



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“DIAGNÓSTICO DEL CARBONO AZUL EN HUMEDALES DE LA
COSTA CENTRAL DEL PERÚ”

Trabajo de Investigación para optar el grado de:
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Daribeth Milagros Rubio Julcapoma
(0000-0002-2269-3974)

Asesor:

Dámaso Wilfredo Ramírez Huaroto
(0000-0003-4605-9422)

Lima – Perú

2019



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 243 -2020-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 16 de noviembre de 2020

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **DIAGNÓSTICO DEL CARBONO AZUL EN HUMEDALES DE LA COSTA CENTRAL DEL PERÚ**, presentado por:

- **Daribeth Milagros Rubio Julcapoma**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **DIAGNÓSTICO DEL CARBONO AZUL EN HUMEDALES DE LA COSTA CENTRAL DEL PERÚ** con N° de registro de la carrera: **0101-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Damaso Wilfredo Ramírez Huaroto** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,

Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

Diagnóstico de carbono azul en humedales costeros del Perú

Diagnosis of blue carbon in coastal wetlands of Peru

Daribeth Rubio J.^{1*} y Dámaso Ramírez H.¹

1 Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

*Autor de correspondencia: Daribeth Rubio; e-mail: daribeth22@gmail.com

Resumen

Los ecosistemas costeros tienen una gran relevancia debido a los servicios ambientales que proveen, en los últimos años estos ecosistemas han logrado llamar la atención principalmente por el hecho que son grandes sumideros de carbono, por tal motivo se han venido desarrollando varias investigaciones sobre el secuestro de carbono de estos ambientes conocido como carbono azul. En los últimos diez años se han realizado, en los humedales costeros de Perú, varias investigaciones con respecto a este tema; Humedales de Villa María, Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa, Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, Humedales de Puerto Viejo, Albuferas de Medio Mundo, entre otros. El propósito de esta revisión es brindar información sobre el secuestro de carbono por parte de los humedales costeros del Perú. Este análisis puede contribuir en futuros trabajos de investigación que se realicen, así como ayudar a la protección y conservación de estos ecosistemas.

Palabras clave: humedales costeros, secuestro de carbono, carbono azul, stock de carbono, dióxido de carbono

Abstract

Coastal ecosystems have great relevance due to the environmental services they provide, in recent years these ecosystems have managed to attract attention mainly due to the fact that they are large carbon sinks, for this reason several investigations have been carried out on the sequestration of carbon from these environments known as blue carbon. In the last ten years, several investigations have been carried out in the coastal wetlands of Peru; Villa María Wetlands, Los Pantanos de Villa Wildlife Refuge, Ventanilla Wetlands Regional Conservation Area, Puerto Viejo Wetlands, Albufera de Medio Mundo Regional Conservation Area, among others. The purpose of this review is to provide information on carbon sequestration by the coastal wetlands of Peru. This analysis can contribute in future research works that are carried out, as well as help the protection and conservation of these ecosystems.

Keywords: coastal wetlands, carbon sequestration, blue carbon, carbon stock, carbon dioxide

Revisión teórica

1 Metodología.

Para la ejecución de esta investigación se llevó a cabo una búsqueda de información sobre carbono azul en humedales costeros basada en artículos científicos (SciELO, Scopus y Google Scholar) y tesis relacionadas con el tema en cuestión. Se analizó información de los últimos 15 años. Se recopiló la información disponible, la cual fue muy amplia. En base a la información encontrada se realizó un análisis de los estudios sobre carbono azul o stock de carbono que se han realizado en Humedales de la Costa del Perú. Finalmente, en base al análisis realizado se realiza un breve comentario sobre la importancia de conservación de estos ecosistemas.

2 Carbono azul en humedales costeros.

Los ecosistemas costeros se han convertido en un tema científico muy significativo por el rol que tienen como sumideros de carbono naturales en el relación a la mitigación del cambio climático (Howard et al., 2017); a pesar de que en el mundo los humedales abarcan entre el 5 a 8% del área total del planeta (Mitsch & Gosselink, 2015; Ramirez et al., 2018). Por ello, recientemente se han desarrollado investigaciones sobre sumideros de carbono en los ecosistemas costeros y en los océanos (Howard et al., 2017; Sabine et al., 2004).

Los ecosistemas costeros son muy importantes porque poseen una gran riqueza natural y una gran variedad de servicios ambientales (Herrera & Teutli, 2017), por tal motivo tienen un importante papel económico (CONABIO, 2009). Entre los servicios ambientales se encuentra la protección de costas, el secuestro de carbono y la preservación de la biodiversidad (CONANP, 2017). Los humedales costeros, entre ellos pastos mari-

nos, marismas y manglares, están obteniendo mayor relevancia como sumideros de carbono por la capacidad que poseen de secuestrar grandes cantidades de carbono en su suelo y en su biomasa (Howard et al., 2017; IPCC, 2014), estos ambientes también tienen un rol esencial en la regulación del clima (Villa & Bernal, 2018).

