

Estimation of carbon dioxide potential stored in the aerial biomass of the Chaviña Wetlands, Arequipa, Peru.

Ttito Rado, Karen¹, Espiritu Chicllo, Isabel Romina², Ruiz-Huaman, Carmen Milagros³

^{1,2,3} Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201920693@upc.edu.pe, u201921298@upc.edu.pe, peigrui@upc.edu.pe

Abstract– *This study focused on analyzing the carbon storage capacity of the Chaviña wetlands, the objective was to estimate the carbon stock present in the aerial biomass. For this purpose, 17 samples were obtained randomly using a 0.25 m² quadrat. Subsequently, each sample underwent a drying process in an oven at a temperature of 60°C for periods of 24 to 72 hours, until they reached a constant weight. Next, the Walkley and Black method was applied to determine the carbon content in each of the samples. Finally, calculations were made to obtain the carbon stock stored in the aerial biomass. Additionally, statistical tests were carried out to identify the differences between the percentage of carbon in the aboveground biomass and the carbon stored in the aboveground biomass by marsh level (high, medium and low). The results obtained indicate that there are no significant differences in the carbon stock between the three marsh levels. In addition, it was quantified that the wetland biomass stores a total of 18 628 tC and sequesters 70 904 tCO₂. This finding shows the relevance of the Chaviña Wetlands as a significant carbon reservoir.*

Keywords– stored carbon dioxide, coastal wetlands, blue carbon.

Resumen– Este estudio se centró en analizar la capacidad de almacenamiento de carbono en los Humedales de Chaviña, el objetivo fue estimar el stock de carbono presente en la biomasa aérea. Para ello, de forma aleatoria, se obtuvieron 17 muestras utilizando un cuadrante de 0.25 m². Posteriormente, cada muestra pasó por un proceso de secado en una estufa a una temperatura de 60°C durante periodos de 24 a 72 horas, hasta que alcanzaron un peso constante. Seguidamente, se aplicó el método Walkley y Black para determinar el contenido de carbono en cada una de las muestras. Finalmente, se realizaron cálculos para obtener el stock de carbono almacenado en la biomasa aérea. Adicionalmente, se llevaron a cabo pruebas estadísticas para identificar las diferencias entre el porcentaje de carbono de la biomasa aérea y el carbono almacenado en la biomasa aérea por nivel de marisma (alta, media y baja). Los resultados obtenidos indican que no existen diferencias significativas en el stock de carbono entre los tres niveles de marisma. Además, se cuantificó que la biomasa del humedal almacena un total de 18 628 tC y secuestra 70 904 tCO₂. Este hallazgo muestra la relevancia de los Humedales de Chaviña como un significativo reservorio de carbono.

Palabras claves– dióxido de carbono almacenado, humedales costeros, carbono azul.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel global, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), principal gas relacionado con el calentamiento global [1] y cuyo incremento se ha establecido como un factor clave en relación con el cambio climático y el calentamiento global [2], ascendieron a 33 556 428 kt en 2020 y, se prevé un aumento

continuo de la temperatura durante las próximas décadas [3]. Esta situación, ha generado nuevos riesgos para la seguridad ambiental [4], así como perturbaciones en la seguridad alimentaria y el suministro de agua [5]. En 2018, se produjeron 315 eventos catastróficos de origen natural, mayormente relacionados con el clima, que afectaron a aproximadamente 68,5 millones de personas; las pérdidas económicas resultantes ascendieron a 131 700 millones de dólares [6].

Al respecto, la captura de carbono, como servicio ecosistémico, se presenta como una estrategia para abordar el cambio climático [7]. En este contexto, la protección de los depósitos de carbono y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) emergen como las principales propuestas [8]. En particular, a pesar de ocupar solo entre el 0.3% y el 5% del área total de humedales en el mundo [9], los humedales costeros sobresalen como uno de los ecosistemas más productivos del planeta. Su destacada eficiencia en la captura y secuestro de carbono contribuye significativamente a los sumideros globales de carbono [10]. Esta capacidad no solo les permite adaptarse, sino también mitigar los impactos del cambio climático [11]. En el Perú, el stock de carbono en ciertos humedales costeros ya ha sido evaluado, como los estudiados por [12] y [13].

