



ARTÍCULO ORIGINAL.

Valoración económica del CO₂ capturado por fitoplancton en los Pantanos de Villa, Lima, Perú.

Economic valuation of carbon sequestration by phytoplankton in the Pantanos de Villa wetlands, Peru.

Norma Mendoza Calderon¹, Franklin Dionisio Montalvo², Abelardo Calderon Rodríguez³, Barland Alfonso Huamán Bravo⁴

¹ Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.

Email: norma.mendoza@unas.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8014-589X>

² Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.

Email: franklin.dionisio@unas.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8549-3411>

³ Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.

Email: acalderon@lamolina.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1164-1762>

⁴ Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.

Email: barland.huaman@unas.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4841-9620>

Recibido el 12-01-2025; aceptado el 12-07-2025.

RESUMEN.

Objetivo: Calcular el valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa en época de verano. **Metodología:** El monitoreo hidrobiológico fue en siete estaciones de muestreo; se evaluó parámetros fisicoquímicos y biológicos a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad, se determinó la biomasa según el método gravimétrico y espectrofotométrico, la cantidad de carbono almacenado en biomasa, el CO₂ capturado por el fitoplancton y el valor económico según método basado en valores de mercado. **Resultados:** La zona de estudio fue afectada por contaminación alemana encontrando altos valores de nitratos y fosfatos que superaron los ECAS categoría 4, presentó una densidad celular promedio de $5,94 \times 10^5 \pm ,89$ cel/mL. En esta época de verano la biomasa promedio fue $,086 \pm ,014$ g/L ($,168$ t/ha/día), la clorofila "a" promedio fue $9,73 \pm 2,165$ mg/L ($0,019$ t/ha/día); la cantidad de carbono almacenado en ambos métodos fue $,043 \pm ,007$ g/L ($,084$ t/ha/día) y $,263 \pm ,059$ g/L ($,527$ t/ha/día). La cantidad del CO₂ capturado por el fitoplancton en ambos métodos fue $,158 \pm ,025$ g/L ($,308$ t/ha/día) y $,966 \pm ,215$ g/L ($1,931$ t/ha/día). El valor económico para ambos métodos fue de \$ 2,602/ha/día y

\$16,339/ha/día respectivamente. **Conclusión:** El valor económico del CO₂ capturado tuvo una relación directa con la biomasa de fitoplancton.

Palabras clave: Valor económico, fitoplancton, captura del CO₂, humedal Pantanos de Villa.

ABSTRACT.

Objective: To calculate the economic value of CO₂ captured by phytoplankton in the main lagoon of the Pantanos de Villa wetland during the summer season. **Methodology:** Hydrobiological monitoring was conducted at seven sampling stations. Physicochemical and biological parameters were evaluated at the surface water level and at a depth of 30 cm. Biomass was determined using gravimetric and spectrophotometric methods. The amount of carbon stored in biomass, the CO₂ captured by phytoplankton, and the economic value – based on the market value method – were also determined. **Results:** The study area was affected by surrounding pollution, with high nitrate and phosphate values exceeding Category 4 Environmental Quality Standards (EQS). An average cell density of $5.94 \times 10^5 \pm 0.89$ cells/mL was found. During this summer season, the average biomass was 0.086 ± 0.014 g/L (0.168 t/ha/day), and the average chlorophyll *a* was 9.73 ± 2.165 mg/L (0.019 t/ha/day). The amount of carbon stored for both methods was 0.043 ± 0.007 g/L (0.084 t/ha/day) and 0.263 ± 0.059 g/L (0.527 t/ha/day). The amount of CO₂ captured by phytoplankton for both methods was 0.158 ± 0.025 g/L (0.308 t/ha/day) and 0.966 ± 0.215 g/L (1.931 t/ha/day). The economic value for both methods was 2.602 t/ha/day and 16.339 t/ha/day, respectively. **Conclusion:** The economic value of captured CO₂ had a direct relationship with phytoplankton biomass.

Keywords: Economic value, phytoplankton, CO₂ capture, Pantanos de Villa wetland.

INTRODUCCIÓN.

El ser humano, al entrar en la revolución industrial incremento los gases efecto invernadero (GEI), siendo el dióxido de carbono (CO₂) el gas principal, cuya proyección para el año 2100 oscila entre 540 y 970 ppm, respecto a las concentraciones de 280 ppm en la época preindustrial (IPCC, 2002; Plass, 1959 como se citó en Odum, 1972). Lo cual contribuye al cambio climático que afecta a todos los ecosistemas y al mismo ser humano (IPCC, 2020).

Por este motivo, surgió el interés de reducir las emisiones del CO₂ de la atmósfera, mediante diferentes maneras física y química, sin embargo, la manera biológica siempre hizo esta labor (Álvarez-Borrego, como se citó en Hernández de la Torre y Gaxiola, 2007). Siendo una muestra de ello, en los humedales diversas plantas y microorganismos fotosintéticos capturan el CO₂ y lo convierten en carbono orgánico que queda almacenado en la biomasa de las plantas, algas macroscópicas y microscópicas (fitoplancton) e incluso, en la materia orgánica del suelo (Suarez et al., 2016; Hernández y Moreno-Casasola, 2018; Palomino, 2007; Pérez et al., 2015; Gutiérrez, 2017; Ampuero, 2018). Por lo tanto, Barbier et al., (1997) indica que los humedales presentan servicios ecosistémicos con un valor económico y la única manera de mantenerlos es a través de una disposición a pagar por dichos servicios.