El secuestro de carbono consiste en el traspaso de CO₂ de la atmósfera a los reservorios de carbono bióticos; esto se debe a que los sumideros terrestres capturan aproximadamente el 40% del CO₂ emitido por la actividad antrópica y; por ende, desempeñan un rol significativo en el ciclo del carbono (Lal, 2008). Los ecosistemas costeros, también llamados "ecosistemas de carbono azul", son considerados como uno de los sistemas de bio secuestración más eficientes en el mundo (Macreadie et al., 2017; McLeod et al., 2011). Estos ecosistemas son capaces de acopiar carbono con mayor rapidez que los ecosistemas forestales (Adams, 2015; Ampuero, 2018).

A pesar de su relativa pequeña extensión, estos ecosistemas son potencialmente importantes en el secuestro de carbono en comparación con ecosistemas terrestres (McLeod et al., 2011). El secuestro de carbono en ecosistemas se da cuando el carbono es almacenado en los tejidos vegetales, biomasa y suelos del ecosistema; por lo que, estos hábitats tienden a reducir el carbono de la atmósfera (Sifleet et al., 2011). También estos ambientes secuestran el carbono en los sedimentos y en la biomasa como hojarasca y madera muerta (McLeod et al., 2011). No obstante, el rol de sumideros de carbono que realizan los humedales puede ser alterado considerablemente por la hidro-geomorfología del humedal y el lugar del paisaje (Bernal & Mitsch, 2013). Entonces, para entender el secuestro de carbono en humedales es esencial comprender los factores como la accesibilidad de sustratos, oxígeno, temperatura y el transporte de carbono (Villa & Bernal, 2018).

Los humedales tienen un papel importante como receptores de materia orgánica proveniente de otros ecosistemas; por lo que, almacenan grandes cantidades de CO₂ (Herrera & Teutli, 2017). Uno de los mecanismos clave de estos ecosistemas es su eficiencia en atrapar sedimentos y carbono desde fuera de los límites de sus ecosistemas (McLeod et al., 2011).

Los humedales templados y tropicales, de agua dulce, abarcan un gran grupo de carbono; sin embargo, a la fecha no existe estimaciones globales puntuales de este tipo de humedales que puedan ser comparados con las estimaciones existentes del grupo de carbono global de marismas, turberas boreales y manglares (Villa & Bernal, 2018). A pesar de que, las marismas, los manglares y las praderas marinas solo ocupan una delgada franja costera, estas desempeñan un significativo papel en las emisiones de carbono (Pendleton et al., 2012).

Al cuantificar las reservas de carbono de los humedales mediante la medición de la biomasa y el suelo; se determinó que los humedales costeros son importantes reservas de carbono (Adame et al., 2013). El almacenamiento del carbono en los humedales depende de diversos factores como topografía y posición geológica de los humedales, vegetación, pH, temperatura y humedad del suelo, morfología, y régimen hidrológico (Adhikari et al., 2009).

Se estima que la conversión y degradación de los ecosistemas costeros cada año pueden liberar entre 1.02 y 0.15 billones de toneladas de CO₂ de la atmósfera (Pendleton et al., 2012). Las emisiones de carbono son estimadas por el contenido de carbono de los suelos y las biomasas (Sifleet et al., 2011). El valor estimado de captura y almacén de carbono azul en estos ecosistemas es entre 235×10^8 y 450×10^8 tC/año, esto es equivalente a la mitad de lo que se genera en sector transporte a nivel mundial, que tiene un valor estimado de 1000×10^8 tC/año. El secuestro de carbono por parte de estos ecosistemas

está generando oportunidades para su conservación y restauración (Macreadie et al., 2017). Por ende, de gestionar correctamente los almacenes del carbono azul, estos tendrían un papel potencial en la mitigación del cambio climático (Herrera & Teutli, 2017).

2.1. *Carbono azul en pantanos y esteros (Incluyendo zonas inundadas y marismas).*

Las marismas normalmente se encuentran pobladas por plantas herbáceas como pastos, juncos y juncias, esta vegetación se distingue de los pastos marinos porque necesita exposición a la atmósfera para poder realizar sus funciones fotosintéticas y respiratorias, la vegetación se encuentra sometida a condiciones de estrés ambiental, lo que causa que exista una limitada vegetación en estos ecosistemas (Short et al., 2016). Las marismas son uno de los sumideros de carbono más eficaces de la Tierra, debido a que almacenan hasta 55 veces más carbono orgánico en sus suelos que las selvas tropicales, para niveles milenarios (Macreadie et al., 2017). Las marismas capturan CO₂ presente en la atmósfera y partículas de materia orgánica de las aguas de mareas crecidas, la captación de carbono es dependiente al crecimiento de la vegetación, por ende se supone que los factores que generan estrés ambiental en el crecimiento de la vegetación incidirán también en el almacenamiento de carbono (Short et al., 2016).