Por lo cual, el objetivo principal de esta investigación es estimar el potencial de dióxido de carbono almacenado en la biomasa aérea de los Humedales de Chaviña, Arequipa, Perú.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Área de estudio

El área de estudio está ubicada en los Humedales de Chaviña, perteneciente al Distrito de Bella Unión, Provincia de Caravelí, en el departamento de Arequipa, Perú. El clima en esta región se caracteriza por temperaturas invernales moderadas y en condiciones climáticas normales, estas temperaturas varían entre 14 y 16 °C, lo que resulta en vientos cálidos y con un alto contenido de humedad [14]. Además, los humedales están dentro de una zona agrícola y se sitúan a altitudes que oscilan entre 0 a 20 m.s.n.m. y abarca una extensión de 200 hectáreas [14].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

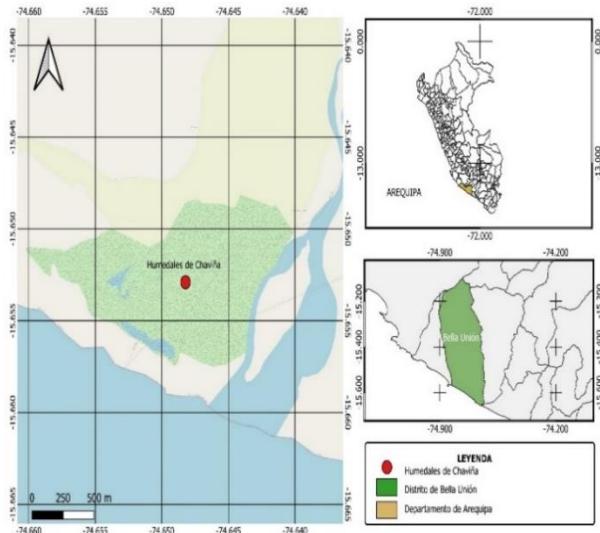


Fig 1. Ubicación de los Humedales de Chaviña

B. Métodos

Se utilizó el Manual Carbón Azul [15], debido a que detalla la metodología usada para la estimación de carbono en ecosistemas de carbono azul. Se delimitó el área de los Humedales de Chaviña mediante el uso de una imagen satelital; asimismo, se ubicó puntos de muestreo de forma aleatoria en grillas de identificación de 200 m x 200 m, teniendo en cuenta la accesibilidad y el presupuesto [15]. En cada punto de muestreo se colocó un cuadrante de 0.25x 0.25 m para la toma de muestra de la biomasa aérea [15]. Cada muestra fue pesada al instante, se almacenó y rotuló adecuadamente para ser llevada al Laboratorio de Aguas y Energías Renovables y al Laboratorio de Biología de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas y ser secada en una estufa a una temperatura de 60°C durante 24 a 72 h, hasta que presenten peso constante, y se tomó sus pesos en seco. Finalmente, su porcentaje de carbono se obtuvo a través el método Walkley y Black en el Laboratorio de Análisis de Suelos Plantas Aguas Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

C. Cálculo del stock de carbono y el dióxido almacenado

Para los cálculos se utilizó las fórmulas brindadas por [16], las cuales son:

Porcentaje de humedad en la biomasa aérea:

$$\%H = P_0 - P_s / P_0 \times 100\% \quad (1)$$

Donde %H es porcentaje de humedad (%), P_0 es peso inicial (peso fresco) de la biomasa (g) y P_s es peso seco (peso constante) de la biomasa (g)

Porcentaje de peso seco:

$$\%PS = 100 - \%H \quad (2)$$

Donde:

%PS: Porcentaje de peso seco (%)

%H: Porcentaje de humedad (%)

Porcentaje de carbono en las muestras:

$$FC = \%C / 100 \quad (3)$$

Donde FC es fracción de carbono y %C es porcentaje de carbono.

$$CB = BA \times PS \times (FC \times 1.32) \quad (4)$$

Donde CB es carbono de biomasa (gC/m^2), BA es cantidad de biomasa aérea (g/m^2), PS es porcentaje de biomasa seca (%), FC es fracción de carbono (C) y 1.32 es un factor de corrección [16].

