

Reserva de carbono en un humedal del desierto costero de Sudamérica

Carbon stock in a wetland of the Sudamérica's coastal desert

Héctor Aponte^{1,2,*}, María Fernanda Corvacho³, Gustavo Lertora⁴ & Dámaso W. Ramírez^{2,4}

¹Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

²Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Laboratorio de Florística, Lima, Perú.

³Facultad de Ciencias Ambientales, Carrera de Ingeniería ambiental, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

⁴Dirección de Cursos Básicos, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

*E-mail: haponte@cientifica.edu.pe

ABSTRACT

Several studies point out that coastal wetlands are great carbon sinks; in this sense, the carbon stored in the Pantanos de Villa Ramsar wetland (Lima, Peru) was estimated, finding out, that it can store 2.21×10^{-5} petagrams of carbon, equivalent to 8.12×10^{-5} petagrams of carbon dioxide sequestered.

INTRODUCCIÓN

Una de las principales estrategias para la mitigación de los impactos del cambio climático es la preservación adecuada de los ecosistemas que funcionan como almacenes de carbono (Dass *et al.* 2018; Haoyang 2018). En este contexto, los humedales costeros representan una alternativa por su capacidad de captura y almacenamiento del CO₂ atmosférico por unidad de área (McLeod *et al.* 2011).

Se han venido realizando investigaciones relacionadas al potencial de captura de carbono en los humedales del desierto costero de Lima (Perú), a nivel de especies (Aponte 2017), hábitats y comunidades, obteniéndose reservas que varían entre 18tC/ha y 60tC/ha (Ampuero & Aponte 2020; Cuellar & Salazar 2016; Gutierrez 2017; Palomino & Cabrera 2008).

Uno de los sitios estudiados en estas investigaciones, es el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSPV), sin contar aún con una estimación de su almacenamiento en el total del área. Por esta razón, el objetivo de la presente investigación fue estimar el carbono almacenado en las formaciones vegetales y en el suelo hasta 20 centímetros (cm) de profundidad del RVSPV.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El RVSPV está ubicado en Lima, Perú (12°12'42.81"S - 76°59'24.58"O), entre colinas y la margen costera del Pacífico. Por su importancia para la conservación de la biodiversidad, se considera como sitio Ramsar desde 1997 y actualmente es un área natural protegida del Perú, como Refugio de Vida Silvestre.

Las comunidades vegetales estudiadas fueron las de mayor predominancia en el área, tomando como referencia el Plan Maestro del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (Resolución Presidencial N° 169-2016-SERNANP, 2016): a) totorales, constituidos principalmente por *Typha domingensis* ("totora"), estos pueden encontrarse como comunidad mixta con otras especies, como *Cladium jamaicense* ("corta corta"); b) comunidad de "corta-corta", compuesto principalmente por *Cladium jamaicense*, que, como se mencionó anteriormente, puede formar comunidades mixtas con totora; c) gramadales, conformados principalmente por: *Distichlis spicata*, *Sporobolus virginicus*, y *Paspalum vaginatum*; la comunidad vegetal de gramadales se ha encontrado también como comunidad mixta,

asociada a *Schoenoplectus americanus* ("junco"); d) juncuales, conformados principalmente por *Schoenoplectus americanus* ("junco"), pero también pueden formar comunidades mixtas con algunas especies de gramas; e) carrizales, conformados por *Phragmites australis* (carrizo), los cuales no ocupan grandes extensiones, encontrándose en zonas puntuales del humedal.

La Figura 1 muestra la distribución de estas comunidades. Las comunidades no compuestas por una sola especie fueron tratadas como comunidades mixtas.

ESTIMACIÓN DE LAS ÁREAS CONFORMADAS POR LAS COMUNIDADES VEGETALES

Se realizaron recorridos de campo bordeando a pie las comunidades vegetales y se registraron sus coordenadas limítrofes utilizando un equipo GPS; los límites del área natural protegida (ANP) corresponden a la cartografía de ANPs, obtenida de la página web oficial del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (www.sernanp.gob.pe); en este caso el área protegida tiene 263.27 hectáreas que incluyen zonas con vegetación y cuerpos de agua. Con ello, usando imágenes satelitales de Google Earth (2018) y empleando como referencia el Mapa de Comunidades Bióticas del RVSPV (datos no publicados), se delimitó las áreas actualizadas de las comunidades vegetales con el software ArcGIS 10.5 (Fig. 1).