2.2. *Carbono azul en lechos marinos submareales (praderas de pastos marinos, praderas de algas y praderas marinas mixtas tropicales).*

Las praderas de pastos marinos son ambientes inmensamente provechosos, estos ofrecen significativos servicios ecosistémicos en las zonas donde se encuentran, dentro de los cuales se encuentra la captura de carbono y nutrientes. En el sedimento de las algas marinas se encuentra el carbono orgánico o también llamado carbono azul, este se acopia tanto en la producción, así como del proceso de sedimentación de las partículas de carbono que se encuentran en la columna de agua (Greiner et al., 2013). Los pastos marinos

echan raíz en los sedimentos donde producen flores, polen y semillas debajo de la superficie de los océanos costeros, estos crecen en todos los continentes en entornos costeros y estuarinos; al poseer una compleja estructura física puede sustentar una biomasa considerable (Short et al., 2016). Según Pendleton et al. (2012), los pastos marinos poseen las reservas más bajas de carbono, pero debido a que poseen un área global más amplia que los manglares, son los que tienen un mayor aporte a las emisiones de carbono azul. Se estima que los pastos marinos almacenan aproximadamente el 20% del carbono azul y ocupan un área aproximada de 0.2% de la superficie del océano y; a pesar de que, se encuentran sumergidos y no pueden ser visto con facilidad, se hallan entre los ambientes más vulnerables del planeta (Short et al., 2016).

Los pastos marinos almacenan el carbono presente en el agua mediante el proceso de fotosíntesis, así lo incorporan en los tejidos de las hojas, raíces y rizomas; el carbono se descompone parcialmente en los sedimentos, lo que hace que se incremente el carbono orgánico presente en los suelos; se estima que el índice de almacenamiento de los pastos marinos es entre 27×10^8 y 40×10^8 tC/año, en otras palabras almacenan hasta 83 toneladas de C/km².año (Short et al., 2016).

2.3. Carbono azul en humedales intermareales arbolados (manglares, pantanos de “nipa” e inundables mareales de agua dulce).

Los manglares están formados por plantas en donde predominan especies llamadas mangles, los que poseen raíces aéreas (neumatóforos) y resisten ante el estrés salino (CONABIO, 2009). En los manglares el carbono es capturado a través de la fotosíntesis en forma de CO₂ y luego es acopiado en las hojas, ramas, troncos, raíces y sedimentos; este carbono puede ser trasladado a otros ecosistemas lo que favorece el funcionamiento y la conectividad de un ecosistema a otro (Herrera & Teutli, 2017). Los manglares son

ecosistemas que poseen un gran cantidad de carbono almacenado por hectárea (Pendleton et al., 2012). En este tipo de humedal, la presencia de agua provoca la disminución del oxígeno lo que causa que el carbono orgánico almacenado en el suelo no se descomponga en CO₂ atmosférico (Sifleet et al., 2011). Se determinó que los manglares poseen tasas de captura más altas en comparación a sedimentos presentes en pantanos; además, los niveles de pH en manglares varían normalmente entre 7-9 y en pantanos entre 8-9 (Bianchi et al., 2013). Se ha comprobado que los manglares estuarinos capturan de 237 a 563 t C/ha en comparación con las marismas que capturan entre 12 a 60 tC/ha (Murray et al., 2011).

3 Carbono azul en humedales costeros de Perú.

En el Perú se ha identificado humedales a lo largo del litoral costero, siendo departamentos donde se encuentran estos ecosistemas Tumbes, Lambayeque, Arequipa, Lima, Ica, Ancash, Moquegua La Libertad, Piura y Tacna (ProNaturaleza, 2010). Sin embargo, en los humedales de la costa central es dónde más investigaciones se han realizado. En este contexto se analiza el estado del conocimiento del carbono azul en cinco humedales costeros.

3.1. Carbono azul en el Refugio de vida silvestre de los Pantanos de Villa.

El Refugio de Vida Silvestre de los Pantanos de Villa tiene por ubicación el distrito de Chorrillos al sur de la ciudad de Lima, este humedal posee un área aproximada de 263,3 ha. Al efectuar un estudio sobre la acumulación de carbono en este humedal, se determinó que el carbono total almacenado es de 68, 1 tC/ha (Cuellar & Salazar, 2016).

Al analizar las especies vegetales de junco (*Schoenoplectus americanus*) y totora (*Schoenoplectus californicus*) se encontró que la totora posee una gran capacidad de almacenamiento (36.4 tC/ha) en comparación al junco (31.9 tC/ha) (Cuellar & Salazar, 2016).