Cálculo de reservas de dióxido de carbono:

Para hallar la reserva de dióxido de carbono, se utilizó la siguiente fórmula [17]:

$$CO_2 = CB \cdot Kr \quad (5)$$

Donde CO_2 es dióxido de carbono almacenado (tCO_2/ha), CB es carbono almacenado en la biomasa del humedal (tC/ha) y Kr es constante (44/12).

D. Análisis estadístico

Se utilizó el software Minitab, en primer lugar, se obtuvo el promedio y la desviación estándar de las muestras de biomasa aérea. Posteriormente, mediante prueba Kruskal-Wallis se identificó las diferencias entre el porcentaje de carbono de la biomasa aérea a nivel de marisma (alta, media y baja). Asimismo, se utilizó la prueba análisis de varianza (ANOVA) para identificar si existe diferencia entre el carbono almacenado en la biomasa aérea por nivel de marisma.

III. RESULTADOS

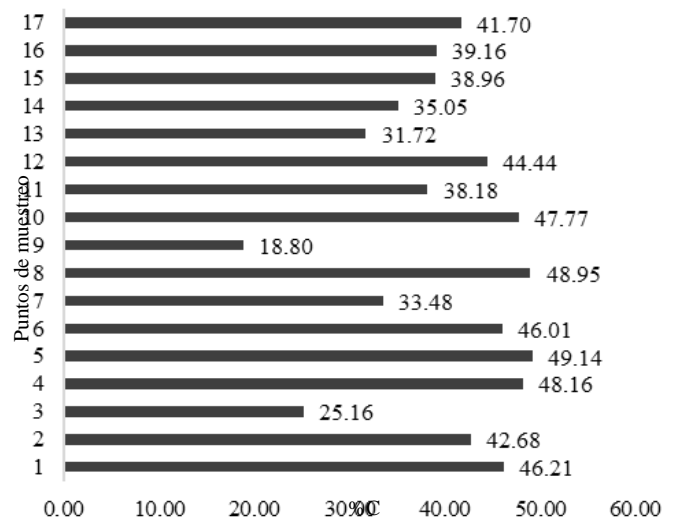


Fig 2. Porcentaje de carbono según punto de muestreo

En la figura 2, se observa el porcentaje de carbono según el punto de muestreo. El punto 5, situado en la marisma baja, destaca por tener el porcentaje más elevado de carbono, alcanzando un 49.14%. En contraste, el punto 9, también ubicado en la marisma baja, muestra el menor %C, con 18.80%.

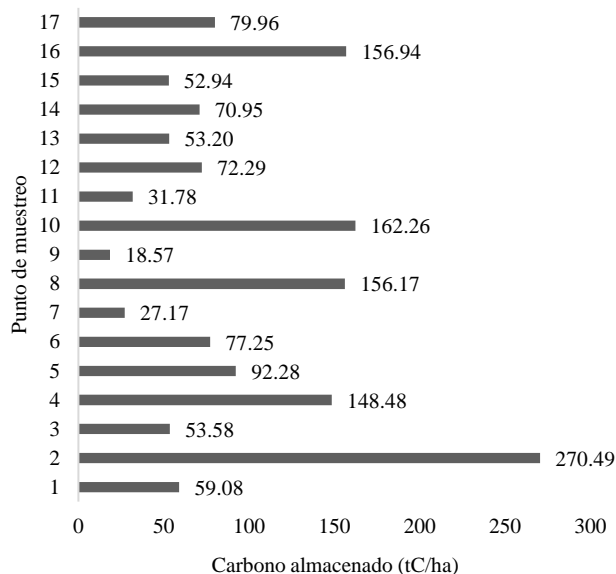


Fig. 3. Stock de carbono por punto de muestreo

La figura 3, muestra el stock de carbono en la biomasa aérea por punto de muestreo, observándose que el punto 2 (ubicado en la marisma media) presenta el mayor stock de carbono con 270.49 tC/ha, mientras que el punto 9 (ubicado en marisma baja) presenta el menor stock de carbono, con 18.57 tC/ha.

