB = (3,42) factor que se utiliza para todas las especies de árboles
Carbono orgánico en el suelo (%) Método de Walkley-Black (Tedesco <i>et al.</i> 1995)	% CO = % MO ÷ 1,72	% CO = Carbono orgánico % MO = Materia orgánica

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición florística. En el bosque de galería del arroyo San Lorenzo, Paraguay, se registraron 8 familias, 12 especies y 141

individuos en una superficie de 0,3 ha, equivalente a 470 individuos.ha⁻¹. Tal como se muestra en la Tabla 5, la familia más diversa y representativa fue la Meliaceae con 3 especies, seguida por la Myrthaceae y Moraceae con 2 especies.

Tabla 5. Composición florística del bosque de galería del arroyo San Lorenzo.

Familia	Nombre científico	Nombre común
CECROPIACEAE	<i>Cecropia pachystachya</i>	Amba'y
EUPHORBIACEAE	<i>Sapium haematospermum</i>	Kurupika'y
FABACEAE	<i>Inga uraguensis</i>	Inga'i
MELIACEAE	<i>Trichilia catigua</i>	Katigua
MELIACEAE	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro
MELIACEAE	<i>Guarea glabra</i>	Cedrillo
MYRTACEAE	<i>Psidium guajava</i> L.	Guayaba
MYRTACEAE	<i>Syzygium</i> sp.	Mbopi namichai
MORACEAE	<i>Maclura tinctoria</i>	Tatajyva
MORACEAE	<i>Ficus enormes</i>	Guapo'y
RHAMNACEAE	<i>Hovenia dulcis</i>	Hovenia
SAPOTACEAE	<i>Chrysophyllum marginatum</i>	Pykasu rembi'u

Valores similares a los registrados en el presente trabajo fueron reportados por Aguirre (2017) en su investigación acerca de la estimación de carbono almacenado en el bosque de galería del arroyo San Lorenzo registró 11 familias, 16 especies y individuos a 487 individuos.ha⁻¹.

Benítez (2018), registró mayor cantidad de individuos en su trabajo de investigación referente a la dinámica de carbono en el mismo bosque de galería donde se identificaron 11 familias, 14 especies y 620 individuos.ha⁻¹.

Especies arbóreas representativas.

Como se observa en el Figura 1, las especies de mayor representatividad registrada en el bosque galería son *Sapium haematospermum* (Kurupika'y) de la familia Euphorbiaceae con 55 individuos, y *Syzygium* sp. (Mbopi namichái) de la familia Myrtaceae con 40 individuos. Estas 2 especies equivalen al 67% de los individuos arbóreos registrados. Estas 2 especies fueron reportadas como las de mayor abundancia por otros investigadores en la misma zona de estudio.

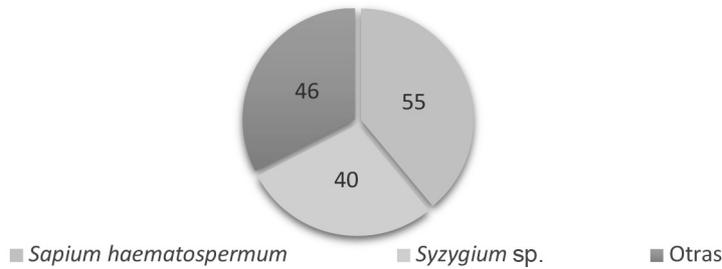


Figura 1. Especies de mayor representatividad del bosque de galería del Campus de la Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo.

Gómez (2013), en su investigación realizada en el bosque de galería del Campus de la Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, encontró 28 individuos de la especie *Sapium haematospermum* (Kurupika'y) y 21 individuos de la especie *Syzygium* sp. (Mbopi namichái). En tanto que Benítez (2018), en el mismo sitio registró 85 individuos de la especie *Syzygium* sp. (Mbopi namichái) del total de 186 árboles reclutados.

Airaldi-Wood *et al.* (2018), en una investigación realizada en este mismo sitio para la determinación de la diversidad de quirópteros en el Campus, mencionaron que las especies *Sapium haematospermum* y *Syzygium* sp., del

estrato alto del bosque se encuentran asociadas en el sitio junto con otras especies vegetales que proporcionaron a partir de sus frutos, el alimento para murciélagos frugívoros.

Volumen de fuste. El volumen de fuste de los árboles del bosque de galería en estudio fue de $48,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, con un rango de 29,3 a $70,4 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ por parcela.