El concepto de valor es el beneficio o utilidad que se obtiene de adquirir un producto o servicio, que proviene del nivel de satisfacción de un bien y servicio que lo genera a una persona (MINAM, 2015). Así, Costanza et al., (1997), estimó el valor económico por servicio de regulación de gases de USD \$133/ha/año. Este mismo autor para el 2011, calculó el valor global de servicios de los ecosistemas de 125 billones/año (Costanza et al., 2014). De Groot et al., (2012) encontró un valor de US\$ 65 por hectárea/año por servicios de regulación de clima. Hidalgo et al., (2012), reportan un valor de US\$ 41 189,02 por servicio de captura del CO₂ en vegetales. Alencastre y Zafra (2020), reportan un valor de \$ 4 425,45 por la captura del CO₂ en flora. Así, Aponte et al., (2021) proyecta un valor económico

de 220 mil y más de 4 millones de dólares por servicio de almacenamiento de carbono en vegetación. Mientras que, Glave y Pizarro (2001) encontraron un valor económico de \$ 181 124,00/año por la captura de carbono por fitoplancton.

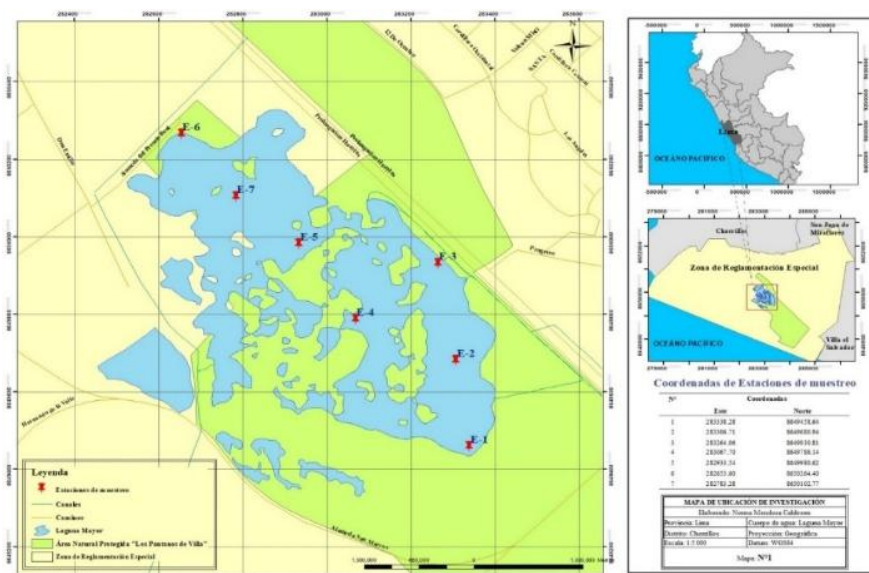
El fitoplancton son microorganismos fotosintéticos (Skjanes et al., 2007), fijan CO₂ entre 10-50 veces más que las plantas (3-6%) debido a las altas tasas de crecimiento, va de 0,2 a 0,8 del doble del carbono celular por día (d/d) (Alienes, 2014; Cuellar et al., 2015; García Cubero, 2014; Astocondor et. al., 2017), ello lleva a una continua producción de biomasa (Reynolds, 1984; Reynolds 2006; Skjanes et al., 2007). Sin embargo, es escasa la información de valorar el CO₂ capturado por fitoplancton en humedales. El humedal Pantanos de Villa es un sitio Ramsar de mucha importancia para la humanidad, que en su espejo de agua alberga gran diversidad de fitoplancton (Cepeda, 2016). En este sentido, se llevó a cabo la investigación de calcular el valor económico del CO₂ capturado en la zona de estudio. El objetivo principal fue calcular el valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa en época de verano y los objetivos específicos: i) Caracterizar la población del fitoplancton y parámetros ambientales de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa. ii) Estimar la biomasa del fitoplancton presente en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa durante la época de verano. iii). Estimar la cantidad de carbono almacenado, el CO₂ capturado por el fitoplancton durante la época de verano en la zona de estudio. iv). Estimar el valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton durante la época de verano en la zona de estudio.

METODOLOGÍA.

El presente estudio fue desarrollado en la laguna mayor (52 ha) del humedal Pantanos de Villa, ubicado al sur de la ciudad de Lima, en el distrito de Chorrillo, cuyas coordenadas 12°12'30" L.S. Latitud Sur y 76°59'20" L.W. Longitud Oeste. Donde se ubicó siete estaciones de muestreo (Figura 1).

Figura 1

Estaciones de muestreo en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa.



La obtención de la muestra de fitoplancton se realizó según las pautas metodológicas de MINAM (2014); López y Madroñero (2015); Confederación Hidrográfica del Ebro (2007) in situ, se midió los parámetros de pH, temperatura, conductividad eléctrica, se utilizó el multiparámetro Hanna HI 9813-

6, para el oxígeno se utilizó oxímetro Hach Pocket Pro, y para nitratos se empleó test kit de prueba de nitrato Hach NI-11 y fosfato Test Kit de prueba de ortofosfato PO-19.

La muestra de fitoplancton, se obtuvo a nivel superficial y a 30 cm de profundidad. La identificación taxonómica se realizó según Bicudo y Menezes, (2005); Huber-Pestalozzi et. al., (1983); Wehr et. al., (2003); Guiry y Guiry, (2021). La abundancia relativa según el índice de diversidad de Shannon y Wiener, modificada por Margalef (1956, como se citó en López y Vela, 2011) y la densidad del fitoplancton (células/ml) se realizó según Arredondo y Voltolina, (2007) y Aguilar et. al., (2011).

La muestra para la biomasa, se filtró 20 L de agua a través de la red de fitoplancton de 10 micras a nivel superficial y a 30 cm, con cinco repeticiones en cada estación. El volumen filtrado, se colocó en una botella oscurecida de 300 mL. La coleta se realizó 2 veces/mes. La determinación de la biomasa se realizó a través del método gravimétrico (Arredondo y Voltolina 2007) y el método espectrofotométrico (a través de la clorofila "a") (Arnón, 1949; Becker (1994, como se citó en Arredondo y Voltolina, 2007). La cantidad de carbono en biomasa, con el método gravimétrico se calculó según Odum, (1972); Reynolds, (1984); Buehner et al., (2009, como se citó en Boffil et al., 2012) y Martínez y Leyva, (2014), mediante la siguiente ecuación:

$$C_B = \text{Biomasa} \times 0.5$$

Y para el método espectrofotométrico se realizó según (Thompson, 2006; Rodríguez, 2013; Rodríguez y Ake, 2016), mediante la siguiente ecuación:

$$C: \text{Chl-a} = 43.4 - 1.14T + 1.85Ie^{(-0.126T)}$$

Donde: C es biomasa de carbono (peso), Chl-a es clorofila "a" (peso), T es temperatura en grados centígrados, I es la irradiancia $\mu\text{mol fotonos}/\text{m}^2/\text{s}$ y e es la base del logaritmo natural igual a 2.718. Se empleo el valor de irradiación promedio ($8.03083 \text{ MJ}/\text{m}^2/\text{s}$) (National Aeronautics and Space Administration [NASA]) en la temporada de verano que se convirtió a $187.692 \text{ umol fotonos}/\text{m}^2/\text{s}$ (Goncalves dos Reis y Ribeiro, 2020).

La estimación del CO_2 capturado por fitoplancton fue según García Cubero, (2014), mediante la siguiente ecuación:

$$\text{CO}_2 = C_B * Kr.$$

Dónde: el CO_2 es el dióxido de carbono capturado (g/L), C_B es el carbono en la biomasa (g/L) y Kr es el factor de conversión (44/12)

El CO_2 capturado por fitoplancton en toda el área de estudio se calculó según la siguiente ecuación:

$\text{CCO}_2 = \text{Área total} \times \text{CO}_2 \text{ capturado (t/ha)}$. (Chambi, como se citó en Glave y Pizarro, 2001; Palomino, 2007; López German, 2015).

La estimación del valor económico del CO_2 capturado por fitoplancton se empleó el método basado en valores de mercado, tipo precios de mercado (MINAM, 2015; MINAM, 2016), donde se multiplicó el total del CO_2 capturado por fitoplancton en toda el área de estudio por el precio de mercado como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{VE} = \text{CCO}_2 \times \text{PM}$$

Dónde:

VE: Valor económico(\$/ha), CCO_2 : Total del CO_2 capturado(tCO_2/ha), PM: Precio de mercado (\$ $8,461/\text{tCO}_2$) calculado del precio social (\$ $7,17/\text{tCO}_2$) dividido entre el factor de corrección de bienes nacionales (0,84746) (MEF, 2021).

En el análisis estadístico de los datos se aplicó la técnica del análisis de varianza (ANOVA) mediante la prueba F de Fisher, con un nivel de significancia $\alpha=,05$, que verifico si existe diferencia significativa del valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton tanto a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad, en las estaciones de muestreo en ambos métodos gravimétrico y espectrofotométrico. Además, se empleó la prueba de correlación de Pearson. Los datos fueron analizados con el software estadístico SPSS versión 24.

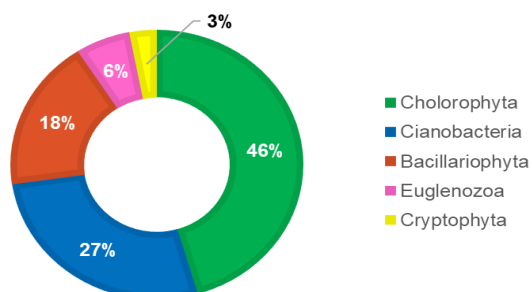
RESULTADOS.

Caracterización de la población del fitoplancton y parámetros ambientales de la zona de estudio

En la figura 2, se muestra la población de fitoplancton que tuvo mayor predominancia de Chlorophyta (45,45%), Cianobacteria (27,27%), y Bacillariophyta (18,18%). Presento una diversidad equilibrada con un índice de Shannon de 2,63, se encontró dentro de valor normal (2 y 3), con una densidad poblacional promedio general de $5,94 \times 10^5 \pm ,73$ células/mL.

Figura 2.

Abundancia relativa del fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa.



En la tabla 1, se muestra las características fisicoquímicas del agua, tuvieron un promedio de temperatura $26,41 \pm 1,43$ °C, oxígeno $9,36 \pm ,83$ mg/L, pH $7,70 \pm ,21$, conductividad eléctrica $7408,21 \pm 62,26$, nitratos $24,21 \pm ,04$ mg/L, fosfatos $,06 \pm ,01$ mg/L, transparencia 20 cm y profundidad fue $79,75 \pm 10,62$ cm.

Tabla 1.

Parámetros fisicoquímicos del agua en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa.

Parámetros	I	II	III	IV	Prom. y DE
Temperatura (°C)	25,94±1,99	24,80±1,04	26,71±1,24	28,20±1,06	26,41±1,43
Oxígeno (mg/L)	9,34±1,17	9,47±1,71	8,31±1,11	10,33±1,68	9,36±0,83
pH	7,47±0,57	7,59±0,29	7,83±0,28	7,93±0,24	7,70±0,21
Nitratos (mg/L)	2,52±2,04	2,58±2,08	24,68±11,89	23,73±13,58	24,21±0,67
Fosfato (mg/L)	0,88±0,14	0,85±0,14	0,07±0,04	0,05±0,03	0,06±0,01
Conductividad eléctrica (uS/cm)	7 315,71±168,01	7 427,14±61,02	7 447,14±64,22	7 442,86±89,58	7 408,21±62,26
Transparencia (cm)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Profundidad (cm)	92,86±40,19	77,57±38,52	81,43±40,49	67,14±46,51	79,75±10,62

Nota: Elaboración propia, números de muestreos (I, II, III, IV), en base a datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021.

Biomasa del fitoplancton.

En la tabla 2, se muestra el valor promedio de la biomasa seca del fitoplancton según el método gravimétrico fue ,086±,014 g/L y según el método espectrofotométrico tuvo un valor promedio de 9,73±2,165 mg/L. Así, mismo en la tabla 3, se muestra la biomasa seca en toda el área de la laguna mayor para ambos métodos fue de 8,722t/día (.168t/ha/día) y 1,011t/día(.019t/ha/día) respectivamente.

Cantidad de carbono en biomasa del fitoplancton.

En la tabla 2, se muestra el valor promedio del carbono en biomasa del fitoplancton según el método gravimétrico fue de ,043±0.007g/L, y según el método espectrofotométrico, tuvo un valor promedio general de ,263±,059g/L. En la tabla 3, se muestra la cantidad de carbono en biomasa en toda el área de estudio fue 8,387g/m² (.084t/ha/día) y 394,470t en época de verano según el método gravimétrico y 52,670 g/m² (.527t/ha/día) y 2477,287 toneladas en época de verano según el método espectrofotométrico.

Cantidad del CO₂ capturado por fitoplancton.

También, en la tabla 2, se muestra la cantidad del CO₂ capturado por fitoplancton, el valor promedio general según el método gravimétrico fue de ,158±,025 g/L y, según el método espectrofotométrico tuvo un promedio general de ,966±,215 g/L. En la tabla 3, se muestra este valor en toda el área de estudio para ambos métodos fue de 30,752gCO₂/m², 15,991tCO₂/día, y 1 439,193 toneladas en época de verano y 193,124 gCO₂/m², 100,424tCO₂/día, y 9 038,195tCO₂ en época de verano correspondientemente.

Tabla 2.

Medidas estadísticas de los parámetros evaluados en la zona de estudio

Parámetros	Método gravimétrico				Método espectrofotométrico			
	Media	DE	Mín.	Máx.	Media	DE	Mín.	Máx.
Biomasa seca/Clorofila "a"								
Agua superficial	0,088	0,012	0,075	0,109	10,660	1,929	8,007	13,941
30 cm de profundidad	0,085	0,016	0,061	0,1040	8,790	2,096	6,793	11,835
Concentración general	0,086	0,014	0,061	0,109	9,725	2,165	6,793	13,941
Cantidad de carbono								
Agua superficial	0,044	0,006	0,038	0,055	0,289	0,052	0,217	0,377
30 cm de profundidad	0,042	0,008	0,030	0,052	0,238	0,057	0,184	0,320
Concentración general	0,043	0,007	0,030	0,055	0,263	0,059	0,184	0,377
Cantidad de CO₂								
Agua superficial	0,162	0,022	0,138	0,200	1,059	0,192	0,795	1,384
30 cm de profundidad	0,155	0,029	0,112	0,191	0,873	0,208	0,674	1,175
Concentración general	0,158	0,025	0,112	0,200	0,966	0,215	0,674	1,384
Valor económico								
Agua superficial	13,683	1,862	11,633	16,93	89,563	16,207	67,260	117,107
30 cm de profundidad	13,111	2,451	9,436	16,16	73,832	17,603	57,064	99,416
Valor general	13,397	2,112	9,436	16,93	81,697	18,190	57,064	117,107

Nota: Elaboración propia, en base a registros de biomasa (g/L), clorofila "a" (mg/L), cantidad de carbono (g/L), cantidad de CO₂ (g/L), valor económico (\$X10⁻⁷).

Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton.

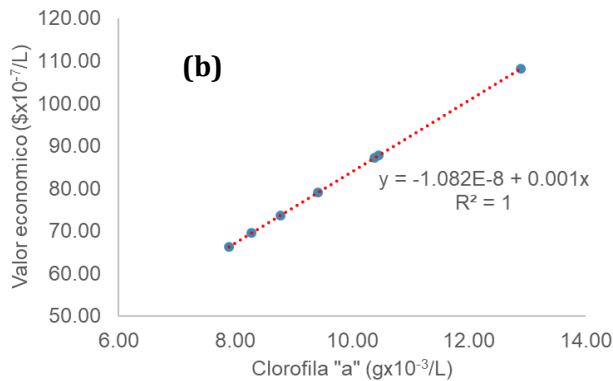
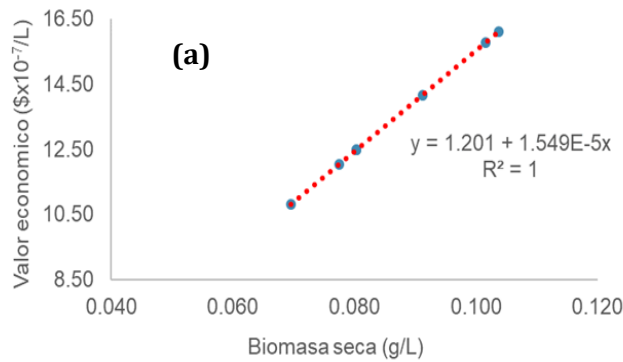
En la tabla 2, se muestra el valor económico promedio del CO₂ capturado por fitoplancton según el método gravimétrico fue de \$13,97 x10⁻⁷/L±2,112 y según el método espectrofotométrico tuvo un valor promedio general de \$ 81,697X10⁻⁷/L ±18,190. En la tabla 3, se muestra el valor económico del

CO₂ capturado por fitoplancton en la laguna mayor, en ambos métodos, fue de \$2,602/ha y \$16,339/ha respectivamente en época de verano.

En la figura 3, se muestra la correlación y el modelo de regresión de la biomasa y el valor económico del CO₂ capturado de fitoplancton, encontrando una correlación lineal positiva y su correspondiente modelo de regresión para ambos métodos.

Figura 3.

Relación entre la biomasa seca y el valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según método gravimétrico (a) y espectrofotométrico (b).



Nota: Elaboración propia, en base a datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021.

Tabla 3.

Resultados de los parámetros evaluados en la zona de estudio

Parámetros	Método	
	Gravimétrico	Espectrofotométrico
Biomasa seca/Clorofila "a"		
g/m ²	16,774	1,950
t/día	8,722	1,011
t/ha	0,168	0,19
t/verano	824,270	91,030
Contenido de carbono		
g/m ²	8,387	52,670*
t/día	4,361	27,388
t/ha	0,084	0,527
t/verano	394,470	2 477,287
CO₂ capturado por fitoplancton		
g/m ²	30,752	193,124
t/día	15,991	100,424
t/ha	0,308	1,931
t/verano	1 439,193	9 038,195
Valor económico del CO₂ capturado		
\$/día	135,294	849,651
\$/ha	2,602	16,339
\$/verano	12 176,435	76 468,555

Nota: Elaboración propia, en base a datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021. La cantidad de carbono según el método espectrofotométrico (*) fue por relación C:Chl =27,079

DISCUSIÓN.

La importancia del valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en el área de estudio cobra interés, por el rol que estas algas microscópicas hacen cada instante en el medio acuático de limpiar la atmósfera del CO₂.

La población de fitoplancton esta influenciado por factores físicos limitativos (Luz, nitrógeno, fosforo, temperatura, etc) y las relaciones biológicas reciprocas (Odum, 1972), que en la zona de estudio se pudo corroborar las variables fisicoquímicas y biológicas se interrelacionan entre sí, manteniendo la capacidad de amortiguación del agua, los valores de pH estuvieron dentro del rango establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) categoría 4, E1 lago y lagunas (valores de 6,5 a 9,0) y oxígeno (> 5mg/L). El valor de pH fue similar a lo obtenido por Álvarez Gutiérrez, (2016) y PROHVILLA, (2019) quienes registraron un valor de 7,72 y 8,07 respectivamente. Los valores de conductividad eléctrica supero lo reglamentado por ECA (1000 (µS/cm), fue semejante a lo encontrado por Cepeda, (2016); Álvarez Gutiérrez, (2016); INGEMMET, (2019), esto es porque la laguna es colindante al mar. Así, mismo los resultados de temperatura del agua fue similar al resultado por Cepeda, (2016). Sin embargo, hubo alta concentración de nitratos (23,52 mg/L) supero el valor establecido de 13,00 mg/L por el ECA en la categoría 4 subcategoría E1 para lagos y lagunas. Ello fue, debido a los canales que llevan agua superficial hacia la laguna mayor del humedal son accesibles a la población y por

ende son contaminados con residuos orgánicos, residuos sólidos, entre otros. Similar resultado encontró Álvarez Gutiérrez, (2016); INGEMMET, (2019). Así mismo, los valores de fosfatos fueron similar con el resultado de Ita Vejarano (2017). A pesar de ello, la población de fitoplancton en la zona de estudio en esta época de verano fue abundante ($5,94 \text{ celx}10^5/\text{ml} \pm 0,89$). Esto es, porque el fitoplancton se reproduce por división binaria (Arredondo y Voltolina, 2007), y su tiempo de renovación en la columna de agua es cada día e incluso horas (Odum, 1972; Alienes, 2014; Zubkov, 2014). En esta época, la división Chlorophyta fue la más abundante (45,45%), similar a lo encontrado por Cepeda, (2016) (51%) y Bopp, (2019) (34.9%) en humedal Cañoncillo.

Respecto a la biomasa Odum, (1972), indica que mientras más pequeños son los organismos, mayor es el metabolismo por gramo de biomasa. Por ello, el fitoplancton tuvo una mayor producción de biomasa en cantidades pequeñas de manera permanente. La biomasa de fitoplancton en peso seco calculado a través del método gravimétrico de $0,086\text{g/L}$ equivalente a $16,77\text{g/m}^2$, fue menor a lo encontrado por Odum, (1972) quien encontró un valor de 96 g/m^2 . Sin embargo, proyectado en toda el área de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa se registró $8,72\text{t/día}$, difieren de lo reportado por Glave y Pizarro (2001) quien encontró una biomasa de $78,96 \text{ t/día}$. También en clorofila "a" (indicador de biomasa), el valor promedio de $9,73 \text{ mg/L}$ fue inferior a lo reportado por Bonansea et. al., (2012), tuvo un valor de 24 mg/L a 20 cm de profundidad. Mientras que, fue superior a lo reportado por Quiroz Santos, (2019) encontró un valor máximo de $2,42 \text{ mg/L}$.

La cantidad de carbono en la biomasa, el valor de $8,39\text{gC/m}^2/\text{día}$ (según el método gravimétrico) estuvo dentro del rango 5 y $10 \text{ gC/m}^2/\text{día}$ (Margalef, 2002); mientras que, según el método espectrofotométrico, fue $52,67\text{gC/m}^2/\text{día}$, fue superior a lo obtenido por Alienes, (2014) quien registró valores mayores a $12\text{gC/m}^2/\text{día}$ en zona de afloramiento de la franja costera. Demostrando que el fitoplancton presente en la zona de estudio realizó una significativa conversión del CO_2 a carbono orgánico. Siendo el segundo método más específico ya que mide exclusivamente la cantidad de clorofila "a" que es un pigmento común de todos los organismos fotosintéticos (Odum, 1972). Así, los resultados en toda el área de estudio, para ambos métodos, fueron $0,084 \text{ tC/ha/día}$ y $0,527\text{tC/ha/día}$ respectivamente. Dichos valores fueron superiores a lo reportado por Hernández y Gocke (1990) ($0,059\text{tC/ha/día}$) y Granados et al., (2011) ($0,015\text{tC/ha/día}$).