Asimismo, Ampuero (2018) calculó la cantidad de carbono total en las reservas de biomasa aérea (herbácea y hojarasca) del junco, el cual almacenaba aproximadamente 53.23 tC/ha. El carbono presente en los depósitos y hojarasca herbáceo fue de 49.9170 tC/ha y 3.3125 tC/ha respectivamente, se observa que el depósito de hojarasca posee la más alta cantidad de carbono almacenado lo que se estima en 93,78 % de carbono aéreo.

Con respecto al carbono total en las reservas de biomasa de raíces y rizomas del junco, se determinó que almacena un total de 183,68 tC/ha. Además, se concluyó gran cantidad de carbono almacenado está en los primeros 10 centímetros del suelo obteniendo como resultando 252.1384 tC/ha, adicionalmente se dedujo que el carbono almacenado en la biomasa de raíces era menor al carbono almacenado en el suelo (Ampuero, 2018). Además de manera general, en el área de crecimiento natural de la comunidad del junco presente en el Refugio de vida silvestre Los Pantanos de Villa existe un stock de carbono de 9725.97 tC y el potencial de captación que posee es de 35694.30 tCO₂ (Ampuero, 2018).

Por otro lado, Salazar (2019) evaluó la captura del carbono azul por la grama salada (*Distichlis spicata* (L) Greene) en las reservas de biomasa vegetal y en el depósito suelo. Se determinó que la biomasa vegetal de la especie en el RVSPV contenía un valor de 16.35 ± 7.79 tC/ha. Para la evaluación de carbono azul en el suelo se utilizaron tres técnicas: Walkey & Black, %LOI (Loos on Ignition) y por análisis elemental; para los cuales se obtuvo 57.94 ± 7.92 tC/ha, 181.8 ± 18.20 tC/ha y 110.3 ± 7.25 tC/ha respectivamente. Esto implica que se puede sobreestimar la cantidad de carbono capturado en

suelos de una determinada especie al hacer uso de una sola técnica de análisis (Salazar, 2019).

3.2. Carbono azul en el humedal de Puerto Viejo.

La flora del humedal de Puerto Viejo está caracterizada por especies como la totora, el junco, grama salada y la salicornia; de las cuales se determinó, al ser estudiadas, que la especie que presentó la mayor capacidad de captura de carbono fue la totora (*Schoenoplectus californicus*) con un valor de 20.1 tC/ha, seguido del junco (*Scirpus americanus*) por 11.1 tC/ha, grama salada (*Paspalum vaginatum*) con 11 tC/ha y por último la salicornia (*Salicornia fruticosa*) con 3.3 t C/ha (Palomino, 2007). Por otro lado, con respecto a la captura de CO₂ ambiental, la especie que captura más CO₂ fue la totora con 73.7 tCO₂/ha y la segunda fue el junco con 40.6 tCO₂/ha. La comunidad vegetal total es la que predomina en el contenido de carbono presente en su biomasa foliar, esto se puede deber a que esta especie al poseer un valor artesanal es cortada anualmente; en consecuencia, se origina un nuevo acopio de carbono en sus estructuras por lo que es una de las especies más importantes en la captura de carbono de este humedal (Palomino, 2007).

3.3. Carbono azul en el Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo.

El Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo tiene una superficie total de 261.5 ha. En el ACRAMM se ha reportado una flora compuesta por 21 especies vegetales existentes, entre las cuales se encuentran la totora balsa, totora enea, el junco,

el carrizo, entre otros (Aponte & Cano, 2013). Se han logrado identificar cuatro comunidades: una comunidad de anfibias, una comunidad de gramadal, una comunidad dominada por *Lippia nodiflora* y una comunidad de juncal (Aponte & Ramírez, 2011).

En el estudio realizado por Gutierrez (2017) en el ACRAMM, se determinó el carbono almacenado en una comunidad de juncal (*Schoenoplectus americanus*) según sus etapas fenológicas, junco juvenil, maduro, senescente y asociado; entre los cuales no existían diferencias significativas en el almacenamiento en la biomasa aérea; ya que, el rango fue de 3.52 tC/ha - 4.26 tC/ha. La diferencia se dio en los depósitos de suelo, necromasa y raíces donde los rangos fueron 0.23 tC/ha – 84.13 tC/ha, 3.27 tC/ha – 13.30 tC/ha y 1.44 tC/ha – 4.64 tC/ha. El carbono total almacenado en una comunidad juncal de las albuferas de Medio Mundo es de 61.1 t C/ha y el dióxido de carbono secuestrado es de 224.1 t CO₂/ha. (Gutierrez, 2017).