Como se observa en la Figura 2, existe una diferencia significativa en descenso si se tomara en cuenta las citadas investigaciones de años anteriores. El descenso, presentado se debe al bajo número de individuos $\cdot \text{ha}^{-1}$ encontrado con respecto a los trabajos anteriores.

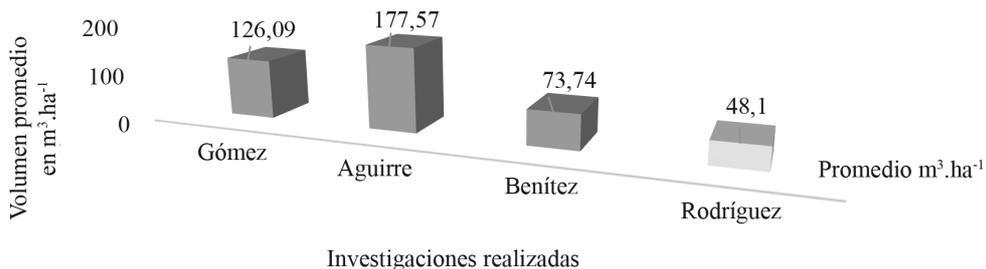


Figura 2. Volumen de fuste comparativo en el bosque de galería del arroyo San Lorenzo.

A esto se le suma la gran cantidad de individuos enfermos encontrados. Del total de 141 individuos arbóreos en 0,3 hectáreas del bosque de galería del Campus, 91 estaban enfermos lo que equivale a un 64,50% y 50 se encontraban sanos lo que correspondió a 35,40%.

Propiedades físicas y químicas del suelo. El suelo del bosque de galería estudiado presentó textura arenosa, con tonos que van de marrón a marrón pálido. La densidad del suelo fue de $1287,5 \text{ kg/m}^3$ y 1375 kg/m^3 para las 2

profundidades, lo $1u_3$ según Fuentes Yague (1999) corresponde a suelos no compactados.

Aldana Lázaro (2017), sostuvo que el suelo de la especie *Schinus molle* contenía carbono en el rango de 0,64% a 0,72% y el suelo de la especie *Ficus benjamina* contiene carbono en un rango de 0,20% a 0,27%. Siendo el suelo de la especie *Schinus molle* la que almacenaba mayor cantidad de CO_2 con un total de $43,20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, mientras que el suelo de la especie *Ficus benjamina* almacena $20,92 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Esto se debe a que existen mayor cantidad de individuos forestales pertenecientes a la especie *Schinus molle* en comparación a la especie *Ficus benjamina*.

Estos valores son próximos a los reportados por Andrade-Castañeda *et al.* (2016) quienes obtuvieron una densidad aparente entre 1,1 y $1,7 \text{ g}/\text{cm}^3$.

El nitrógeno total encontrado en el suelo fue de 0,09% y 0,06% para 0 – 10 cm y 10 – 30 cm respectivamente. La materia orgánica se encontraba en niveles bajos y medios, y el pH ácido. En cuanto a los nutrientes, el nivel de Fósforo (P) fue bajo, el contenido de Calcio (Ca^{+2}) fue medio, el contenido de Magnesio (Mg^{+2}) y Potasio (K^+) fue alto, y por último el porcentaje de aluminio ($Al^{+3}+H^+$) fue bajo Tabla 6.

Tabla 6. Propiedades químicas del suelo del bosque de galería.

Profundidad (cm)	PH	P (mg.kg ⁻¹)	Ca ⁺² (mg.k ⁻¹)	Mg ⁺² (mg.kg ⁻¹)	K ⁺ cmol _c .kg ⁻¹	Al ⁺³ +H ⁺ (mg.kg ⁻¹)
0 – 10	5,28	2,18	3,08	1,14	0,34	0,21
10 – 30	5,38	2,18	3,03	1,33	0,40	0,22

Los datos coincidieron con lo mencionado por Aguirre (2017), quien en su investigación señaló que el suelo corresponde a la clase textural arenosa con tonalidad marrón, amarillo pálido a marrón negruzco entre otras. En cuanto al Nitrógeno (N) el porcentaje ha disminuido si se compara con los resultados obtenidos por Aguirre, quien obtuvo valores de 0,15% y 0,09% respectivamente.

Según Jandl *et al.* (2004), la fuente principal del Nitrógeno (N) en los suelos la constituye la mineralización de la materia orgánica. Según los resultados obtenidos a

mayor profundidad disminuye la MO, y por tanto repercute en la relación Carbono/Nitrógeno (C/N).