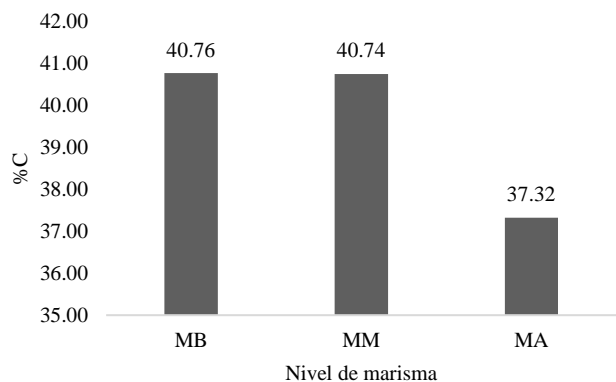


Fig. 4. Porcentaje de carbono por nivel de marisma

La figura 4, muestra el porcentaje de carbono por nivel de marisma. La marisma baja destaca al mostrar el mayor porcentaje de carbono, registrando un 40.76%, cifra similar a la observada en la marisma media, que alcanza un 40.74 %C. Por otro lado, la marisma alta presenta el menor %C, con 37.32%.

TABLA 1
STOCK DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA

Compartimiento	Media (tC/ha)	Media (gC/m ²)	Coefficiente de variación	Mínimo (gC/m ²)	Máximo (gC/m ²)
Biomasa aérea	93.14	9314	70.15	1857	207049

La tabla 1, muestra el promedio del stock de carbono en la biomasa aérea, siendo este 93.14 tC/ha en los Humedales de Chaviña.

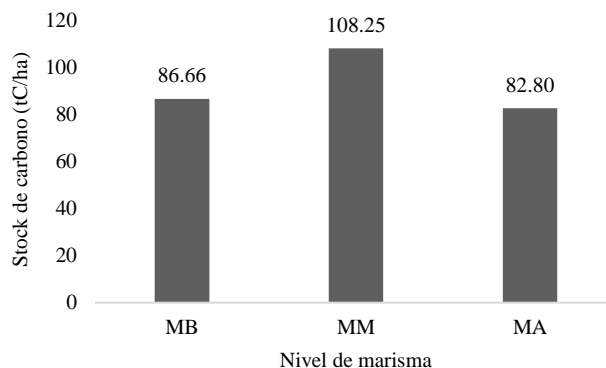


Fig. 5. Stock de carbono por nivel de marisma

La figura 5, muestra el carbono almacenado en la biomasa aérea por nivel de marisma, siendo la marisma media la que presenta mayor stock de carbono, con 108.25 tC/ha, y la marisma alta la que presenta menor stock de carbono, con 82.80 tC/ha.

TABLA 2
DIÓXIDO DE CARBONO SECUESTRADO EN LA BIOMASA AÉREA

Compartimiento	Dióxido de carbono secuestrado (tCO ₂ /ha)
Biomasa aérea	341.52

La tabla 2, muestra que los humedales de Chaviña secuestran en total 341.52 tCO₂/ha en su biomasa aérea.