ASPECTOS GENERALES DEL MUESTREO

La metodología propuesta está basada en el trabajo de Howard *et al.* (2014). Los compartimentos de carbono evaluados por comunidad vegetal, fueron: a) Biomasa Aérea Viva (BA): Conformada por las partes vivas de la planta, sobre la superficie del suelo; b) Biomasa Seca (BS): Conformada por los restos secos o en descomposición de la planta, que caen al suelo y se acumulan sobre su superficie. Esta biomasa fue pesada por separado para: juncal, corta-corta y totoral; en el caso del gramadal y carrizal, no fue posible discriminar esas diferencias; c) Suelos (SU): Se evaluó hasta 20 cm de profundidad del suelo, dado que la mayor acumulación de carbono se encuentra en los primeros 20 cm (Ampuero & Aponte 2020; Bernal & Mitsch 2008) y que estudios preliminares mostraron dificultades para el muestreo (muchas veces se encontró agua solamente) a mayor profundidad. Las raíces y rizomas fueron evaluadas como parte de este compartimento, como se recomienda en la metodología empleada (Howard *et al.* 2014).

SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

Se utilizaron parcelas (50 cm x 50 cm) seleccionadas de manera estratificado-aleatoria (método que permite obtener

una variación más real en el área evaluada, de acuerdo a Howard *et al.* (2014), tomando como referencia las áreas actualizadas de las comunidades vegetales. Los estratos correspondieron a las comunidades vegetales evaluadas (juncuales, juncuales mixtos, gramadales, comunidad de corta-corta, totorales y carrizales). Por cada comunidad se realizaron entre 8 y 12 parcelas distribuidas en 3 o 4 transectos de 10 m, respectivamente, verificándose que el número de parcelas por comunidad fuera suficiente, con curvas de performance (Elzinga *et al.* 2015), las cuales se elaboraron considerando los pesos frescos de la biomasa aérea, registrados en cada parcela; la curva llegó a la asíntota alrededor de la parcela 8, lo que nos indicó que el muestreo fue satisfactorio.

MUESTREO EN CADA PARCELA

En cada una de las parcelas se cortó la vegetación al ras del suelo y se recolectó; esta vegetación conforma la biomasa aérea viva (BA) y biomasa aérea seca (BS), las cuales se pesaron en una balanza para registrar su peso fresco (PF_x). Adicionalmente, se extrajo una muestra de BA y de BS (cada una de aproximadamente 100 gr), para estimar el peso seco (PS_x) de cada especie en el laboratorio (explicado más adelante).

Luego, se extrajo una muestra de suelo de 0 a 10 cm y otra de 10 a 20 cm de profundidad, empleando un barreno. Cuando no fue posible (por la consistencia del suelo), se extrajo un bloque de suelo de 20 cm x 20 cm x 20 cm, obteniéndose muestras de cada profundidad, con un cilindro de muestreo de suelos.

DETERMINACIÓN DEL PESO SECO (PS_x)

El PS_x de los compartimentos evaluados se determinó colocando las muestras de biomasa vegetal y de suelo, en bolsas de papel y en placas Petri respectivamente, para ser colocadas en una estufa entre 60 y 70 °C de temperatura, por un periodo entre 24 y 72 horas (hasta obtener un peso constante). Esto se realizó en el laboratorio de Investigación de Biología Marina de la Universidad Científica del Sur.