Por otro lado, Velasquez (2019) determinó mediante un mapa de cobertura vegetal que la totora balsa (*Schoenoplectus californicus*) del ACRAMM constituye un 2.03% del área total, lo que representa 5.31 ha aproximadamente. Asimismo, se estimó que esta especie tiene un promedio de 15.25 tC/ha aérea y un promedio de 13.28 tC/ha de raíz calculando que la comunidad total acumula un total de 106.39 tCO₂/ha, (Velasquez, 2019).

3.4. Carbono azul en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla.

Los humedales se encuentran ubicados en el distrito de Ventanilla en la región Callao con una extensión de 275,45 ha. Cieza (2014) determinó que la flora del humedal posee una superficie de 100.63 ha donde la especie vegetal dominante es la salicornia, seguida del junco, la grama y el totoral, en las cuales los contenidos de carbono fueron

23.59 tC/ha, 23.18 tC/ha, 22.78 tC/ha y 31.53 tC/ha respectivamente, siendo la comunidad vegetal con mayor contenido de carbono el totoral y con menor contenido el gramal. Se estimó que la flora estudiada, la cual ocupa 95.20 hectáreas, captura un promedio de 8228.35 106.39 tCO₂/ha (Cieza, 2014).

3.5. *Carbono azul en los Humedales de Villa María.*

Los humedales de Villa María, con un área de 920 ha, se encuentran localizados en el valle de Lacramarca en el departamento de Ancash. Estos humedales están constituidos por comunidades vegetales, tales como: el gramal, juncal, carrizal y salicornial, donde se determinó que el contenido total de carbono en la especie totora (*Schoenoplectus californicus*) fue de 16.83 tC/ha en la biomasa aérea, 6.09 tC/ha en la biomasa de las raíces y el servicio ambiental de secuestro de carbono anual de los humedales de Villa María es de 61.70 tC/ha/año, considerando la parte aérea que anualmente se regenera. Además se comprobó que los humedales de Villa María contribuyen significativamente a la reducción de las emisiones de CO₂ al capturar una cantidad de 84.05 tCO₂/ha (Pérez et al., 2015).

Asimismo, Pérez et al. (2015) recalcó que algunos de los principales problemas que afectan de manera nociva la flora de los humedales de Villa María son el vertimiento de efluentes al río por parte de algunas industrias, la quema, la acumulación de residuos y la producción de basura; ya que, esto afecta el equilibrio natural del ecosistema.

3.6. *Stock de carbono en humedales costeros.*

La tabla 1 muestra los datos recopilados de carbono almacenado en cinco humedales costeros de Perú, donde se tomó en cuenta los reservorios de suelo, biomasa aérea,

biomasa de raíces y necromasa, en las diferentes especies vegetales del juncal, totoral, gramal y salicornial.

Tabla 1: Contenido de carbono en humedales costeros de la Costa Central del Perú

Reservorio de Carbono		Pantanos de Villa (1)	Puerto Viejo (2)	Medio mundo (3)	H. Ventanilla (4)	H. Villa María (5)	Fuente
<i>Junco (Schoenoplectus americanus)</i>	Biomasa aérea	13.2 tC/ha**	11.1 tC/ha**	4 tC/ha****	13.77 tC/ha**	ND	1: a, 2: b, 3: c, 4: d
	Necromasa	ND	ND	7.5 tC/ha****	ND	ND	3: c
	Raíz	1.0 tC/ha**	7.5 tC/ha**	3.4 tC/ha****	9.41 tC/ha**	ND	1: a, 2: b, 3: c, 4: d
	Suelo	17.7 tC/ha**	99 tC/ha**	46.23 tC/ha****	ND	ND	1: a, 2: b, 3: c
	Total C	31.9 tC/ha**	117.6 tC/ha**	61.13 tC/ha	23.18 tC/ha**	ND	1: a, 2: b, 3: c, 4: d
	Total CO ₂	116.96 tCO ₂ /ha	431.2 tCO ₂ /ha	224.14 tCO ₂ /ha	84.99 tCO ₂ /ha	ND	1: h, 2: h, 3: c, 4: d
<i>Totora enea (Scirpus californicus)</i>	Biomasa aérea	ND	ND	ND	18.53 tC/ha**	ND	4: d
	Raíz	ND	ND	ND	13 tC/ha**	ND	4: d
	Suelo	ND	ND	ND	ND	ND	
	Total C	ND	ND	ND	31.53 tC/ha**	ND	4: d
	Total CO ₂	ND	ND	ND	115.61 tCO ₂ /ha**	ND	4: d
<i>Totora balsa (Schoenoplectus californicus)</i>	Biomasa aérea	19.6 tC/ha**	20.11 tC/ha**	15.25 tC/ha**	ND	16.83 tC/ha**	1: a, 2: b, 3: g, 5: e
	Raíz	4.8 tC/ha**	14.16 tC/ha**	13.82 tC/ha**	ND	6.09 tC/ha**	1: a, 2: b, 3: g, 5: e
	Suelo	12 tC/ha**	9.57 tC/ha**	ND	ND	ND	1: a, 2: b, 5: e
	Total C	36.4 tC/ha**	38.47 tC/ha**	29.07 tC/ha**	ND	22.92 tC/ha**	1: a, 2: b, 3: g, 5: e
	Total CO ₂	133.46 tCO ₂ /ha	160.75 tCO ₂ /ha	106.39 tCO ₂ /ha**	ND	84.05 tCO ₂ /ha**	1: h, 2: h, 3: g, 5: e
Gramas	Biomasa aérea	16.35 ± 7.79 tC/ha	11 tC/ha**	ND	14.89 tC/ha**	ND	1: f, 2: b, 4: d
	Raíz	ND	6 tC/ha**	ND	7.89 tC/ha**	ND	2: b, 4: d
	Suelo	181.8 ± 18.20 tC/ha * 57.94 ± 7.92 tC/ha** 110.3 ± 7.25 tC/ha***	11.55 tC/ha**	ND	ND	ND	1: f, 2: b, 4: d
	Total C	198.16 ± 26 tC/ha * 74.29 ± 15.71 tC/ha**	28.55 tC/ha**	ND	22.78 tC/ha**	ND	1: f, 2: b, 4: d