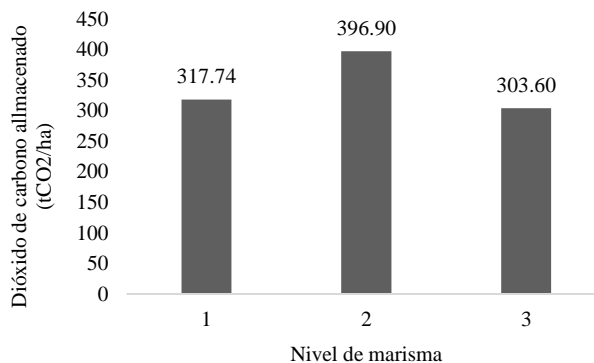


Fig. 6. Dióxido de carbono secuestrado en la biomasa aérea por nivel de marisma

La figura 6, muestra el dióxido de carbono almacenado en la biomasa aérea por nivel de marisma, siendo la marisma media que presenta mayor secuestro de dióxido de carbono, con 396.90 tCO₂/ha, y la marisma alta que presenta menor secuestro de dióxido de carbono, con 303.60 tCO₂/ha.

DF	H-Value	P-Value
2	2.14	0.343

Fig. 7. Prueba Kruskal-Wallis para nivel de marisma por porcentaje de carbono

Para determinar si existen diferencias significativas en el %C a nivel de biomasa aérea en los tres niveles de marismas, se usó la prueba de Kruskal-Wallis, debido a que no se cumplió el supuesto de normalidad ($p=0.017$). No se encontró diferencias significativas en las medianas de los tres estratos; por lo cual, no hay suficiente evidencia para concluir que el nivel de marisma impacta en el %C de la biomasa aérea.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Estrato	2	21558271	10779136	0.23	0.799
Error	14	661492742	47249482		
Total	16	683051013			

Fig. 8. Prueba de ANOVA para nivel de marisma por stock de carbono

Para determinar si existía diferencias significativas del stock de carbono según nivel de marisma, se usó la prueba ANOVA, puesto que cumplía con la prueba de normalidad ($p=0.093$) y homocedasticidad ($p=0.312$). Se determinó que las medias son iguales, por lo que no hay suficiente evidencia para concluir que el nivel de marisma influye en el stock de carbono de la biomasa aérea.

IV. DISCUSIONES

En el estudio se determinó que la biomasa aérea de los Humedales de Chaviña almacenan 93.14 tC/ha, el cual es mayor en comparación con diferentes investigaciones realizadas en humedales costeros peruanos. En los Humedales de Puerto Viejo [12], ubicado en el departamento de Lima, obtuvieron que el stock de carbono de la biomasa aérea en los era de 11.27 tC/ha, cabe mencionar que sólo se evaluaron cuatro especies vegetales: *Scirpus americanus Pers.*, *Paspalum vaginatum Swartz*, *Salicornia fruticosa Linneo* y *Schoenoplectus californicus (C.A.Mey) Soyak*. Por su parte, en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSPV) [17], ubicado en Lima, se obtuvo que presentaba un stock de carbono de 53.41 tC/ha, siendo sólo evaluados las comunidades vegetales de totoral, totoral mixto (*T. domingensis* y *Cladium jamaicense*), gramadal y gramadal mixto (*Gramas* y *Schoenoplectus americanus*).

Las diferencias de los resultados obtenidos se debieron por las especies vegetales analizadas, ya que en el presente estudio se evaluó a la biomasa aérea en general y no por especies vegetales o por comunidades, y por las metodologías utilizadas

para estimar el stock de carbono, ya que para nuestro estudio se usó un factor de corrección utilizado por [14].

TABLA 3
STOCK DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA DE LOS HUMEDALES COSTEROS PERUANOS

Humedal	Stock de carbono
Humedales de Chaviña	93.14 tC/ha
Humedales de Puerto Viejo [12]	11.37 tC/ha
RVSPV [13]	53.41 tC/ha

En relación con el servicio ecosistémico de captura de dióxido de carbono, en el presente humedal se obtuvo que secuestraba 341.51 tCO₂/ha, el cual es mayor a lo obtenido por [16] en la flora de los Humedales de Puerto Viejo que era de 41.69 t CO₂/ha y, de igual manera, mayor a lo obtenido por [18] quien halló en el RVSPV con 195.84 tCO₂/ha como servicio de secuestro de CO₂. De igual manera, las variaciones en los resultados se atribuyen a las diferentes especies de plantas examinadas en los estudios y a las metodologías empleadas para calcular la reserva de carbono.

TABLA 4
SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CAPTURA DE CO₂ EN LA BIOMASA AÉREA DE LOS HUMEDALES COSTEROS PERUANOS

Humedal	CO ₂ capturado
Humedales de Chaviña	341.51 tCO ₂ /ha
Humedales de Puerto Viejo [12]	41.69 tCO ₂ /ha
RVSPV [13]	195.84 tCO ₂ /ha

Además, el presente estudio evaluó marismas, en [19] destacan el papel de la vegetación halófila para evitar las emisiones de GEI a la atmósfera, ya que contribuyen al almacenamiento a largo plazo causado por la desintegración paulatina de las sustancias orgánicas. Cabe destacar que las marismas saladas (y manglares) liberan cantidades insignificantes de GEI, mientras que almacenan más cantidad de carbono por unidad de superficie en comparación con los humedales de agua dulce [21].

Asimismo, las marismas que se inundan con mayor frecuencia tienen un índice de acumulación de carbono más alto que marismas que se han inundado con menor frecuencia posiblemente por el impacto positivo de las inundaciones en la generación de raíces [21]. Sin embargo, en el presente trabajo se obtuvo que a nivel de biomasa aérea no hay diferencias significativas en el porcentaje de carbono y el stock de carbono en los tres niveles de marisma (marisma, media, alta y baja). Cabe destacar, que en las marismas la tasa de almacenamiento de carbono tanto en la biomasa y en el suelo es de 917 Mg CO_{2e}/ha y su tasa de secuestro de carbono es de 8 tCO₂/ha/año [21], siendo tasas de almacenamiento altas que contribuyen a la

lucha contra el cambio climático y su importancia de conservar estos ecosistemas marinos-costeros.

TABLA 5
STOCK DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA DE DIFERENTES TIPOS DE ECOSISTEMAS

Humedal	Stock de carbono	CO ₂ capturado
Humedales de Chaviña	93.14 tC/ha	341.51 tCO ₂ /ha
Humedal Tragadero [22]	28.54 tC/ha	104.65 tCO ₂ /ha
Humedal Altoandino de Chalhuanca [23]	4.77 tC/ha	17.49 tCO ₂ /ha

El Perú se distingue por poseer una gran diversidad de ecosistemas, entre los cuales destacan los bofedales que son humedales altoandinos con vegetación herbácea de tipo hidrófila que se distribuyen principalmente en la sierra central y sur del país [23]. La cantidad de carbono acumulado en estos ecosistemas está directamente vinculada a la producción vegetal. En comparación, los humedales de Chaviña tienen un stock de carbono de 93.144 tC/ha que supera por 88,34 tC/ha a lo estimado en el Humedal Altoandino de Chalhuanca. En este sentido, el registro de un valor bajo, como los 4.77 tC/ha, en el Humedal Altoandino de Chalhuanca, podría atribuirse a que los bofedales presentan una altura promedio de vegetación inferior a 5 cm [24]. Este hallazgo se podría deber a que los ecosistemas costeros de carbono azul tienen el potencial de capturar y almacenar más carbono por unidad de área de la atmósfera al suelo, debido a su alta capacidad fotosintética y bajas tasas de descomposición [10].

La capacidad de las plantas para absorber CO₂ puede verse afectada por varios factores, incluyendo el aumento del nivel del mar, las altas temperaturas resultantes del calentamiento global, el estrés ambiental, las variaciones en la salinidad del agua, las precipitaciones, la temperatura atmosférica y los cambios en la radiación solar pueden modificar la estructura y el metabolismo de las plantas [15]. Por lo cual, es importante mayores esfuerzos frente al cambio climático, debido a que afecta negativamente al servicio ecosistémicos de captura de dióxido de carbono de las plantas.

Desde 1900, se estima que los humedales han perdido cobertura estimada en aproximadamente 46.4%, siendo una de las principales presiones la influencia de la agricultura [25]; en ese sentido, en los Humedales de Chaviña se observó presión por parte de la frontera agrícola, debido a que los humedales están rodeados de campos de cultivos y se realiza la quema de hojarasca contiguamente a los humedales, que pone en peligro la conservación de este ecosistema y su servicio ecosistémico de captura de dióxido de carbono.