Velocidad de infiltración media en el suelo. En el primer ensayo se obtuvo un promedio de $102 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$. El segundo ensayo se realizó a una distancia de 100 metros del primer ensayo, terreno abajo cercano al cauce, con un resultado de $30 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$. Se estima que la velocidad de infiltración media en el suelo del bosque de galería fue de $66 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ según esos 2 resultados Figura 3.

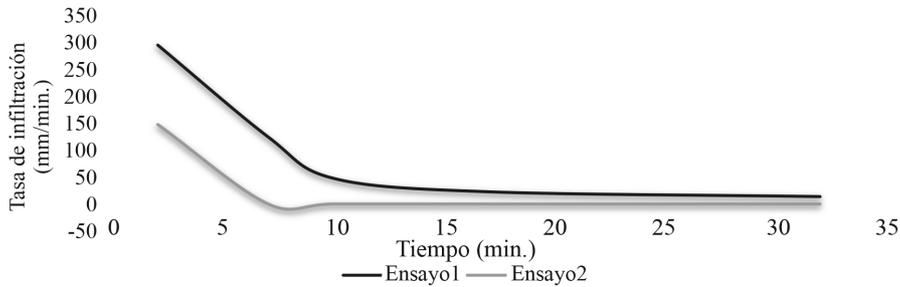


Figura 3. Curvas de infiltración medio en el suelo del bosque de galería.

Los macroporos del suelo están colmados de agua sin posibilidad de circulación del aire. La casi nula presencia de oxígeno (O_2) en los poros de los horizontes superficiales, permite las condiciones anaeróbicas donde existe una descomposición muy lenta de la materia orgánica. Esta condición afecta la disponibilidad de los nutrientes para las plantas y su desarrollo.

Thiers *et al.* (2014), se refirieron a esta condición de saturación al citar que el agua compete con el aire del suelo para ocupar el espacio poroso y, por lo tanto, controla la convección de gas y difusión a través del suelo, que afecta la actividad de los organismos y el potencial de oxidación/reducción en el suelo.

Van Lier (2017), afirmó que el valor de la conductividad hidráulica saturada, a su vez está determinada en gran medida por la presencia de macroporos y su continuidad. Por lo tanto, una pérdida de macroporosidad, como ocurre en la degradación del suelo por compactación, resulta en una conductividad hidráulica reducida saturada y por lo tanto con un aumento en el contenido de agua a capacidad de campo.

Carbono acumulado y CO_2 equivalente en el bosque de galería. El carbono almacenado en el estrato arbóreo fue de $38,4 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$, el error de muestreo $\pm 1,64 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$ con un nivel de confianza de 95%, el valor promedio de carbono acumulado en el suelo fue de $31,08 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$, que totaliza $69,48 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$ de carbono acumulado en los 2 componentes del ecosistema en estudio.

Los resultados de Andrade-Castañeda *et al.* (2016) mencionan que el carbono almacenado en los bosques riparios de su área de estudio fue de entre $50,2$ a $87,1 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$, resultados muy altos en comparación con lo reportado por Batjes (1999) con los datos de FAO-IIASA en zonas agroecológicas y climáticas similares del trópico (36 a $38 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$).

El contenido de carbono del mismo bosque según Benítez (2018), fue de $126,9 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$. En la presente investigación se obtuvo un total de $69,48 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$ lo que expone una diferencia de $57,41 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$. Al considerar esa variación, se demuestra que hubo un descenso en la cantidad de carbono acumulado en el periodo (2018-2020) que podría atribuirse a la mortandad de árboles en la zona de estudios, al respecto, Lugo y Scatena (1996) sugieren que en la mayoría de los árboles de clases diamétricas y alturas superiores ocurre una senescencia producida por factores endógenos como la genética y la edad.

Así también Carey *et al.* (1994) afirman que los árboles mueren de pie producto de debilitamiento a causa de enfermedades o estrés ambiental, y en su caída llevan a otros individuos de clases diamétricas menores.

El dióxido de carbono equivalente extraído de la atmósfera arrojó un promedio de $254,81 \text{ tCO}_2\text{e} \cdot \text{ha}^{-1}$, valor que ha disminuido según las investigaciones anteriores, y que también fue atribuible a la muerte de individuos arbóreos, tal como se puede ver en la Figura 4.