Reservorio de Carbono	Pantanos de Villa (1)	Puerto Viejo (2)	Medio mundo (3)	H. Ventanilla (4)	H. Villa María (5)	Fuente	
Salicornia	Total CO ₂	126.65 ± 15.04 tC/ha *** 726.59 ± 95.33 tCO ₂ /ha * 272.4 ± 57.6 tCO ₂ /ha ** 464.38 ± 55.15 tCO ₂ /ha ***	104.68 tCO ₂ /ha	ND	83.53 tCO ₂ /ha**	ND	1: h, 2: h, 4: d
	Biomasa aérea	ND	3.3 tC/ha**	ND	13.49 tC/ha**	ND	2: b, 4: d
	Raíz	ND	2.8 tC/ha**	ND	10.10 tC/ha**	ND	2: b, 4: d
	Suelo	ND	5.61 tC/ha**	ND	ND	ND	2: b, 4: d
	Total C	ND	11.71 tC/ha**	ND	23.59 tC/ha**	ND	2: b, 4: d
	Total CO ₂	ND	42.93 tCO ₂ /ha	ND	86.5 tCO ₂ /ha**	ND	2: h, 4: d

ND: No hay datos, a: Cuellar & Salazar (2016), b: Palomino (2007), c: Gutierrez (2017), d: Cieza (2014), e: Pérez et al. (2015), f: Salazar (2019), g: Velasquez (2019), h: Estimación Propia

Método de análisis. - *: %LOI (Loos on Ignition), **: W&B (Walkley & Black), ***: AE (Análisis Elemental), ****: Inducción ELTRA.

Se observó que existen vacíos en la información sobre carbono azul en los humedales costeros analizados para especies como totora enea, salicornia y grama; ya que, las especies más estudiadas son el junco y la totora balsa. Asimismo, existe una gran falta de estudios que analicen el carbono azul almacenado en la necromasa; ya que, solo en una investigación se incluyó este reservorio. Del mismo modo se observó que la mayor cantidad de investigaciones fueron realizadas en la costa central del Perú, siendo el Refugio de Vida Silvestre de los Pantanos de Villa el lugar donde más investigaciones se han realizado, existiendo una gran cantidad de humedales costeros donde no se ha realizado la evaluación de carbono azul, entre los cuales se encuentran los manglares de Tumbes, los manglares San Pedro de Vice, las lagunas de Ramón y Ñapique, el Estuario de Virrila, entre otros.

4 Perspectivas para la conservación del carbono azul en los humedales

- Alrededor del mundo se pierden ecosistemas costeros a niveles críticos y es necesario actuar con urgencia y actuar para evitar una mayor degradación y pérdida (McLeod et al., 2011); sin embargo, los gobiernos no han logrado hacer cumplir las medidas que ayudarían a garantizar la sostenibilidad ecológica de estos ecosistemas y esto porque el costo de la protección incluye la gestión de áreas protegidas y no existen mecanismos de pago para la protección de estos ecosistemas y el carbono que almacenan (Pendleton et al., 2012).
- Estos ecosistemas no deberían ser vistos como un reemplazo para las estrategias de reducción de emisiones. El aumento de estudios sobre ecosistemas marino costeros, tiene una gran relevancia porque ayuda a la preservación y restablecimiento de estos ecosistemas, en relación a los servicios y bienes que nos proporcionan, entre los que se encuentra el secuestro de carbono (McLeod et al., 2011).
- Se deben definir las bases científicas del secuestro de carbono, para promover iniciativas para futuras investigaciones en estos ecosistemas de carbono azul con el fin de optimizar la educación ambiental y generar conciencia política que priorice la formulación de políticas (Pérez et al., 2015). Asimismo, que la definición de estas bases influya en las decisiones tomadas por las partes interesadas y administradores de tierras, pudiendo así describir directrices que incluyan la captación de carbono en las prácticas de manejo, preservación, restauración y protección de humedales (Villa & Bernal, 2018).