El rol del fitoplancton en la captura del CO_2 de la atmósfera, lo hace desde inicio de la vida (Álvarez-Borrego, como se citó en Hernández de la Torre y Gaxiola, (2007). Su papel es muy importante, captura el CO_2 a través del proceso de la fotosíntesis. Esto sucede, porque en la columna de agua existe la zona eufótica, donde ocurre un flujo aire-agua que aporta CO_2 a una manera inagotable, permitiendo que la actividad fotosintética se produzca cada instante (Hernández de la Torre y Gaxiola, 2007). Por lo tanto, por cada gramo de carbono fijado se retira $3,667$ gramos de CO_2 de la atmósfera (García Cubero, 2014). Así, los resultados de $0,308\text{tCO}_2/\text{ha/día}$ y $1,93\text{tCO}_2/\text{ha/día}$ en ambos métodos, dicha cantidad de CO_2 fue retirado de la atmósfera de la zona de estudio. Estos valores fueron superiores a lo reportado por Glave y Pizarro (2001) y Hernández y Gocke, (1990) que registraron $0,030\text{tCO}_2/\text{ha/día}$ y $0,218\text{tCO}_2/\text{ha/día}$ respectivamente.

El humedal es un activo natural con un gran valor en su estado natural que aportan productos y servicios ambientales (Maltby y Acreman, 2011; Barbier et. al., 1997). Por lo tanto, la investigación, tomó solo uno de estos servicios, el servicio de regulación, la captura del CO_2 por fitoplancton, encontrando un valor económico de $\$ 2,602/\text{ha/día}$ según el método gravimétrico y según el método espectrofotométrico fue $\$16,339/\text{ha/día}$, mostrando que el CO_2 presente en la zona de estudio tiene un valor, el fitoplancton al capturarlo a través de la fotosíntesis le da ese valor económico.

Debido a la escasa información de valor económico del CO_2 capturado por fitoplancton se calculó a partir de los registros de carbono por día y se multiplicó por el precio de mercado $\$8.461/\text{tCO}_2$. Así, Glave y Pizarro (2001) con $\$0,301/\text{ha/día}$ similar en Granados et. al., (2011) ($\$0,465/\text{ha/día}$),

Hernández y Gocke (1990) (\$1,843/ha/día), Gutiérrez et al., (2006) (\$4,175/ha/día), Alienes (2014) (\$3,723/ha/día), estos últimos valores se aproximan al valor obtenido en ambos métodos.

Por lo tanto, el interés del valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton, es despertar la atención en valorar el CO₂ capturado por fitoplancton y en vegetación en los humedales. Además, existe mercado de carbono. En nuestro país, ha iniciado en los últimos años, la venta de créditos de carbono a través de proyectos REDD+ en Áreas Protegidas, en el mercado voluntario (Dilas et al., 2020). Ello, abre una oportunidad de créditos de carbono que brinda el área de estudio. Lo cual, contribuye a conservar este humedal como ecosistema vital (Maltby y Acreman, 2011; Balmford et al., 2002), que ayuda en la mitigación del cambio climático.

CONCLUSIONES.

Cuantificar el valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton, permitió confirmar el gran valor que cumple estos organismos fotosintéticos en la mitigación del cambio climático; donde conservar los humedales es clave.

En la zona de estudio en esta época de verano la cantidad de biomasa seca del fitoplancton fue 0,168 t/ha/día, clorofila "a" fue 0,019t/ha/día. Mientras que, la cantidad de carbono almacenado en biomasa fue 0,084t/ha/día y 0,527t/ha/día en ambos métodos. La cantidad del CO₂ retirado de la atmosfera fue 0,308t/ha/día, y 1,931t/ha/día. El valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en ambos métodos fue de \$2,602/ha/día y \$16,339/ha/día.

La pandemia impidió tener acceso al laboratorio y equipos en momento oportuno. Se sugiere realizar investigación en esta línea sobre valor económico del CO₂ capturado por vegetación terrestre y algas acuáticas, con mayor número de evaluaciones durante el año. Para lo cual se tome registros mensuales de parámetros (clorofila, radiación solar, transparencia, espesor de la capa fótica, fosfatos, nitratos, temperatura, profundidad, etc), utilizar el método espectrofotométrico.

Se propone realizar las coordinaciones con instituciones nacionales e internacionales públicas y/o privadas en la gestión de bonos de carbono potenciales que brinda el humedal Pantanos de Villa.

REFERENCIAS.

- Aguilar, C., Chang, L., Ynga, G., Oscanoa, A., y Flores, L. (2011). Compendio Metodológico para la extracción de lípidos totales a partir de biomasa microalgal. *Instituto del Mar del Perú*. Lima-Perú. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/items/fb2fcebfb6b03477098ad776c81ef7ac7>
- Alienes, R. (2014). Producción Primaria en el Ambiente Marino del Pacífico. Sudeste, Perú, 1960-2000. *Boletín Instituto Mar del Perú*. 29(1-2), 8-306. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/items/cd696997-1b9a-4d7f-b0dc-4a0d8b683726>
- Alencastre, L.E., y Zafra, J. E. (2020). Evaluación económica del servicio ambiental de captura de carbono de tres especies de flora del Humedal de la Laguna de Mejía, Distrito de Mejía-Islay, 2019. [Tesis de Grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/58201>
- Álvarez, C. (2016). Determinación analítica de detergentes en las aguas de los Pantanos de Villa. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7570>
- 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. [Tesis Grado, Universidad Científica del Sur]. Repositorio institucional UCS. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/536>
- Aponte, H., Corvacho, M.F., Lertora, G., y Ramírez D. W. (2021). Reserva de carbono en un humedal del desierto costero de Sudamérica. *Gayana Botanica*. 78(2), 184-190. <https://gayanabotanica.cl/index.php/gb/article/view/221/164>
- Arredondo, B. O., y Voltolina, D. (Eds.) (2007). Métodos y herramientas analíticas en la evaluación de biomasa microalgal. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S., México. <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/1403>
- Astocondor, M., Mayta, E., Montoya, H., y Tarazona, R. (2017). Crecimiento Poblacional y Productividad de la Microalga Nativa *Chlorella* peruviiana bajo Diferentes Salinidades. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 28(4), 976-986. <https://doi.org/10.15381/rivep.v28i4.13004>
- Autoridad Municipal de los Pantanos de Villa (PROHVILLA) (2019). Memoria Institucional 2019. <http://prohvilla.munlima.gob.pe/memorias.html>
- Balmford, A., Bruner, A., Cooper, P., Costanza, R., Farber, S., Green, R. E., Jenkins, M., Jefferiss, P., Jessamy, V., Madden, J., Munro, K., Myers, N., Naeem, S., Paavola, J., Rayment, M., Rosendo, S., Roughgarden, J., Trumper, K., y Turner, R. K. (2002). Economic reasons for conserving wild nature. *Science (New York, N.Y.)*, 297(5583), 950–953. <https://doi.org/10.1126/science.1073947>
- Barbier, E., Acreman M., y Knowler D., (1997). Valoración económica de los Humedales. Guía para decisores y planificadores. *Oficina de la Convención de Ramsar*. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_valuation_s.pdf
- Bicudo, C. E., y Menezes, M. (2005). Géneros de algas de aguas continentais do Brasil. Clave para identificacao e descricoes. *RiMa Editora*. Brasil. https://www.researchgate.net/publication/272563598_Generos_de_Algas_de_Aguas_Continentais_do_Brasil_chave_para_identificacao_e_descricoes
- Bonanse, M., Ledesma C., Rodríguez, C., y Sánchez, A.R. (2012). Concentración de clorofila-a y límite de zona fótica en el embalse Río Tercero (Argentina) utilizando imágenes del satélite CBERS-2B. *Revista Ambiente y Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. 7(3), 61-71. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.847>
- Bopp, G. M. (2019). Calidad Ambiental de los Humedales Costeros del departamento de la Libertad, mediante parámetros físicos, químicos y biológicos, 2016. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio institucional UNT. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15276>
- Cepeda, C. J. (2016). *Conexión Trófica entre las Comunidades Planctónicas y la Avifauna Silvestre en Pantanos de Villa, Lima, Perú*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio institucional UNFV. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/1466>
- Confederación Hidrográfica del Ebro. (2007). Metodología para el Establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva Marco del Agua. Protocolos de Muestreo y Análisis. 35-47.

https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/Protocolos_muestreo_biologico_con_portada_tcm30-214764.pdf

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R. *et al.* (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387, 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S.J., et al. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change. ScienceDirect*, 26, 152-158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>

Cuellar, S.P., García, J.S., y Rittmann, E. (2015). Photosynthetic bioenergy utilizing CO₂: an approach on flue gases utilization for third generation biofuels. *Journal of Cleaner Production*, 98:53-65. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.034>

De Groot, R., Brander L., Van der Ploeg, S., Costanza R. C., Bernard F., Braat L., Christie M., Crossman N., Ghermandi A., Hein L., Hussain S., Kumar P., McVittie A., Portela, R., Rodriguez L.C., Brink P. T. y Beukering P.V. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1:50-61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>

Dilas, J. O., Ortecho, J. y Alvarez, A., (2020). Captura de Carbono: Un enfoque sobre el cambio climático y los servicios ecosistémicos en el Perú. *Revista de Investigación Científica y Tecnológica Alpha Centauri*,1(2). <https://doi.org/10.47422/ac.v1i2.8>

García, R. (2014). Producción de Biomasa de Microalgas rica en carbohidratos acoplada a la eliminación fotosintética de CO₂ [Tesis de doctorado, Universidad de Sevilla, España]. Repositorio institucional. <https://digital.csic.es/handle/10261/101928>

Glave, T., y Pizarro, R. (Eds.) (2001). Valoración Económica de la Diversidad Biológica y Servicios Ambientales en el Perú. *IRG/BIOFOR* (44-70). <https://www.academia.edu>

Granados, C., Rodríguez, J., López, H., (2011). Producción Primaria Fitoplanctónica y Metabolismo durante una época lluviosa en una Laguna Costera Estuarina Tropical. Ciénaga Grande de Santa Marta. *Revista Intropica*, 6, 9-16.

Gutiérrez-Mendieta, F. J., Varona-Cordero F., y Contreras-Espinosa, F. (2006). Caracterización estacional de las condiciones físico-químicas y de productividad primaria fitoplanctónica de dos lagunas costeras tropicales del estado de Chiapas, México. *Hidrobiológica*, 16(2). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972006000200004

Gutiérrez, C.L. (2017). Estimación de la Captura de CO₂ en el juncal del área de Conservación Regional La Albufera de Medio Mundo (ACRAMM)-Huaaura, Lima-Perú. [Tesis de Grado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio institucional. <http://repositorio.ucss.edu.pe/handle/UCSS/303>

Guiry y Guiry (2021). Algaebase. <https://www.algaebase.org/team/>

Hernández de la Torre, B., y Gaxiola, G. (Eds.). (2007). Carbono en ecosistemas acuáticos de México. Ensenada. México. <https://www.academia.edu/>

- Hernández y Gocke (1990). Productividad Primaria en la Ciénaga Santa Marta, Colombia. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín*, 19(20),101-119. <http://hdl.handle.net/1834/3886>
- Hernández y Moreno-Casasola. (2018). Almacenes y flujos de carbono en humedales de agua dulce en México. Revisión Bibliográfica. *Madera bosques*, 24. <http://doi.org/10.21829/myb.2018.2401881>
- Hidalgo, P. C.; Espinoza P. T., y Tuya, E.C. (2012). Cuantificación de las reservas de carbono del humedal de Yanayacu-Cátac, Ancash-Perú, 2011. *Revista Aporte Santiaguino*. 5(2), 5-6. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3990>
- Huber-Pestalozzi, G. (1955). Das Phytoplankton des Süs-swassers. Systematik und biologie. 4. Teil. Eugleno-phyceen. In: Die Binnengewässer. Band 16, 4. Teil.(Thienemann, A. Eds). pp. [i]-ix, 1-606. Stuttgart: E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägeleu. Obermiller).
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) (2019). Estudio Hidrogeológico del Refugio de vida Silvestre de los Pantanos de Villa (RVSPV). *Chorrillos, Lima. Informe técnico A6873*. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2241>
- López-German, C.A. (2015). Valoración Económica del Servicio Ambiental de Captura de Carbono en el fundo violeta (Distrito de Tahuamanu-Madre de Dios). [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5926>
- López, M., y Madroñero, S. (2015). Estado Trófico de un Lago Tropical de alta montaña: caso Laguna de la Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 25(2), 21-42. <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1430>
- López y Vela (2011). Densidad y diversidad del fitoplancton de la cocha Llanchama, en los periodos hidrológicos de creciente y media vaciante, Loreto, Perú. *Conocimiento Amazónico*, 2(2), 157-166. <https://revistas.unapiquitos.edu.pe>
- Maltby, E., y Acreman, M.C. (2011). Ecosystem services of wetlands: pathfinder for a new paradigm, *Hydrological Sciences Journal*, 56(8):1341-1359. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.631014>
- Margalef, R. (2002). Teoría de los sistemas ecológicos. *Alfa Omega Grupo Editor*. Universitat-Barcelona. México.
- Martínez-Romero, A., y Leyva, A. (2014). La Biomasa de los Cultivos en el Agroecosistema. Sus Beneficios Agroecológicos. *Revista Cultivos Tropicales*, 35(1),11-20. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193230069002.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. <https://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/M%C3%A9todos-de-Colecta-identificaci%C3%B3n-y-an%C3%A1lisis-de-comunidades-biol%C3%B3gicas.compressed.pdf>

- Ministerio de Economía y Finanzas (2021). Nota Técnica para el uso del Precio Social del Carbono en la Evaluación Social de Proyectos de Inversión. Resolución Directoral N°006-2021-EF/63.01. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo3_RD006_2021EF6301.pdf
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) The POWER Project. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Odum, E.P. (1972). Ecología. Nueva Editorial Interamericana, S. A. de C.V., México D. F. Tercera Edición.
- Palomino-Contreras, D. (2007). Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de Los Humedales de Puerto Viejo. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio institucional. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/800?show=full>
- Pérez-Pinedo, H., Luccini, E., Herrera, L., Parodi, M., Matar, M., Barrea, L., Mechni, M., y Masramón, E. (2015). Cuantificación de la captura de CO₂ por la flora nativa de totora en un humedal costero en Perú. *Energeia*, 13(13). <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/5761>
- Quiroz-Santos, R.L. (2019). *Evaluación de los estados tróficos de la laguna principal del Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo, Huaura-Lima*. [Tesis de Grado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio institucional. <http://repositorio.ucss.edu.pe/discover>
- Reynolds, C. S. (1984). The ecology of phytoplankton. *Cambridge Univ. Press*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542145>
- Reynolds, C.S. (2006). The Ecology of Phytoplankton. *Cambridge University Press*, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542145>
- Rodríguez-Gómez, C. F. (2013). Contribución de especies planctónicas formadoras de florecimientos algales nocivos a la biomasa del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. [Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana]. Repositorio institucional. <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/41428>
- Rodríguez-Gómez, C. F., y Aké, J. A. (2016). Cálculo del contenido celular de carbono de cuatro taxones de diatomeas: Biovolumen y espectrofotometría. *Hidrobiológica*, 26(2), 251-257. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbshidro/2016v26n2/Ake>
- Skjanes, K., Lindblad, P., y Muller, J. (2007). BioCO₂-A multidisciplinary, biological approach using solar energy to capture CO₂ while producing H₂ and high value products. *Biomolecular Engineering*, 24, 405–413. <https://doi.org/10.1016/j.bioeng.2007.06.002>
- Suárez, D. D., Acurio, C., Chimbolema, S., y Aguirre, X. (2016). Análisis del Carbono Secuestrado en humedales Altoandinos de dos Áreas Protegidas del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 15(2). <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.756>
- Thompson, P. (2006). Effects of temperature and irradiance on marine microalgal growth and physiology. In: Subba-Rao, D.V. (Ed.). *Algal cultures analogues of blooms and applications*. Science Publishers, Enfield, USA.

Wehr, D., Sheath, G., y Kociolek, J. (Edit). (2003) Freshwater Algae of North America Ecology and Classification. *Revista Elsevier. Editorial Book Aid International*.

<https://www.sciencedirect.com/book/edited-volume/9780123858764/freshwater-algae-of-north-america>

Zubkov, M. V. (2014). Faster growth of the major prokaryotic versus eukaryotic CO₂ fixers in the oligotrophic ocean. *Article Nature Communications*.

<https://www.nature.com/articles/ncomms4776>