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CARBONO DE LAS MUESTRAS

Se colectó una muestra fresca de 250 g para cada uno de los compartimentos de biomasa (BA y BS), y para suelo, una muestra de 250 g de 0-10 cm y otra de 10-20 cm. Estas muestras fueron procesadas para conocer el porcentaje de carbono (%C) con la técnica de Walkley y Black, (Walkley & Black 1934). Esta técnica consiste en la oxidación de las muestras (materia orgánica) utilizando una mezcla concentrada del oxidante $K_2Cr_2O_7$ en exceso, y H_2SO_4 ; esta solución es titulada con $FeSO_4$, lo cual permite estimar el

exceso del $K_2Cr_2O_7$; el contenido de carbono se calcula con la diferencia de la cantidad de $FeSO_4$ utilizado, y el utilizado en la solución con las muestras (Maquera 2017; Tsao 2017); dicho procedimiento ha sido utilizado para conocer la reserva

de carbono en humedales de la costa de Lima (Pérez *et al.* 2015; Palomino y Cabrera 2008; Cieza 2014) lo que nos permite comparar los resultados.

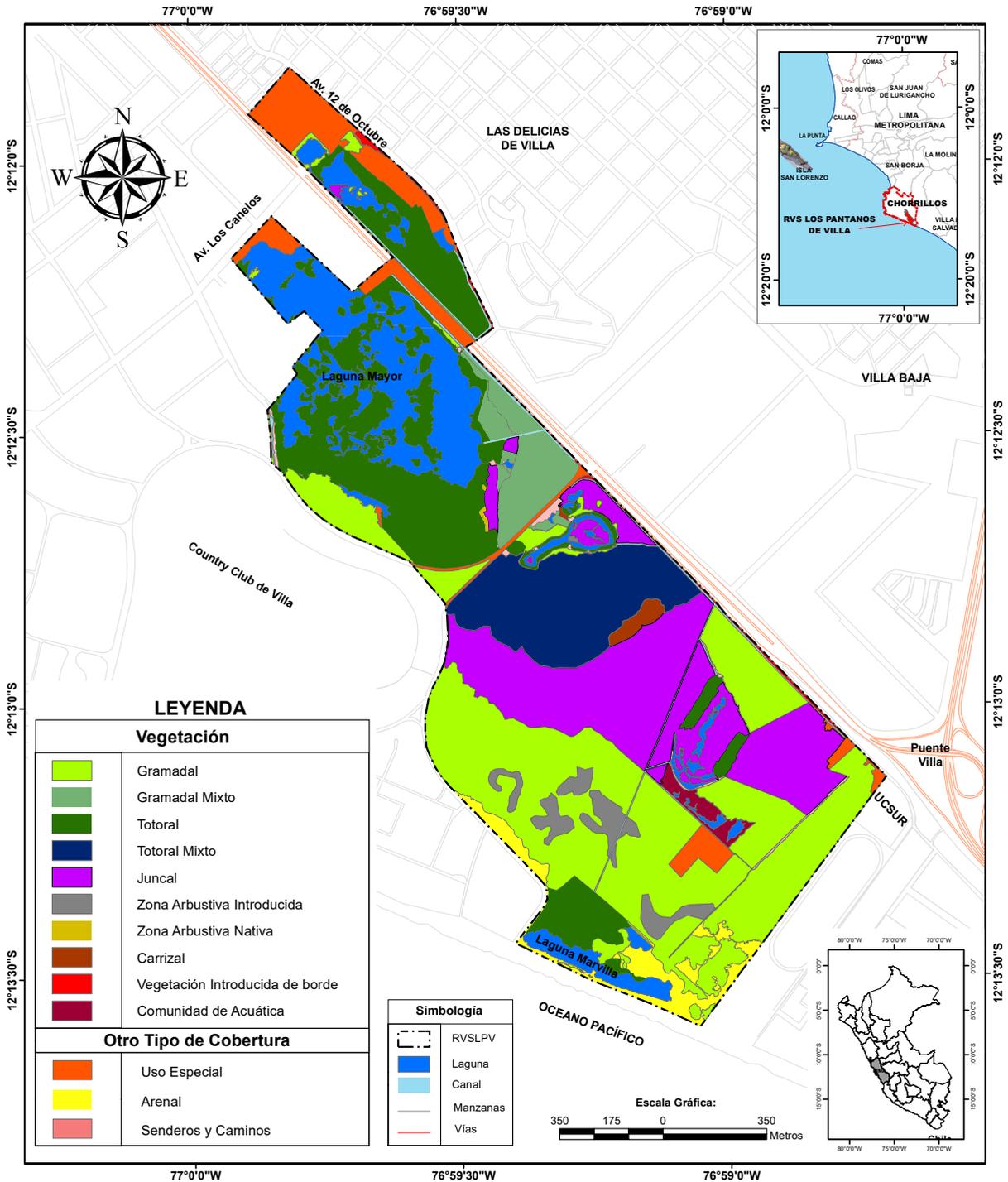


FIGURA 1. Mapa de vegetación del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa. Se muestra el detalle de su ubicación en Perú y en Lima. / Vegetation map of Los Pantanos de Villa. A detail of its location in Peru and Lima is shown.

ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS DE CARBONO POR COMPARTIMENTO

Para estimar el porcentaje del peso seco en BA y BS, se empleó la ecuación:

$$\%PS_x = 100 - \%H$$

donde $\%PS_x$ es el porcentaje de peso seco de la BA y BS y $\%H$ el porcentaje de humedad de la BA y BS, obtenidos durante la etapa de laboratorio.

La estimación de carbono contenido en la BA, así como en la BS se determinó según la siguiente ecuación:

$$C_x \text{ (kg/m}^2\text{)} = PS_x \text{ (kg)} \times \%C_x$$

donde C_x es el carbono almacenado en los compartimentos (BA y BS, de cada una de las parcelas, expresado en kilogramos por metro cuadrado); PS_x es el peso seco de toda la BA y BS de cada parcela, expresado en kilogramos y $\%C_x$ es el Porcentaje de carbono de la muestra.

La estimación del carbono almacenado en el suelo (de 0-10 cm y 10-20 cm de profundidad) se realizó empleando densidad aparente y la profundidad de las muestras, como se muestra a continuación:

$$D_1 \text{ (g/cm}^3\text{)} = PS_{SU} \text{ (g)} / VM \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$D_2 \text{ (g/cm}^3\text{)} = D_1 \text{ (g/cm}^3\text{)} \times \%C$$

$$C_{SU} \text{ (g/cm}^2\text{)} = D_2 \text{ (g/cm}^3\text{)} \times h \text{ (cm)}$$

donde D_1 es la densidad aparente de la muestra seca del suelo, expresada en gramos por centímetros cúbicos; PS_{SU} es el peso seco del suelo, expresado en gramos; VM es el volumen original de la muestra, en centímetros cúbicos; D_2 es la densidad del carbono del suelo, expresada en gramos por centímetros cúbicos; $\%C$ es el contenido de carbono de la muestra; C_{SU} es el contenido total del carbono almacenado en el suelo, en gramos por centímetro cuadrado y h es la profundidad de la muestra, en centímetros.

Los valores de carbono por metro cuadrado fueron hallados sumando todos los compartimentos de cada comunidad y luego fueron convertidos a petagramos por hectárea. Solo en el caso del totoral mixto, se consideró que el carbono almacenado equivalía al 50% de cada especie que la componía, debido a que ésta fue la proporción de biomasa encontrada en campo.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y VALORACIÓN DEL CARBONO

Se halló el promedio y el coeficiente de variación para conocer las características de las variables evaluadas (biomasa y carbono) utilizando el software PAST 3.21 (Hammer *et al.* 2001). Para la valoración económica del carbono se utilizaron

los precios del mercado que varían entre 10 y 188 \$/t/año (Mogas & Riera 2005).

RESULTADOS

Los valores promedio del carbono total almacenado en las comunidades evaluadas, por la extensión que cubren y de forma descendente, fueron: $6,27 \times 10^{-6}$ petagramos de carbono (PgC) en el gramadal; $6,08 \times 10^{-6}$ PgC en el juncal; $5,58 \times 10^{-6}$ PgC en el totoral; $3,06 \times 10^{-6}$ PgC en el totoral mixto; $9,79 \times 10^{-7}$ PgC en el juncal mixto y $1,40 \times 10^{-7}$ PgC en el carrizal (ver la Tabla 1).

La mayor cantidad de carbono en todas las comunidades se encontró en la biomasa aérea (viva y seca). Respecto al carbono del suelo, éste se encontró en mayor cantidad de 0-10 cm en el gramadal, el juncal y corta corta, y de 10-20 cm en juncal mixto, totoral, totoral mixto y carrizal. Asimismo, la sumatoria de todas las reservas de carbono evaluadas, ascienden a $2,21 \times 10^{-5}$ PgC, equivalentes a $8,12 \times 10^{-5}$ petagramos de dióxido de carbono (PgCO₂).

El servicio ecosistémico de la reserva de carbono de Los Pantanos de Villa, se encontraría valorado entre 220 mil y más de 4 millones de dólares americanos.

DISCUSIÓN**ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO**

Con $2,21 \times 10^{-5}$ PgC (equivalentes a 22 mil toneladas de carbono) almacenado, el RVSPV se convierte en un importante almacén de carbono en la costa peruana, superando así a algunas poblaciones de especies herbáceas y acuáticas (Aponte 2017; Camargo & Florentino 2000; Coutinho 1989; Ikusima & Gentil 1987; Junk & Piedade 1993; Menezes 1984; Penha 1994), pero también a los valores obtenidos en ecosistemas similares, como los humedales de Puerto Viejo (Palomino & Cabrera, 2008); las grandes diferencias encontradas entre este humedal y el RVSPV, pueden deberse a que las comunidades evaluadas en Puerto Viejo fueron aparentemente jóvenes (ver imágenes del artículo en discusión), lo que podría haber influenciado en la cantidad de biomasa y carbono registrados. Por otro lado, al comparar la reserva de carbono del RVSPV, con la reserva de algunas zonas boscosas, encontramos similitudes con los bosques inundables, aguajales y pacaes (Martel & Cairampoma 2012), pero en otros casos, la reserva del RVSPV es mucho menor (los bosques de terraza almacenan más del doble de carbono por hectárea; Martel & Cairampoma 2012), así como algunos humedales andinos de Colombia (Roa-García & Brown 2016).

El presente trabajo muestra la variabilidad de los valores de carbono almacenado en los estratos (principalmente en los gramadales y junciales), lo cual se explica por las diferencias en el tipo de suelo (por ejemplo, suelos arenosos versus suelos con vegetación en descomposición), y la edad de la vegetación (algunas zonas tienen vegetación más antigua que otras), así como la aleatoriedad incorporada en el muestreo.

Para conocer mejor el ciclo de carbono de este ecosistema, es necesario estudiar las tasas de secuestro y de liberación de otros gases carbonados (como el CH₄ y el CO₂) los cuales juegan un rol importante en el ciclo y que son gases de efecto invernadero (Mitsch *et al.* 2013). A pesar de ello, consideramos que esta primera estimación es valiosa y que permite sentar las bases para futuras investigaciones a nivel local y regional, como la estimación de carbono en la cadena de humedales de la costa del Perú.

TABLA 1. Carbono almacenado en los diferentes compartimentos de las comunidades vegetales evaluadas. Se muestra el valor promedio por compartimento en cada comunidad. El Carbono total almacenado (CTA) corresponde al total de carbono por comunidad considerando la extensión de cada una de ellas. Para cada estrato de muestre el promedio ± coeficiente de variación; para el CTA se muestra solo el promedio. * = se tomaron los valores de las comunidades que los componen; ** = se encuentra incluido en el total mixto. / Carbon stored in the different compartments of the plant communities evaluated. The average value per compartment in each community is shown. The total carbon stored (CTA) corresponds to the total carbon per community considering the extension of each of them. For each stratum show the average ± coefficient of variation; for the CTA, only the average is shown. * = the values of the communities that compose them were taken; ** = is included in the mixed total.