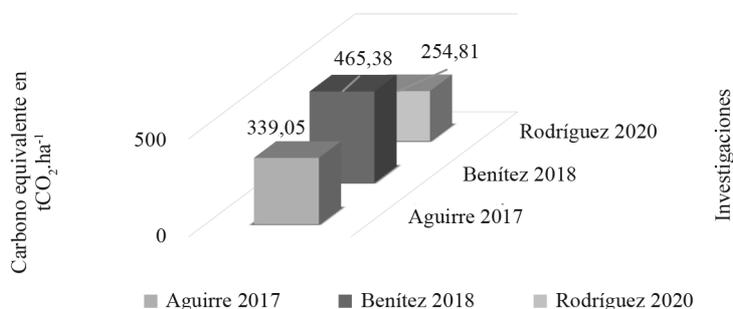


Figura 4. Comparación de carbono equivalente del bosque de galería del Arroyo de San Lorenzo.

Estos valores son superiores a los reportados por Suarez García (2017) quien determinó el almacenamiento de biomasa $9,46 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y carbono $4,73 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ CO}_2$, así como el potencial de captura de $30,10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ CO}_2$.

Resultados similares fueron reportados por González Pantoja (2019) en donde el Cerro Nutibara almacenó $34 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $126 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ mientras que el Cerro Volador $6 \text{ tC}\cdot\text{año}^{-1}$ y $20 \text{ tC}_2 \text{ e}$.

Los resultados de la presente investigación coincidieron con las afirmaciones de Torres (2017), quien indicó que el carbono almacenado en la biomasa aérea fue mayor que la del suelo.

CONCLUSIONES

El bosque de galería ofrece servicios ecosistémicos de regulación como captación de carbono, constituyen la biomasa arbórea el mayor reservorio de carbono pese a la mortandad muchos individuos arbóreos lo que provoca la reducción en su capacidad de almacenamiento de carbono, aunque representan un gran potencial para la captura de CO_2 . Son una fuente de aprovisionamiento de agua para la conservación, además de constituirse como fuente de nutrientes del suelo que a excepción del fósforo, se mantuvieron en niveles medios y altos, en la sub cuenca del arroyo San Lorenzo, Paraguay.

LITERATURA CITADA

- Aguirre, P. 2017. Estimación de carbono almacenado en el bosque de galería del campus de la Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo. Tesis Ing. Amb. San Lorenzo, Paraguay, Universidad Nacional de Asunción. 70 p.
- Airaldi-Wood, K; Torres, M; Barreto, M; Weiler, A; González de Weston, G; Zárate, G; Stevens, R. 2018. Quirópteros del campus de la Universidad Nacional de Asunción-Paraguay. Bol Mus Nac Hist Nat Parag 22(1):45-46.
- Aldana Lázaro, R. 2017. Equilibrio entre el CO_2 del ambiente y CO_2 capturado por biomasa de especies forestales ornamentales y en el suelo en la Av. Trapiche, Comas 2017. Tesis Ing. Amb. Lima, Perú, Universidad César Vallejo. 106 p.
- Andrade-Castañeda, HJ; Segura-Madrigal, MA; Rojas-Patiño, AS. 2016. Carbono orgánico del suelo en bosques riparios, arrozales y pasturas en Piedras, Tolima, Colombia. Agronomía Mesoamericana 27(2):233-241.
- Balvanera, P. 2012. Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. Ecosistemas 21(1-2):136-147.
- Batjes, NH. 1999. Management options for reducing CO_2 concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. Wageningen, The Netherlands, International Soil Reference and Information Centre (ISRIC). 114 p.
- Benítez, I. 2018. Dinámica del contenido de carbono en el bosque de galería del campus de la Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo. Tesis Ing. For. San Lorenzo, Paraguay, Universidad Nacional de Asunción. 80 p.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer: FAO forestry paper – 134 (en línea). Roma. Consultado 20 mar. 2016. Disponible en www.fao.org/docrep/W4095E/w4095e00.htm