Conclusiones

Este estudio es un aporte al conocimiento científico sobre el carbono azul en humedales costeros y una recopilación de datos de estudios realizados hasta la fecha en los humedales de la costa central del Perú. Estos ecosistemas poseen un gran potencial de captación de carbono, lo que hace importante su conservación y revela la necesidad de una mayor realización de investigaciones relacionadas al secuestro de carbono en los humedales costeros del Perú por su relevancia en la atenuación del cambio climático. Asimismo, se notó que no existen muchos estudios sobre captación de carbono por parte de especies como grama y salicornia, siendo las más estudiadas el junco (*Schoenoplectus americanus*) y la totora (*Schoenoplectus californicus*), de las cuales la totora posee mayor capacidad de secuestro de carbono.

Referencias bibliográficas

- Adame, M. F., Kauffman, J. B., Medina, I., Gamboa, J. N., Torres, O., Caamal, J. P., Reza, M., & Herrera-Silveira, J. A. (2013). Carbon Stocks of Tropical Coastal Wetlands within the Karstic Landscape of the Mexican Caribbean. *PLoS ONE*, 8(2), e56569. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056569>
- Adams, E. C. (2015). *BLUE CARBON IN FRESHWATER / BRACKISH MARSHES ON THE BARRIER ISLANDS OF VIRGINIA: ABOVEGROUND NET PRIMARY PRODUCTIVITY AND CARBON POOLS*. <https://pdfs.semanticscholar.org/62fa/63ee37d9d6c588809c3f4b850e9e6239ff7e.pdf>
- Adhikari, S., Bajracharaya, R., & Sitaula, B. (2009). A Review of Carbon Dynamics and Sequestration in Wetlands. *Journal of Wetlands Ecology*, 2, 42–46. <https://doi.org/10.3126/jowe.v2i1.1855>
- Ampuero, W. (2018). *Estimación del carbono almacenado en la comunidad del Junco (Schoenoplectus americanus) bajo dos escenarios de crecimiento en el humedal costero Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa (Lima-Perú)* [Universidad Científica del Sur]. http://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/UCS/536/TL_Ampuero_Reyes.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aponte, H., & Cano, A. (2013). Estudio florístico comparativo de seis humedales de la costa de Lima (Perú): Actualización y nuevos retos para su conservación. *REVISTA LATINOAMERICANA DE CONSERVACIÓN*, 3(2), 15–27. http://aplicaciones.cientifica.edu.pe/repositorio/catalogo/_data/5.pdf
- Aponte, H., & Ramírez, D. (2011). Humedales de la costa central del Perú: Estructura y

- amenazas de sus comunidades vegetales. *Ecología Aplicada*, 10(1), 2011.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v10n1/a04v10n1>
- Bernal, B., & Mitsch, W. J. (2013). Carbon sequestration in freshwater wetlands in Costa Rica and Botswana. In *Biogeochemistry* (Vol. 115, pp. 77–93). Springer.
<https://doi.org/10.2307/24715187>
- Bianchi, T., Allison, M., Zhao, J., Li, X., Comeaux, R., Feagin, R., & Kulawardhana, W. (2013). Historical reconstruction of mangrove expansion in the Gulf of Mexico: Linking climate change with carbon sequestration in coastal wetlands. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 119, 7–16. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2012.12.007>
- Cieza, M. (2014). *Estimación de la captura de dióxido de carbono por la flora del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla*. Universidad Nacional Federico Villareal.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2017). *La importancia del carbono azul*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/249455/Carbono_azul.pdf
- CONABIO. (2009). *Manglares de México: Extensión y distribución* (2ª ed). www.conabio.gob.mx
- Cuellar, J., & Salazar, E. (2016). Dinámica del carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú. In *Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)*. Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA.
- Greiner, J., Mcglathery, K., Gunnell, J., & Mckee, B. (2013). Seagrass Restoration Enhances “Blue Carbon” Sequestration in Coastal Waters. *PLoS ONE*, 8(8), 72469. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072469>
- Gutierrez, C. L. (2017). *Estimación de la captura de CO2 en el juncal del Área de*

Conservación Regional la Albufera de Medio Mundo (ACRAMM) –Huaura, Lima-Perú [UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE].
http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/303/Gutierrez_Claudia_tesis_bachiller_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Herrera, J., & Teutli, C. (2017). Carbono azul, manglares y política pública. *Elementos Para Políticas Públicas*, 1(1), 43–52.
<http://www.elementospolib.org/ojs/index.php/epp/article/view/4/4>