Comunidad Vegetal	Compartimiento	PgC /Ha	Area (Ha)	CTA (PgC)
Gramadal	Biomasa aérea viva + muerta	4,81 x 10 ⁻⁸ ± 88,22	73,40	6,27 x 10 ⁻⁶
	Suelos de 0 - 10 cm	2,04 x 10 ⁻⁸ ± 127,65		
	Suelos de 10-20 cm	1,69 x 10 ⁻⁸ ± 142,02		
Juncal	Biomasa aérea viva	0,45 x 10 ⁻⁸ ± 50,14	43,13	6,08 x 10 ⁻⁶
	Biomasa muerta	6,17 x 10 ⁻⁸ ± 15,13		
	Suelos de 0 - 10 cm	4,99 x 10 ⁻⁸ ± 20,62		
	Suelos de 10-20 cm	2,49 x 10 ⁻⁸ ± 28,31		
Juncal Mixto	Biomasa aérea viva	1,73 x 10 ⁻⁸ ± 78,49	9,07	0,98 x 10 ⁻⁶
	Biomasa muerta	3,18 x 10 ⁻⁸ ± 120,55		
	Suelos de 0 - 10 cm	2,70 x 10 ⁻⁸ ± 42,38		
	Suelos de 10-20 cm	3,18 x 10 ⁻⁸ ± 46,91		
Ttotal	Biomasa aérea viva	0,49 x 10 ⁻⁸ ± 82,34	44,74	5,58 x 10 ⁻⁶
	Biomasa muerta	5,82 x 10 ⁻⁸ ± 37,36		
	Suelos de 0 - 10 cm	2,94 x 10 ⁻⁸ ± 30,55		
	Suelos de 10-20 cm	3,22 x 10 ⁻⁸ ± 31,59		
Ttotal Mixto	Total de compartimentos (50% Ttotal + 50% Corta-corta)	*	21,38	3,06 x 10 ⁻⁶
Carrizal	Biomasa aérea viva + muerta	4,39 x 10 ⁻⁸ ± 46,07	1,27	0,14 x 10 ⁻⁶
	Suelos de 0 - 10 cm	2,78 x 10 ⁻⁸ ± 43,84		
	Suelos de 10-20 cm	3,89 x 10 ⁻⁸ ± 66,85		
Corta-corta	Biomasa aérea viva	1,47 x 10 ⁻⁸ ± 99,83	10,69	**
	Biomasa muerta	8,39 x 10 ⁻⁸ ± 65,40		
	Suelos de 0 - 10 cm	3,29 x 10 ⁻⁸ ± 42,17		
	Suelos de 10-20 cm	2,99 x 10 ⁻⁸ ± 81,23		

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el financiamiento de la Dirección General de Investigación Desarrollo e Innovación de la Universidad Científica del Sur. Asimismo, a SERNANP (quien nos brindó el permiso RJ N°001-2018-SERNANP-JEF), ProhVilla, así como el apoyo constante en campo de Piero Uceda, Cristina Burga y Telassim Aldave.