V. CONCLUSIONES

Los Humedales de Chaviña brindan un servicio ecosistémico mediante la captura de dióxido de carbono en la biomasa, el cual es de 68 302 tCO₂ y el stock de carbono, que es de 18 628 tC. Lo cual, abre la posibilidad de explorar

oportunidades de valorización económica a través de bonos de carbono azul que fortalecería la conservación de los Humedales de Chaviña.

Asimismo, se encontró a nivel de biomasa aérea que no existía diferencias significativas de stock de carbono y de porcentaje de carbono en los tres niveles de marisma (alta, media y baja).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) por brindar las facilidades para el uso del Laboratorio de Aguas y Energías Renovables y del Laboratorio de Biología. Asimismo, agradecemos a la Municipalidad Distrital de Bella Unión, departamento de Arequipa, por su apoyo en el traslado a la zona.

REFERENCIAS

- [1] R. Medrano, L. Chupan, and M. Vila, "Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha," *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, vol. 02, no. 02, pp. 110–117, Dec. 2012, doi: 10.18259/acs.2012013.
- [2] T. Wilberforce, A. G. Olabi, E. T. Sayed, K. Elsaid, and M. A. Abdelkareem, "Progress in carbon capture technologies," *Science of The Total Environment*, vol. 761, p. 143203, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143203.
- [3] Banco Mundial, "Emisiones de CO₂ (kt)," 2020.
- [4] L. Zhang *et al.*, "Integrated environmental influences quantification of pilot-scale constructed wetlands based on modified ecological footprint assessment," *Science of The Total Environment*, vol. 843, p. 157039, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.157039.
- [5] G. Sánchez-Galván, E. J. Olguín, F. J. Melo, D. Jiménez-Moreno, and V. J. Hernández, "Pontederia sagittata and Cyperus papyrus contribution to carbon storage in floating treatment wetlands established in subtropical urban ponds," *Science of The Total Environment*, vol. 832, p. 154990, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154990.
- [6] S. Fawzy, A. I. Osman, J. Doran, and D. W. Rooney, "Strategies for mitigation of climate change: a review," *Environ Chem Lett*, vol. 18, no. 6, pp. 2069–2094, Nov. 2020, doi: 10.1007/s10311-020-01059-w.
- [7] F. Wang *et al.*, "Coastal blue carbon in China as a nature-based solution toward carbon neutrality," *The Innovation*, vol. 4, no. 5, p. 100481, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.xinn.2023.100481.
- [8] A. J. Wahyudi *et al.*, "Carbon sequestration index as a determinant for climate change mitigation: Case study of Bintan Island," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 118, p. 012050, Feb. 2018, doi: 10.1088/1755-1315/118/1/012050.
- [9] W. Lu, J. Xiao, F. Liu, Y. Zhang, C. Liu, and G. Lin, "Contrasting ecosystem of CO₂ fluxes of inland and coastal wetlands: a meta-analysis of eddy covariance data," *Glob Chang Biol*, vol. 23, no. 3, pp. 1180–1198, Mar. 2017, doi: 10.1111/gcb.13424.
- [10] Y. Huang, C. Zhou, M. Du, P. Wu, L. Yuan, and J. Tang, "Tidal influence on the relationship between solar-induced chlorophyll fluorescence and canopy photosynthesis in a coastal salt marsh," *Remote Sens Environ*, vol. 270, p. 112865, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.rse.2021.112865.
- [11] W. Hou, R. Zhang, Y. Xi, S. Liang, and Z. Sun, "The role of waterlogging stress on the distribution of salt marsh plants in the Liao River estuary wetland," *Glob Ecol Conserv*, vol. 23, p. e01100, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.gecco.2020.e01100.
- [12] D. Palomino Contreras and C. F. Cabrera Carranza, "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 minas, metalurgia y ciencias geográficas, ISSN-e 1682-3087, ISSN 1561-0888, Vol. 10, N°. 20, 2007, págs. 49-59*, vol. 10, no. 20, pp. 49–59, 2007, Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8135826&info=resumen&idioma=ENG>