Howard, J., Sutton-Grier, A., Herr, D., Kleypas, J., Landis, E., Mcleod, E., Pidgeon, E., & Simpson, S. (2017). Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation. *Front Ecol Environ*, 15(1), 42–50. <https://doi.org/10.1002/fee.1451>

IPCC. (2014). *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Methodological Guidance on Lands with Wet and Drained Soils, and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment Task Force on National Greenhouse Gas Inventories* (T. Hiraishi, T. Krug, K. Tanabe, N. Srivastava, B. Jamsranjav, M. Fukuda, & T. Troxler (eds.)). IPCC.
https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/pdf/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf

Lal, R. (2008). Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 363, 815–830.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2185>

Macreadie, P., Ollivier, Q., Kelleway, J., Serrano, O., Carnell, P. E., Ewers, C. J., Atwood, T. B., Sanderman, J., Baldock, J., Connolly, R. M., Duarte, C. M., Lavery, P. S., Steven, A., & Lovelock, C. E. (2017). Carbon sequestration by Australian tidal marshes. *Scientific Reports*, 7(44071), 12. <https://doi.org/10.1038/srep44071>

- McLeod, E., Chmura, G., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C., Lovelock, C., Schlesinger, W., & Silliman, B. (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(10), 552–560. <https://doi.org/10.1890/110004>
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands* (Fifth Edit). John Wiley & Sons, Inc.
- Murray, B. C., Pendleton, L., Jenkins, W. A., & Sifleet, S. (2011). *Green Payments for Blue Carbon Economic Incentives for Protecting Threatened Coastal Habitats*. <https://nicholasinstitute.duke.edu/sites/default/files/publications/blue-carbon-report-paper.pdf>
- Palomino, D. (2007). *Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de Los Humedales de Puerto Viejo* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/800/Palomino_cd.pdf;jsessionid=2963D7506CC90795B8A005F16C024CE8?sequence=1
- Pendleton, L., Donato, D., Murray, B., Crooks, S., Jenkins, A., Sifleet, S., Craft, C., Fourqurean, J., Kauffman, J. B., Marbà, N., Megonigal, P., Pidgeon, E., Herr, D., Gordon, D., & Baldera, A. (2012). Estimating Global “Blue Carbon” Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. *PLoS ONE*, 7(9), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043542>
- Pérez, H., Luccini, E., Herrera, L., Parodi, M., Matar, M., Barrea, L., Mechni, M., & Masramón, E. (2015). *Cuantificación de la captura de CO₂ por la flora nativa de totora en un humedal costero en Perú* (Vol. 13, Issue 13). http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf

- ProNaturaleza. (2010). *Humedales de la costa peruana*.
<http://191.98.188.189/Fulltext/13344.pdf>
- Ramirez, D., Aponte, H., Lertora, G., & Gil, F. (2018). Incendios en el humedal Ramsar Los Pantanos de Villa (Lima-Perú): Avances en su conocimiento y perspectivas futuras. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(3), 347–360.
<https://doi.org/10.18271/ria.2018.398>
- Sabine, C. L., Feely, R. A., Gruber, N., Key, R. M., Lee, K., Bullister, J. L., Wanninkhof, R., Wong, C. S., Wallace, D. W. R., Tilbrook, B., Millero, F. J., Peng, T., Kozyr, A., Ono, T., & Rios, A. (2004). The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂. *Science*, 305(August), 367–371. <https://doi.org/10.1126/science.1097403>
- Salazar, K. (2019). *Captura del carbono azul mediante la grama salada (Distichlis spicata (L.) Greene) en el Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa*. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.
- Short, F., Chmura, G., Torio, D., Arroyo, P., Fajardo, P., Hatvany, M., & Van Ardenne, L. (2016). *Carbono azul en América del Norte: evaluación de la distribución de los lechos de pasto marino, marismas y manglares, y su papel como sumideros de carbono*. www.cec.org
- Sifleet, S., Pendleton, L., & Murray, B. (2011). State of the Science on Coastal Blue Carbon A Summary for Policy Makers. In *NNicholas Institute for Environmental Policy Solutions* (Issue May 2011). <https://doi.org/10.1108/13665620210427294>
- Velasquez, J. (2019). *CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO RELACIONADO CON LA TOTORA “Schoenoplectus Californicus” DEL ÁREA DE CONSERVACIÓN REGIONAL ALBUFERA DE MEDIO MUNDO-VÉGUETA 2017* [Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión].

<http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/3622>

Villa, J., & Bernal, B. (2018). Carbon sequestration in wetlands, from science to practice: An overview of the biogeochemical process, measurement methods, and policy framework. *Ecological Engineering*, *114*, 115–128.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.037>