REFERENCIAS

- Ampuero, W., Aponte, H. 2020. Estimación del carbono almacenado en un juncal de *Schoenoplectus americanus* en el humedal costero Los Pantanos de Villa (Lima-Perú). *Arnaldoa* 27(1): 267-281. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.271.27117>.
- Aponte, H. 2017. Productividad de *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae) bajo condiciones de laboratorio. *Polibotánica* 0: 157-166.
- Bernal, B., Mitsch, W. 2008. A comparison of soil carbon pools and profiles in wetlands in Costa Rica and Ohio. *Ecological Engineering* 34: 311-323.
- Cieza, M. 2014. Estimación de la captura de dióxido de carbono por la flora del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla. Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo, Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima, Perú. 123 pp.
- Camargo, A., Florentino, E. 2000. Population dynamics and net primary production of the aquatic macrophyte *Nymphaea rudgeana* C. F. Mey in a lotic environment of the Itanhaém River basin (SP, Brazil). *Revista Brasileira de Biologia* 60: 83-92.
- Coutinho, M. 1989. Ecología populacional de *Eichhornia azurea* (Kht) e sua participação na dinâmica da vegetação aquática da Lagoa do Infernã, SP. Dissertacao (Maestrado). Universidad Federal de Sao Carlos, Brasil. 66 pp.
- Cuellar, J., Salazar, E. 2016. Dinámica del carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA.
- Dass, P., Houlton, B., Wang, Y., Warlind, D. 2018. Grasslands may be more reliable carbon sinks than forests in California. *Environmental Research Letters*. 13: 074027.
- Elzinga, C., Salzer, D., Willoughby, J. 2015. Measuring and Monitoring plant populations. Bureau of Land Management. National Business Center, Colorado, EEUU. 496 pp.
- Gutierrez, R. 2017. Estimación de la captura de CO₂ en el juncal del Área de Conservación Regional La Albufera de Medio Mundo (ACRAMM), Lima, Perú. Tesis Ingeniería Ambiental. Facultad de ingeniería agraria, Universidad Católica Saedes Sapientiae, Lima, Perú. 122 pp.
- Hammer, Ø., Harper, D., Ryan, P. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontología Electrónica*. 4: 9.
- Haoyang, C. 2018. Algae-Based Carbon Sequestration. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 120(1): 012011.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E., Telszewski, M. (Eds.) 2014. Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA. 184 pp.
- Ikusima, I., Gentil, J.G. 1987. Studies of vegetative growth and productivity of *Eichhornia azurea* in the Rio Doce valley lakes. In: Saijo, Y., Tundisi, J.G. (Eds.) *Limnological Studies in Central Brazil: Rio Doce Valley Lakes and Pantanal Wetland*: 89-101. Water Research Inst. Nagoya.
- Junk, W., Piedade, M. 1993. Biomass and primary production of herbaceous plant communities in the Amazon floodplain. *Hydrobiologia* 263: 155-162.
- Maquera, D. 2017. Determinación del contenido de carbono por especie forestal en el bosque del CIP Camacani-UNA-Puno por titulación. Tesis Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú. 92 pp.
- Martel, C., Cairampoma, L. 2012. Cuantificación del carbono almacenado en formaciones vegetales amazónicas en CICRA, Madre de Dios, Perú. *Ecología Aplicada* 11: 59-65.
- Mcleod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C.M., Lovelock, C.E., Schlesinger, W.H., Silliman, B.R. 2011. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9: 552-560.
- Menezes, C. 1984. Biomassa e producao primária de tres espécies de macrófitas aquáticas da Represa do Lobo (Broa). Dissertacao (Maestrado). Universidade Federal de Sao Carlos, Brasil. 207 pp.
- Mitsch, W., Bernal, J., Nahlik, A., Mander, Ü., Zhang, L., Anderson, C., Jørgenssen, C., Brix, H. 2013. Wetlands, carbon, and climate change. *Landscape Ecology* 28: 583-597.
- Mogas, J., Riera, P. 2005. El valor de la fijación de carbono en los programas de forestación. *Boletín económico de ICE, Información Comercial Española*: 13-28.
- Palomino, D., Cabrera, C. 2008. Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad*

- de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica 10: 49-59.
- Penha, J. 1994. Ecología populacional de *Pontederia lanceolata* (Natal) em una área alágavel do pantanal Matogrossense, MT. Dissertacao (Maestrado). Universidade Federal de Sao Carlos, Brasil. 92 pp.
- Pérez, P., Luccini, E., Herrera, L., Parodi, M., Matar, M., Barrea, L., Masramón, E. 2015. Cuantificación de la captura de CO₂ por la flora nativa de totora en un humedal costero en Perú. *Energeia* 13(13): 73-80.
- Roa-García, M.C., Brown, S. 2016. Characterization of carbon storage in small Andean Wetlands of the upper Río Barbas Watershed (Quindío, Colombia). *Caldasia* 38(1): 117-135.
- Tsao, C. 2017. Carbon Sequestration under different land uses and soils in the State of Quintana Roo, Mexico. Tesis de Maestría en ciencias ambientales. Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina, Universidad Autónoma de San Luis de Potosí. San Luis de Potosí, México. 102 pp.
- Walkley, A., Black, I. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil and, and a modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.

Received: 15.01.2020

Accepted: 07.05.2021