- [13]M. F. Corvacho Cárdenas, “Estimación del carbono almacenado en los totorales y gramadales del Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa, Lima, Perú,” 2020. doi: 10.21142/TL.2020.1203.
- [14]Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, “Recursos Turístico. Humedales De Chaviña.”
- [15]J. Howard, S. Hoyt, K. Isensee, E. Pidgeon, and M. Telszewski, *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows*. Arlington, 2018. Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.thebluecarboninitiative.org/manual-espanol>
- [16]V. H. Guerrero-Palomino, D. Malca-Rodríguez, and H. Aponte, “Reservas de carbono en un ecosistema del desierto sudamericano: El caso de las Lomas de Amancaes (Lima, Perú),” *Rev Acad Colomb Cienc Exactas Fis Nat*, vol. 46, no. 181, pp. 971–984, Dec. 2022, doi: 10.18257/RACCEFYN.1760.
- [17]H. Pérez Pinedo *et al.*, “Cuantificación de la captura de CO₂ por la flora nativa de totora en un humedal costero en Perú,” vol. 13, no. 13, 2015, Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf
- [18]K. Salazar Navarro, “Captura del Carbono Azul Mediante La Grama Salada (*Distichlis spicata* (L.) Greene) en El Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos De Villa,” 2019, Accessed: Oct. 29, 2023. [Online]. Available: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3299447>
- [19]S. M. Morales-Ojeda, J. A. Herrera-Silveira, and R. Orellana, “Almacenes de carbono en un paisaje de humedal cárstico a lo largo de un corredor transversal costero de la Península de Yucatán,” *Madera y bosques*, vol. 27, no. spe, Dec. 2021, doi: 10.21829/MYB.2021.2742425.
- [20]G. L. Chmura, S. C. Anisfeld, D. R. Cahoon, and J. C. Lynch, “Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils,” *Global Biogeochem Cycles*, vol. 17, no. 4, p. 1111, Dec. 2003, doi: 10.1029/2002GB001917.
- [21]S. Akter and S. Nama, “Ecosistemas de carbono azul: una estrategia para mitigar el cambio climático global,” *Aquacultura*, no. 151, pp. 57–60, Feb. 2023, Accessed: Oct. 29, 2023. [Online]. Available: https://issuu.com/revista-cna/docs/edicion_151/42
- [22]C. Chang Ocaña and L. M. Mandarachi Misari, “Estimación de la captura de Carbono en las especies predominantes del humedal Tragadero-Junín.” Universidad San Ignacio de Loyola, 2021. Accessed: Mar. 30, 2024. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.14005/12056>
- [23]T. Alvis-Ccoropuna *et al.*, “Cálculo y valoración del almacenamiento de carbono del humedal altoandino de Chalhuanca, Arequipa (Perú),” *Revista de Investigaciones Altoandinas*, vol. 23, no. 3, pp. 139–148, Aug. 2021, doi: 10.18271/RIA.2021.314.
- [24]Ministerio del Ambiente, “SEXTO INFORME NACIONAL SOBRE DIVERSIDAD BIOLÓGICA LA BIODIVERSIDAD EN CIFRAS,” Jun. 2019.
- [25]T. Alvis-Ccoropuna, J. F. Villasante-Benavides, G. A. Pauca-Tanco, J. del P. Quispe-Turpo, and C. R. Luque-Fernández, “Cálculo y valoración del almacenamiento de carbono del humedal altoandino de Chalhuanca, Arequipa (Perú),” *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, vol. 23, no. 3, pp. 139–148, Aug. 2021, doi: 10.18271/ria.2021.314.
- [26]Ramsar, “Humedales: en peligro de desaparecer en todo el mundo.” Accessed: Jan. 26, 2024. [Online]. Available: www.ramsar.org/es/