- Camacho Valdez, V; Ruiz Luna, A. 2012. Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Bio Ciencias* 1:3-15.
- Carey, E; Brown, S; Gillespie, AJR; Lugo, A. 1994. Tree Mortality in Mature Lowland Tropical Moist and Tropical Lower Montane Moist Forests of Venezuela. *Biotropica* 26(3):255-265.
- Corredor, E; Fonseca, J; Páez, E. 2012. Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impactos en el bienestar humano (en línea). Colombia, UNAD. p. 78. Consultado 20 oct. 2019. Disponible en <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/936/934>
- Criollo, N. 2013. Evaluación de alternativas silvopastoriles que promuevan la intensificación y recuperación de pasturas degradadas y contribuyan a reducir el impacto ambiental de la actividad ganadera en la amazonia ecuatoriana al segundo año de establecimiento (en línea). Consultado: 3 oct 2016. Disponible en <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2819>
- Cuellar, J. Salazar, E. 2016. Dinámica del carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú. Lima, Perú, Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA. 217 p.
- Fatecha, A. 1999. Guía para la fertilización de cultivos agrícolas en la Región Oriental del Paraguay. Boletín Técnico. Caacupé, Paraguay, IAN. s.p.
- Fuentes Yague, JL. 1999. El suelo y los fertilizantes. 5 ed rev. y ampl. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa. 352 p.
- Gómez, H. 2013. Estimación del almacenamiento de carbono en el estrato arbóreo del bosque de galería en el campus de San Lorenzo de la Universidad Nacional de Asunción. Tesis Ing. For. San Lorenzo, Paraguay, Universidad Nacional de Asunción. 45 p.
- González Pantoja, A. 2019. Evaluación de la remoción de contaminantes atmosféricos y la captura de carbono por parte de los Cerros Nutibara y Volador de Medellín. Tesis Ing. Amb. Evigado, Colombia, Universidad EIA. 128 p.
- INFONA (Instituto Forestal Nacional, Paraguay); PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Paraguay); FMAM (Fondo para el Medio Ambiente Mundial, Paraguay). 2019. Manual técnico para la administración y aplicación de la Ley N° 4241/10 “De restablecimiento de bosques protectores de cauces hídricos dentro del territorio nacional” y su Decreto N° 9824/12. Asunción, Paraguay. 76 p.
- IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, Japón). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In Eggleston, S; Buendia, L; Miwa, K; Ngara T; Tanabe, K (eds.). Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme (en línea) Kanagawa, Japón, IGES. Consultado el 05 set. 2020. Disponible en <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>
- Jandl, R; Rubio, A; Blanco, A. 2004. Cambios en la química de los suelos forestales de Centroeuroa: acidificación y eutrofización (en línea). *Ecología* 18:285-295. Consultado 30 set. 2020. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/148691614.pdf>
- Lugo, A; Scatena, F. 1996. Background and Catastrophic Tree Mortality in Tropical Moist, Wet, and Rain Forests. *Biotropica* 28(4):585-599. DOI: <https://doi.org/10.2307/2389099>
- MEA (Evaluación de Ecosistemas Del Milenio, Estados Unidos de América). 2005. Ecosystems and human wellbeing: synthesis (en línea). Washington, Estados Unidos de América, Island Press. Consultado 13 oct. 2019. Disponible en www.millenniumassessment.org/
- Pizarro Tapia, R; Flores Villanelo, JP; Sangüesa Pool, C; Martínez Araya, E; León Gutiérrez, L. 2008. Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el secano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile. *Bosque (Valdivia)* 29(2):136-145.
- Stevenson, P; Rodríguez, M. 2008. Determinantes de la Composición Florística y efecto de borde en un Fragmento de Bosque en el Guaviare, Amazonia Colombiana. 17 p.
- Suarez García, P. 2017. Evaluación ecológica de la estructura vertical y valoración económica por prestación del servicio de captura de carbono del bosque de galería asociado del Río Hualahuises (Nuevo León, México). Tesis Ing. Bogotá, Colombia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 51 p.
- Tedesco, MJ; Gianello, C; Bissani, CA; Bohnen, H; Volkweiss, SJ. 1995. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2 ed. Porto Alegre, UFRGS. 174 p.
- Thiers, O; Reyes, J; Gerding, V; Schlatter, JE. 2014. Suelos en ecosistemas forestales. In Donoso, C; González, M; Lara, A (eds.). *Ecología Forestal: bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos en Chile*. Valdivia, Chile, UACH. p. 133-178.
- Torres, EM. 2017. Determinación de cantidades de carbono secuestrado por las áreas verdes del Distrito de Calleria, Provincia de Coronel Portillo, 2015. Tesis M.Sc. Ucayali, Perú, Universidad Nacional de Ucayali. 156 p.
- Van Lier, Q. 2017. Como as alterações no solo e no clima afetam a disponibilidade de água para as plantas? Congreso Paraguayo de Ciencia del Suelo. In Leguizamón, C; González, A; Paniagua, J; Hahn, E (eds.). *Simposio de Manejo y Conservación de Suelos*. San Lorenzo, Paraguay, Suindá. 252 p.



Todos los derechos reservados. Universidad de Costa Rica. Este artículo se encuentra licenciado con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr