

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS ECONÓMICAS
MENCIÓN: PROYECTOS DE INVERSIÓN**



**VALOR ECONÓMICO DEL CO₂ CAPTURADO POR
FITOPLANCTON EN LA LAGUNA MAYOR DEL HUMEDAL
PANTANOS DE VILLA EN ÉPOCA DE VERANO, PERÚ 2021**

Tesis

Para optar el grado académico de

**MAESTRO EN CIENCIAS ECONÓMICAS,
MENCIÓN: PROYECTO DE INVERSIÓN**

Presentado por:

MENDOZA CALDERON, Norma

Tingo María – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE POSGRADO FCEA
DIRECCIÓN



“Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo”

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Nro. 002-2023-UPG-FCEA-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las **06:00 p.m.**, del jueves 2 de febrero de 2022, reunidos virtualmente vía Microsoft Teams, se instaló el jurado calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada: **VALOR ECONÓMICO DEL CO₂ CAPTURADO POR FITOPLANCTON EN LA LAGUNA MAYOR DEL HUMEDAL PANTANOS DE VILLA EN ÉPOCA DE VERANO, PERÚ 2021**. A cargo de la candidata al grado de maestro en Ciencias Económicas, mención: Proyectos de Inversión; **Norma MENDOZA CALDERON**. Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el jurado calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **BUENO**.

Acto seguido, a horas **7:55 p.m.** el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

Tingo María, 2 de febrero de 2023

DR. FRANCO VALENCIA CHAMBA
PRESIDENTE DEL JURADO

DR. VARELY ESTEBAN BARZOLA
MIEMBRO DEL JURADO



M.SC. KENET AGUILAR GUIZADO
MIEMBRO DEL JURADO

M.SC. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
ASESOR



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 133 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Maestría en Proyectos de Inversión

Tipo de documento:

Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
VALOR ECONÓMICO DEL CO2 CAPTURADO POR FITOPLANCTON EN LA LAGUNA MAYOR DEL HUMEDAL PANTANOS DE VILLA EN ÉPOCA DE VERANO, PERÚ 2021	MENDOZA CALDERON, Norma	24 % Veinticuatro

Tingo María, 10 de abril de 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomás Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO
ACADEMICO DE MAESTRO, INVESTIGACION, DOCENTE Y
TESISTA

I. DATOS GENERALES DE POSGRADO

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Escuela de posgrado	: EPG – UNAS
Posgrado	: Maestría en Ciencias Económicas
Mención	: Proyectos de inversión
Título de tesis	: Valor económico del CO ₂ capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa en época de verano, Perú 2021.
Autor	: Norma Mendoza Calderon
Asesor de tesis	: M. Sc. Franklin Dionisio Montalvo
Programa de investigación	: Economía de los recursos naturales y desarrollo sostenible
Línea (s) de investigación	: Análisis de rentabilidad económica y social de proyectos de inversión
Eje temático de investigación	: Valoración económica
Lugar de ejecución	: Humedal Pantanos de Villa - Lima
Duración	: Inicio : mayo 2020 Término : marzo 2021
Financiamiento	: FEDU : S/0.00 Propio : 10000.00 Otro : S/0.00

Norma Mendoza Calderón
Tesista


M. Sc. Franklin Dionisio Montalvo
Asesor

DEDICATORIA

Esta tesis es dedicada a “Papito Dios” Él es la sabiduría, a mis padres físicos Asirio Pacifico Mendoza Núñez y Cila Calderon Reaño y espirituales Apóstol Benito Risco Caccha, Pastora Rosita Reyna Santillan por sus oraciones y su ayuda incondicional en la culminación del presente trabajo.

Bienaventurado el hombre que halla la sabiduría,
Y que obtiene la inteligencia;
Porque su ganancia es mejor que la ganancia de la plata,
Y sus frutos más que el oro fino.
Más preciosa es que las piedras preciosas;
Y todo lo que puedes desear, no se puede comparar a ella.
Largura de días está en su mano derecha;
En su izquierda, riquezas y honra.
Sus caminos son caminos deleitosos,
Y todas sus veredas paz.
Ella es árbol de vida a los que de ella echan mano,
Y bienaventurados son los que la retienen.
Jehová con sabiduría fundó la tierra;
Afirmó los cielos con inteligencia.
Con su ciencia los abismos fueron divididos,
Y destilan rocío los cielos.

Proverbios 3:13-20

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a “Papito Dios” por guiarme, ayudarme, fortalecerme y otorgarme su sabiduría e inteligencia que ha sido plasmado en este estudio.

Gracias por su apoyo incondicional mi asesor Franklin Dionisio Montalvo, coasesores Abelardo Calderon Rodríguez, Barland Huamán Bravo, además agradezco a mis Jurados por su comprensión, humildad y paciencia. Agradezco al equipo de investigación de PROHVILLA Ing. Daniela Changanqui Alfaro, estudiantes Shandy Clementina Huamán Vilca y Claudia Mariela Paredes Vite gracias por su compromiso y entrega en el trabajo de campo. Así mismo, agradezco al jefe del Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina Ing. Braulio La Torre, como también a la Ing. Isabel Mimbela Talledo y a Leonor Cajo Elías, muchas gracias por su apoyo incondicional.

Agradezco al Dr. Marcos Quiroz Calderon por su valiosa contribución en la realización de la tesis. A mi amiga Tania Flores Saavedra por su ayuda incondicional. También agradezco al equipo de SERNANP y al equipo del área de fitoplancton del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) al Blgo. Alberto Oscanoa Huaynate, Ing. Liz Cecil Tenorio García-Blásquez, Blga Hanna Elizabeth Hernández Acevedo, y agradezco a cada persona que Dios puso en mi camino para ayudarme “Dios les Bendiga”.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Interrogantes.....	6
1.2.1. General	6
1.2.2. Específicas	6
1.3. Justificación	6
1.3.1. Teórica	6
1.3.2. Práctica	6
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Principal	7
1.4.2. Específicos.....	7
1.5. Hipótesis y modelo.....	7
1.5.1. Hipótesis	7
1.5.2. Variables e indicadores	8
II METODOLOGÍA	9
2.1. Población y muestra	9
2.2. Área de estudio.....	9
2.3. Métodos y técnicas	10
2.3.1. Obtención de la muestra de fitoplancton y medición de los parámetros ambientales de la zona de estudio.....	10
2.4. Determinación de la biomasa de fitoplancton	14
2.5. Estimación del contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton	16
2.6. Estimación del CO ₂ capturado por fitoplancton en la zona de estudio	17
2.7. Cálculo del valor económico del CO ₂ capturado por fitoplancton en la zona de estudio	18
2.8. Análisis estadístico	18
III REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1. Base teórica.....	20
3.1.1. Ecosistema acuático	20
3.1.2. Rol del fitoplancton en la captura de CO ₂	22
3.1.3. La conversión del CO ₂ a biomasa	24
3.1.4. Métodos de estimación del contenido de carbono	25

3.1.5. Valoración económica	27
3.1.6. Valor económico de los humedales.....	27
3.1.7. Métodos de valoración	28
3.1.8. Mercado de carbono	29
3.1.9. Importancia de los humedales frente al cambio climático	33
IV RESULTADOS	53
4.1. Caracterización de la población del fitoplancton y parámetros ambientales de la zona de estudio	53
4.1.1. Caracterización de la población del fitoplancton.	53
4.1.2. Parámetros ambientales de la zona de estudio	57
4.2. Biomasa del fitoplancton.....	61
4.3. Concentración de carbono en biomasa del fitoplancton	69
4.4. Cantidad del CO ₂ capturado por fitoplancton.....	73
4.5. Valor económico del CO ₂ capturado por fitoplancton	81
4.6. Contrastación de hipótesis.....	90
4.6.1. Hipótesis	90
V DISCUSIÓN DE RESULTADOS	91
CONCLUSIONES	106
RECOMENDACIONES	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
ANEXOS	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1 Variables e indicadores de la hipótesis	8
2 Estaciones de muestreo en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa .	9
3 Principales métodos de valoración económica	29
4 Servicios ecosistémicos de los humedales (Ramsar, 2018a)	35
5 Parámetros meteorológicos del humedal Pantanos de Villa	43
6 Distribución de pueblos, vivienda y manzanas de la ZRE PV	44
7 Nivel educativo alcanzado por la población de 15 y más años de edad	47
8 Registro promedio de parámetros fisicoquímicos de fuentes de agua en RVSPV	50
9 Resultados de la calidad del aire en el humedal Pantanos de Villa realizado durante 16 de agosto de 2019 al 16 de diciembre 2020	51
10 Promedio nivel de presión sonora Db (A) en el perímetro de la zona de estudio	51
11 Índice de Sahnnon del fitoplancton en la laguna mayor del humedal	55
12 Densidad celular (células/mL) promedio a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa	56
13 Parámetros fisicoquímicos del agua en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa.....	59
14 Medidas estadísticas de la biomasa húmeda del fitoplancton por estratos.	61
15 Análisis de varianza de la biomasa húmeda del fitoplancton	62
16 Medidas estadísticas de la biomasa seca del fitoplancton por estratos	63
17 Análisis de varianza de la biomasa seca del fitoplancton	64
18 Biomasa seca del fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa.....	66
19 Medidas estadísticas de la concentración de clorofila “a” en ambos estratos	67
20 Análisis de varianza de la concentración de clorofila “a” del fitoplancton....	68
21 Cantidad de clorofila “a” del fitoplancton de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa.....	69

22	Medidas estadísticas del contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton en ambos estratos, según el método gravimétrico	70
23	Análisis de varianza del contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton, según el método gravimétrico	71
24	Medias estadísticas del contenido de carbono en biomasa del fitoplancton, según el método espectrofotométrico	71
25	Análisis de varianza del contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton, según el método espectrofotométrico	72
26	Medias estadísticas del CO ₂ capturado por fitoplancton, según el método gravimétrico	74
27	Análisis de varianza del dióxido de carbono capturado por fitoplancton, según el método gravimétrico	76
28	Dióxido de carbono capturado por fitoplancton en toda la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método gravimétrico	77
29	Medidas estadísticas del dióxido de carbono capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico	78
30	Análisis de varianza del dióxido de carbono capturado por fitoplancton, según el método de espectrofotométrico	79
31	Dióxido de carbono capturado por fitoplancton en toda la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método espectrofotométrico	81
32	Medidas estadísticas del valor económico del CO ₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método gravimétrico	82
33	Análisis de varianza del valor económico del CO ₂ capturado por fitoplancton, según el método gravimétrico	82
34	Valor económico del dióxido de carbono (CO ₂) capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método gravimétrico	85
35	Medidas estadísticas del valor económico del CO ₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico	86
36	Análisis de varianza del valor económico del CO ₂ capturado por fitoplancton según el método espectrofotométrico	86
37	Valor económico del dióxido de carbono (CO ₂) capturado por fitoplancton a nivel superficial, a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método de espectrofotométrico	89
38	Correlación entre las variables de hipótesis	90

39	Parámetros fisicoquímicos del agua en investigaciones realizados en el humedal Pantanos de Villa	94
40	Medida de limnimetros en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa	98
41	Captura de CO ₂ por recursos en ecosistemas costeros.....	101
42	Valor económico por servicio ambiental de la captura del CO ₂ en diferentes recursos	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1 Principales países que emiten mayor CO ₂	3
2 Estaciones de muestreo en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa	10
3 Registro de parámetros fisicoquímicos del agua en situ en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa	11
4 Determinación de parámetros químicos (fosfatos y nitratos) del agua de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa.....	12
5 Obtención de muestras de fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa.....	12
6 Identificación y conteo de fitoplancton en laboratorio de fisiología vegetal de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM)	14
7 Filtración al vacío de las muestras de fitoplancton para la obtención de biomasa	15
8 Estimación de la clorofila “a” a través del método espectrofotométrico en muestras de biomasa del fitoplancton	16
9 Principales zonas de un ecosistema acuático.....	21
10 Fijación del dióxido de carbono en ciclo de Calvin.....	23
11 Cambios en la extensión de humedales a nivel mundial.....	36
12 Característica de la población según sexo.....	45
13 Distribución poblacional según edades de la ZRE Pantanos de Villa	46
14 Población económicamente activa (PEA) en zona de reglamentación especial de los Pantanos de Villa	48
15 Abundancia relativa del fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa.....	53
16 Especies más abundantes de fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa.....	54
17 Incremento de fitoplancton con células mayores de 6 micras (u) en los últimos muestreos.....	57
18 Principales especies del fitoplancton con células mayores a 6 micras	57
19 Canales que abastecen agua contaminado con residuos.....	60
20 Contaminación natural por heces de aves donde nidan o duermen	61

21	Biomasa húmeda del fitoplancton a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa	62
22	Biomasa seca promedio del fitoplancton a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa	63
23	Biomasa seca del fitoplancton en agua superficial y a 30 cm de profundidad en función a los nitratos presentes en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa.....	64
24	Comparación estadística de la biomasa seca del fitoplancton en ambos estratos.....	65
25	Comportamiento de la clorofila “a” del fitoplancton a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa	67
26	Comparación estadística de la clorofila “a” del fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico.....	68
27	Comportamiento del contenido de carbono en la biomasa seca del fitoplancton en ambos estratos, según el método gravimétrico	70
28	Comportamiento del contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico	72
29	Comparación estadística del contenido de carbono del fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico	73
30	Comportamiento de CO ₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método gravimétrico	74
31	Comportamiento similar de la biomasa seca y la cantidad del CO ₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método gravimétrico	75
32	Relación de la biomasa seca y la cantidad del CO ₂ capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método gravimétrico	75
33	Comportamiento del CO ₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico.....	78
34	Comportamiento similar de clorofila “a” y la cantidad del dióxido de carbono capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico	79
35	Relación de la concentración de clorofila-a y la cantidad del CO ₂ capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método espectrofotométrico	80
36	Comparación estadística del valor económico promedio del CO ₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según método gravimétrico.....	83

37 Comportamiento similar de la biomasa seca y el valor económico del CO ₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según método gravimétrico	83
38 Relación entre la biomasa seca y el valor económico del CO ₂ capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método gravimétrico	84
39 Comparación estadística del valor económico promedio del CO ₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico	87
40 Comportamiento similar de la clorofila-a y el valor económico del CO ₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico	87
41 Relación entre la clorofila "a" y el valor económico del CO ₂ capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método espectrofotométrico	88

RESUMEN

El objetivo de la investigación es calcular el valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa en época de verano. El monitoreo hidrobiológico se llevó a cabo en siete estaciones de muestreo en la laguna mayor (52 ha); se evaluó parámetros fisicoquímicos y biológicos a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad, se determinó la biomasa del fitoplancton 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. La zona de estudio fue afectada por contaminación aledaña encontrando altos valores nitratos y fosfatos que superaron los ECAS categoría 4, que favoreció el crecimiento del fitoplancton, presento una densidad celular promedio de $5.94 \times 10^5 \pm 0.89$ cel/mL, la biomasa de fitoplancton promedio fue 0.086 ± 0.014 g/L (0.168 t/ha/día), la clorofila "a" promedio fue 9.73 ± 2.165 mg/L (0.019 t/ha/día); la cantidad de carbono almacenado en la biomasa fue 0.043 ± 0.007 g/L (0.084 t/ha/día) según método gravimétrico y 0.263 ± 0.059 g/L (0.527 t/ha/día) según método espectrofotométrico. La cantidad de CO₂ capturado por el fitoplancton fue 0.158 ± 0.025 g/L (0.308 t/ha/día) según método gravimétrico y 0.966 ± 0.215 g/L (1.931 t/ha/día) según método espectrofotométrico. El valor económico para ambos métodos fue de \$ 2.602/ha/día y \$ 16.339/ha/día respectivamente.

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

ABSTRACT

The objective of the research is to calculate the economic value of CO₂ captured by phytoplankton in the Pantanos de Villa wetland's main lagoon during the summer season. The hydrobiological monitoring was carried out in seven sampling stations in the main lagoon (52 ha); physicochemical and biological parameters were evaluated at surface water level and at 30 cm depth, the phytoplankton biomass was determined by gravimetric and spectrophotometric methods, the amount of carbon stored in biomass, the CO₂ captured by phytoplankton, and the economic value according to a method based on market values. The study area was affected by nearby pollution, finding high nitrate and phosphate values that exceeded the ECAS category 4, which favored the growth of phytoplankton, presenting an average cell density of $5.94 \times 10^5 \pm 0.89$ cells/mL, the average phytoplankton biomass was 0.086 ± 0.014 g/L (0.168 t/ha/day), the average chlorophyll "a" was 9.73 ± 2.165 mg/L (0.019 t/ha/day); the amount of carbon stored in the biomass was 0.043 ± 0.007 g/L (0.084 t/ha/day) according to gravimetric method and 0.263 ± 0.059 g/L (0.527 t/ha/day) according to spectrophotometric method. The amount of CO₂ captured by phytoplankton was 0.158 ± 0.025 g/L (0.308 t/ha/day) according to gravimetric method and 0.966 ± 0.215 g/L (1.931 t/ha/day) according to spectrophotometric method. The economic value for both methods was \$ 2,602/ha/day and \$ 16,339/ha/day respectively.

Key words: economic value, phytoplankton CO₂ capture, Pantanos de Villa wetland.

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La investigación sobre el valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa en época de verano, Perú 2021, se desarrolló en el distrito de Chorrillos, provincia de Lima, departamento de Lima, donde el área de estudio se localizó a una altitud de 5 m.s.n.m.

Los humedales son ecosistemas acuáticos que tienen un gran valor significativo para la humanidad, por las funciones ecológicas que presentan, dentro de ellas está la captura del carbono que lo realizan a través de diversas plantas y microorganismos fotosintéticos presente en el cuerpo de agua; estos son considerados como sumideros de carbono por la convención internacional Ramsar.

Aproximadamente el 6% de la superficie del planeta ocupan los humedales, y contienen cerca de 15×10^{14} kg del carbono mundial (Kayranli, Scholz, Mustaf y Hedmark, 2010, como se citó en Hernández y Moreno-Casasola, 2018). El carbono en los humedales está almacenado en la biomasa de árboles, plantas acuáticas (sumergidas, flotantes), algas macroscópicas y microscópicas (fitoplancton) así como en la materia orgánica en el suelo.

El humedal Pantanos de Villa por su extensión de espejo de agua alberja gran diversidad de especies de fitoplancton (Cepeda, 2016), lo cual contribuye con la reducción de las concentraciones de CO₂ de la atmósfera mediante el proceso de la fotosíntesis, brindando un servicio ambiental de la captura del CO₂.

En este sentido, la investigación contribuye con el conocimiento y su importancia del rol que tiene el fitoplancton en la captura del CO₂ y su valor económico en la zona de estudio, para ello el monitoreo hidrobiológico se llevó a cabo en siete estaciones de muestreo en época de verano.

El ser humano, en su afán por satisfacer sus necesidades entro en la revolución industrial que puso en peligro el buen funcionamiento de la naturaleza. Hoy en día, el incremento de la población mundial llevo a cambios en el consumo per cápita de materiales, aumentando en un 15 % desde 1980 en los que respecta a piensos, fibras, alimentos, madera, combustible fósiles, minerales, materiales de construcción y energía. Ello hizo que se incremente la expansión de zona para la agricultura, silvicultura, producción y transformación comercial [Plataforma intergubernamental de biodiversidad y servicios ecosistémicos (IPBES), 2019]. Estos cambios han contribuido en el aumento de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), siendo el dióxido de carbono (CO₂) el principal gas, que tuvo un incremento significativo en estos últimos años, donde la concentración estimada para el año 2100 oscilaran entre 540 y 970 ppm, con respecto a las concentraciones de 280 ppm en la época preindustrial, antes de 1800. [Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC), 2002 p.11; Plass, 1959 como se citó en Odum, 1972 p.24].

En la figura 1, se muestra los países que más contaminan el planeta es China con 11.1 Gt CO₂, seguido de Estados Unidos de América con 5.1 Gt CO₂ e India con 2.7 Gt CO₂ (Global Carbono Project, 2021). Así, en el Perú, la tendencia de las emisiones de CO₂ equivalente (eq) ha aumentado a 205, 294.17 GgCO₂ que según registros del 2016 (MINAM, 2021).

Todo este incremento en la contaminación ya, Odum (1972) indico que las concentraciones de CO₂ causan oscilaciones de calentamiento y enfriamiento del clima, lo cual fue confirmado con los estudios del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC) quienes indicaron que entre los periodos 1850-1900 hasta 2006-2015, el incremento de la temperatura media del aire en la superficie terrestre aumento en 1,53 °C el doble respecto a la temperatura media global en superficie que incremento en 0,87 °C, así mismo el aumento de la temperatura superficial del océano en 0,11°C/decenio durante el período comprendido entre 1971 y 2010, también la variación de las precipitaciones, elevación del nivel del mar, todo ello, contribuyo al cambio climático que afecta a todos los ecosistemas y al mismo ser humano (IPCC, 2020 p. 9).

Figura 1

Principales países que emiten mayor CO₂



Nota. Adaptado de global carbón project [CO₂ emissions/global carbon atlas], (2020) [http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO₂-emissions](http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions)

Para reducir las emisiones de dióxido de carbono de la atmósfera, se buscó diferentes medidas, sin embargo, la que no afecta el buen funcionamiento de los ecosistemas es a la manera de la naturaleza.

Los humedales son un ejemplo, ellos de manera biológica captura y almacena el CO₂. Esta captura lo realizan a través de la fotosíntesis, en su mayoría, a través de las plantas y algas que fijan el dióxido de carbono de la atmósfera y lo convierten a carbono orgánico (Hernández, 2010). Así, en el humedal altoandino de áreas de protegidas del Ecuador en un área de 0.01km², se ha registrado carbono en vegetación, sobre el suelo, y en suelo que va de 308.21 a 794.04 mg C (Suarez et. al., 2016); también, Hernández y Moreno-Casasola (2018), registro de 150 a 650 mg C ha⁻¹ en suelos de selvas inundables de México. Así también, en la costa peruana en el humedal Puerto Viejo registro en totora 73.7tCO₂/ha, en junco 40.6tCO₂/ha (Palomino, 2007), en humedal Villa María en totora 84.05 tCO₂/ha (Pérez et. al., 2015), en Albufera Medio Mundo en junco 224.10 tCO₂ (Gutiérrez, 2017), en los Pantanos de Villa en junco se registró un potencial de captura de 35 694.30 tCO₂ (Ampuero, 2018).

De Groot et. al., (2012) y Costanza et al., (2014), señalan que estos ecosistemas acuáticos generan mayores servicios ecosistémicos que los

ecosistemas terrestres, así en humedales costeros el valor de servicio ecosistémico calculado fue de USD \$ 193,845 a diferencia en un bosque tropical que fue de USD \$ 5264.

Por lo que la Convención Ramsar, en 1971, reconoció “que los humedales constituyen un recurso de gran valor económico, cultural, científico y recreativo, cuya pérdida sería irreparable”. Afirmado también por Barbier et. al., (1997), quienes indican 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 (Smith et. alt., como se citó en Maltby & Acreman, 2011).

Por ello, varios trabajos de valorización económica fueron realizados, así Costanza et al., (1997), estimó el valor económico de 17 servicios ecosistémicos para 16 biomas, fue de USD \$ 33 billones por año. Dentro de ello, cálculo en humedales un valor promedio de 14.785 USD \$/ha/año, específicamente el valor económico por servicio de regulación de gases fue USD \$133/ha/año. Este mismo autor para el 2011, datos unitarios actualizados, calculo el valor global de servicios de los ecosistemas fue de 125 billones/año (Costanza et al., 2014).

De Groot et. al., (2012), realizaron una valoración económica en humedales costeros en servicios de regulación de clima encontró un valor de US\$ 65 por hectárea/año. También, Constanza et. al., 1989 como se citó en Barbier et. al., (1997), efectuaron una valoración total, de los beneficios de los humedales costeros de Louisiana, con un valor actual neto de USD \$2429/0.4 ha, precios de 1983, a una tasa de descuento 8%). Así, McCartney et. al., (2011) ha demostrado que el humedal de GaMampa de Sudafrica tiene un valor de más de USD \$80 000, a pesar de que comprende menos del 1% de su cuenca de captación.

Barbier (2011), demostró que los beneficios económicos neto de los servicios de los ecosistemas (pesca, agricultura, y leña) de los humedales de Hadejia-Nguru, en Nigeria fueron de USD \$32 /1000 m³ de agua.

En Perú, Glave y Pizarro (2001), en una evaluación de fitoplancton en la Bahía Independencia, registraron una captura de 49.66 tCdia⁻¹, con un valor

económico de USD \$181124.00 por año. Así mismo, Hidalgo et. al., (2012) registraron una captura de 3 139.41 toneladas de carbono en vegetales equivalente a un valor de \$41,189.02 por año en el humedal de Yanayacu-Ancash.

Salgado et. al., (2015), estimaron un valor de USD \$417.9 millones anuales del servicio de regulación atmosférica y climática del gran ecosistema marino de la corriente de Humboldt (GEMCH) atribuidos a la zona norte centro. Por otro lado, Crispin y Jimenes (2019) calcularon un valor del servicio ambiental de almacenamiento de carbono en suelo con un valor unitario de \$160.83/ha en el bofedal Pilpichaca-Huancavelica.

En la costa peruana en el humedal de la laguna Mejía, Alencastre y Zafra (2020) reporto un valor de \$4425.45 por la captura de 295.03 tCO₂/ha de tres especies de flora. Así, Aponte et. al., (2021) en el humedal Pantanos de Villa proyecto un valor económico que ascendería a 220 mil y más de 4 millones de dólares americanos por carbono almacenado un total de 22 mil toneladas equivalentes a $8,12 \times 10^{-5}$ PgCO₂ capturado.

Es necesario recalcar que en los ecosistemas como los humedales existen microorganismos fotosintéticos conocidos como fitoplancton (Skjanes et al., 2007). Ellos, fijan CO₂ entre 10-50 veces más que las plantas (3-6%) debido a las altas tasas de crecimiento que 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) y presentan una elevada producción de biomasa en peso seco promedio de 4067.20 pg/cel (Reynolds, 1984, p. 30; Reynolds 2006 p. 26; Skjanes et al., 2007).

Dentro de ellos, está el humedal costero Pantanos de Villa es un sitio Ramsar de mucha importancia para la humanidad, que brinda servicios ambientales en beneficio directo para el distrito de Chorrillos, sin embargo, no se tiene conocimiento del valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton presente en la laguna mayor, en época de verano.

1.2. Interrogantes

1.2.1. General

¿Cuál es el valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa en época verano?

1.2.2. Específicas

¿Cuáles son las características del fitoplancton y parámetros ambientales de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa?

¿Cuánto es la biomasa del fitoplancton presente en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa durante la época de verano?

¿Cuánto es la cantidad de carbono almacenado, el CO₂ capturado por el fitoplancton durante la época de verano en la zona de estudio?

¿Cuánto es su valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton durante la época de verano en la zona de estudio?

1.3. Justificación

1.3.1. Teórica

La presente investigación pretende contribuir con el conocimiento y su importancia del rol que tiene el fitoplancton en la captura del CO₂ en la zona de estudio, cuyo valor económico, servirá de base para futuras investigaciones

1.3.2. Práctica

Utilidad

La presente investigación permitirá tener conocimiento de su valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton, lo cual lleva tener una idea de cuánto ingreso proviene de la captura, ello, ayuda a las autoridades pertinentes, en la toma de decisiones respecto a la conservación, manejo y gestión de la diversidad biológica de fitoplancton presente en el humedal Pantanos de Villa.

Beneficiarios

Los beneficiados del presente estudio, es la población estudiantil y la población local, mejorando su nivel de cultura y educación ambiental respecto al fitoplancton que permitirá al cuidado de este ecosistema acuático, para que continúe otorgando el servicio de la captura del CO₂, beneficiando su bienestar.

1.4. Objetivos

1.4.1. Principal

Calcular el valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa en época de verano.

1.4.2. Específicos

Caracterizar la población del fitoplancton y parámetros ambientales en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa.

Estimar la biomasa del fitoplancton presente en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa durante la época de verano.

Estimar la cantidad de carbono almacenado, el CO₂ capturado por el fitoplancton durante la época de verano en la zona de estudio.

Estimar el valor económico del CO₂ capturado por el fitoplancton durante la época de verano en la zona de estudio

1.5. Hipótesis y modelo

1.5.1. Hipótesis

El valor económico del CO₂ capturado tiene una relación directa con la biomasa del fitoplancton.

1.5.2. Variables e indicadores

Tabla 1

Variables e indicadores de la hipótesis

Variab les	Indicadores	
Variable independiente	Indicadores independientes	
X: Biomasa	X ₁ : Cantidad de biomasa	X ₄ : Profundidad (cm)
	X ₂ : Parámetros físico-químicos	X ₅ : Nivel de agua
	X ₃ : Nutrientes (P, N)	X ₆ : Contaminación de la población aledaña
Variable dependiente	Indicadores dependientes	
Y: Valor económico del CO ₂ capturado	Y ₁ : Precio por tonelada de CO ₂	
	Y ₂ : Mercado de carbono	
Nota. Elaboración propia		

II METODOLOGÍA

2.1. Población y muestra

La unidad de análisis en este estudio fue la población de fitoplancton cuya muestra representativa fue tomada a nivel superficial y a 30 cm de profundidad en el humedal Pantanos de Villa.

2.2. Área de estudio

El presente estudio fue desarrollado en la laguna mayor que abarca una extensión de 52 hectáreas (ha) (RP N°169-2016-SERNANP), de las 263.27 ha. del humedal Pantanos de Villa; se encuentra ubicado al sur de la ciudad de Lima, en el distrito de Chorrillo, dentro del perímetro urbano de la ciudad de Lima, a una altitud de 5 m.s.n.m., cuyas coordenadas 12°12'30" L.S. Latitud Sur y 76°59'20" L.W. Longitud Oeste (Ramsar, 2018b p.38), o coordenadas UTM 282515.54 – 8650654.57 y 284666.50 – 8647533.50, (Ordenanza N°2264, 2020, p. 28). Donde se ubicó siete estaciones de muestreo en las siguientes coordenadas UTM como se muestra en la tabla 2 y figura 2.

Tabla 2

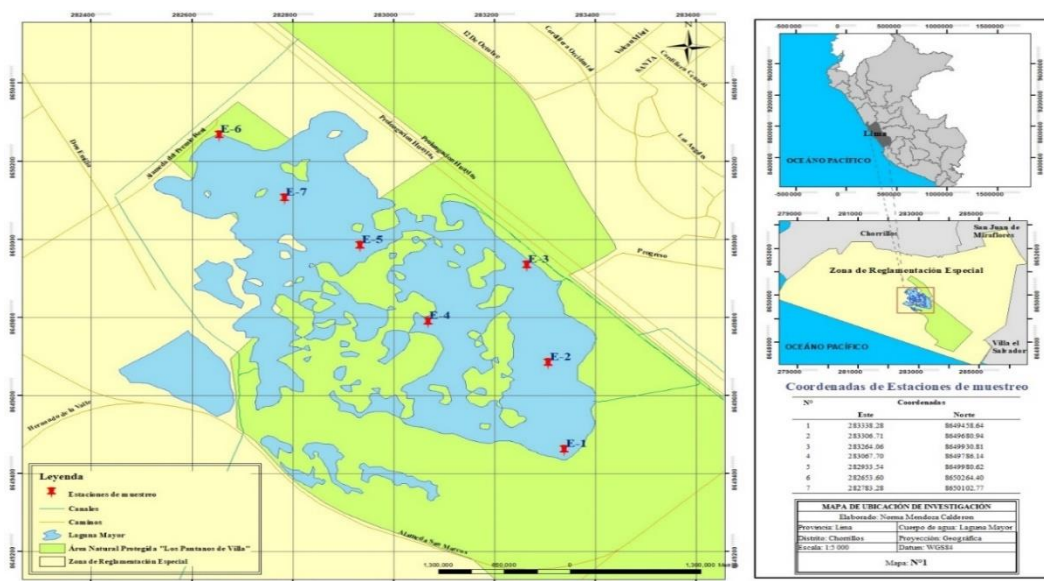
Estaciones de muestreo en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa

N°	Puntos de Monitoreo (Coordenadas UTM)		Ubicación Geográfica			Nombre del Área Protegida
	Este	Norte	Distrito	Prov.	Depart.	
1	283338.28	8649458.64				
2	283306.71	8649680.94				
3	283264.06	8649930.81	Chorrillos	Lima	Lima	Laguna mayor Pantanos de Villa
4	283067.70	8649786.14				
5	282933.54	8649980.62				
6	282653.60	8650264.40				
7	282783.28	8650102.77				

Nota: Información de laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Figura 2

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



Nota: Información de laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

2.3. Métodos y técnicas

2.3.1. Obtención de la muestra de fitoplancton y medición de los parámetros ambientales de la zona de estudio

Para la obtención de la muestra de agua, se realizó según las pautas metodológicas de MINAM (2014, p.11); López y Madroñero (2015, p. 21); confederación hidrográfica del Ebro (2007, p. 35) en cada estación de muestreo, como se observa en la figura 3 y 4. Se midió in situ los parámetros físico-químicos: pH, temperatura (°C), conductividad eléctrica (CE), para lo cual, se utilizó un multiparámetro Hanna HI 9813-6, mientras que, para el oxígeno disuelto (OD) se utilizó un oxímetro Hach Pocket Pro. Los dos primeros muestreos de agua para nitratos y fosfatos fueron analizados por el laboratorio de análisis de agua y suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Y los siguientes análisis de nitratos se realizó con un test kit de prueba de nitrato Hach NI-11 y para fosfato, un test kit de prueba de ortofosfato PO-19 de PROHVILLA. Los valores fueron comparados con los valores establecidos en la categoría 4 (conservación del ambiente acuático), subcategoría e1 (lagunas y lagos) del estándar calidad ambiental (decreto supremo 004-2017-MINAM).

Seguido, se obtuvo la muestra para la identificación y recuento del fitoplancton, para lo cual, tomó una muestra a nivel superficial con una botella plástica oscurecida de 300 mL, se llenó el frasco hasta el 90% de su capacidad, con cinco repeticiones, cada toma se colocó en un balde de 4 L y se mezcló todas ellas para componer una muestra representativa de 300 ml la cual se separó. También se tomó una muestra a 30 cm de profundidad con una botella de muestreo de 1 L, se trasvaso solo 300 ml al balde de cada repetición realizando el mismo procedimiento anterior. A dichas muestras representativas se colocó 0.5 ml de lugol/100 ml de muestra.

En la figura 5, se distingue que se tomó una muestra para la obtención de biomasa, donde 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 de la muestra se colocó en una botella oscurecida de 300 mL, se etiquetó (código, fecha) y se puso en frío en una caja hermética y se llevó al laboratorio de fisiología vegetal de la Universidad Nacional Agraria la Molina. La coleta se realizó 2 veces/mes.

Figura 3

Registro de parámetros fisicoquímicos del agua en situ en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Figura 4

Determinación de parámetros químicos (fosfatos y nitratos) del agua de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Figura 5

Obtención de muestras de fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Para identificar el fitoplancton se colocó una gota de agua en una lámina porta-objeto se cubrió con la laminilla cubre-objeto y se observó en un microscópico óptico binocular marca Olympus a 100X, 400X y 1000X aumentos. La identificación taxonómica se realizó utilizando claves y

publicaciones especializadas (Bicudo y Menezes, 2005, p.17; Huber-Pestalozzi et. al., 1983, p. 29; Wehr et. al., 2003, p.5; Guiry & Guiry, 2021), como se muestra en la figura 6. Así mismo, con los datos obtenidos de la identificación se procesó usando el software Microsoft Excel® para conocer la composición del fitoplancton por phylum, géneros, especie y la abundancia relativa, para lo cual se empleó el Índice de diversidad de Shannon y Wiener, modificada por Margalef (1956, como se citó en López y Vela, 2011, p. 158).

$$H = (n_1/n_1 * \log n_1/N) / \log^2$$

n_1 = número total de organismos de una especie en cada estación

N = número total de individuos en cada estación

Log = logaritmo base 10

Para calcular la densidad del fitoplancton (células/ml) se utilizó una cámara de Neubauer de 0.1 mm de altura, un contador celular y se realizó según Arredondo y Voltolina, (2007, p. 22-24); Aguilar et. al., (2011, p. 7) y se aplicó las siguientes fórmulas para microalgas menores 6 μ (a) y mayor a 6 μ (b):

$$C = [\Sigma \text{Cel. Ca}/5] * 250000 \text{ (a)} \quad C = [\Sigma \text{Cel. Ca}/4] * 10000 \text{ (b)}$$

Donde:

C: cél/mL

$\Sigma \text{Cel. Ca}$: Suma de células en los cuatro cuadrantes externos de la cámara Neubauer, y los números 250 000, 10 000 son factores de conversión.

Figura 6

Identificación y conteo de fitoplancton en laboratorio de fisiología vegetal de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM)



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Para conocer la condición ambiental de la zona de estudio realizo un recorrido por toda el área de estudio y los canales de abastecimiento de agua, identificando las fuentes de contaminación. Se utilizó información secundaria e informes de seguimiento de SERNANP, PROHVILLA, Pulido, entre otros

2.4. Determinación de la biomasa de fitoplancton

La determinación de la biomasa se realizó a través de dos métodos: método gravimétrico y método espectrofotométrico como se detalla a continuación.

En la figura 7, se observa la obtención de la biomasa del fitoplancton total a través del método gravimétrico (mediante el peso), para lo cual se filtró cada muestra colectada en campo a través de un papel filtro whatman N°42 con un equipo de bomba al vacío de 10 HP. Una vez obtenido la biomasa húmeda, se pesó mediante una balanza analítica marca Sartorius. El cálculo fue por diferencia entre el peso inicial del filtro y el peso del filtro con la muestra, dividida

entre el volumen de la muestra filtrada (Arredondo y Voltolina 2007, p.27) posteriormente se secó en una estufa marca memmert UN a 40°C por 6 horas y se obtuvo el peso de biomasa en seco (Glave y Pizarro, 2001).

Figura 7

Filtración al vacío de las muestras de fitoplancton para la obtención de biomasa



Nota. En la figura se muestra la filtración de la muestra de agua (a) y (b) el filtro contenido la biomasa del fitoplancton realizado en el laboratorio de suelos de la UNALM.

La estimación de la biomasa a través del método de espectrofotométrico (a través de la clorofila "a") se realizó de acuerdo a Arnón (1949, p.3) y Becker (1994, como se citó en Arredondo y Voltolina, 2007, p. 61), donde 14 muestras de fitoplancton (7 a nivel superficial y 7 a 30 cm de profundidad) cada una de 300 ml, fueron filtradas al vacío con papel filtro Whatman N° 42. Luego fueron colocadas con unas pinzas a un mortero de porcelana y se agregó 5 ml de acetona al 80% y se trituro con el fin de romper las células y liberar los pigmentos. Seguido se puso en frascos con tapa y se dejó en refrigeración a 4 °C durante 48 horas, como se puede notar en la figura 08. Posteriormente, el sobrenadante fue retirado con una pipeta pasteur, filtrando a otros tubos aptos para realizar las lecturas a 645 y 663 nm de absorbancia en el espectrofotómetro marca Genesys 20 UV, teniendo como tubo en blanco el solvente. La concentración de la clorofila "a" se calculó de acuerdo a la ecuación de Arnón (1949, p.3).

$$\text{Clorofila "a" (g/L)} = 0.0127 (A_{663}) - 0.00269 (A_{645})$$

$$\text{Clorofila "a" (mg/L)} = 12.7 (A663) - 2.69 (A645)$$

Donde:

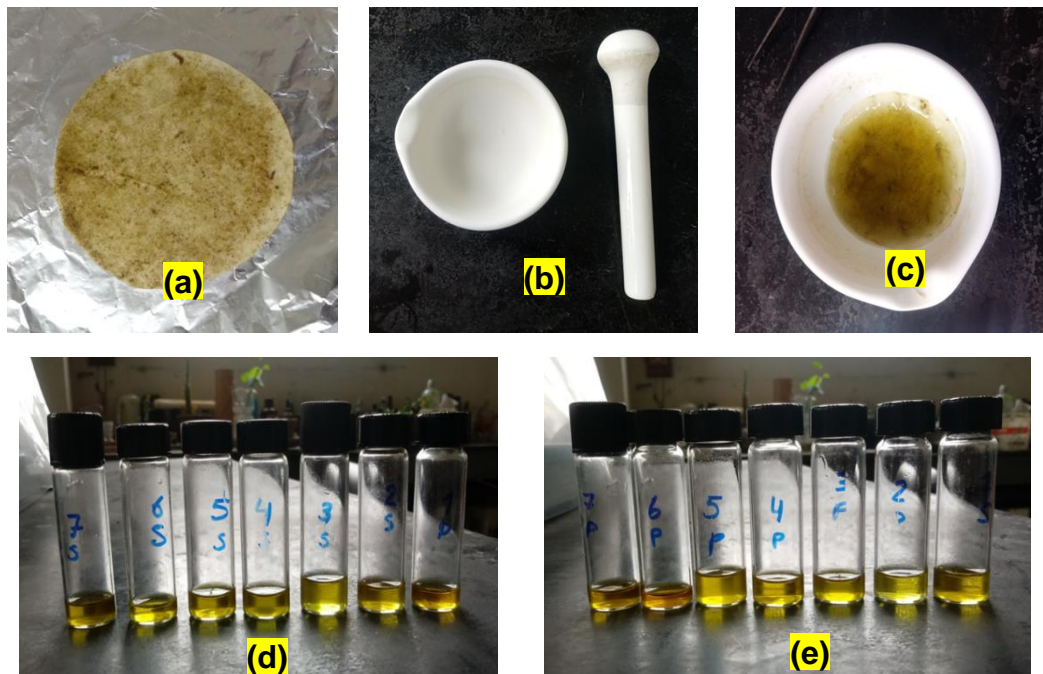
A663: Es la absorbancia a 663 nm.

A645: Es la absorbancia a 645 nm

0.0127 y 0.00269 son coeficientes de absorción.

Figura 8

Estimación de la clorofila "a" a través del método espectrofotométrico en muestras de biomasa del fitoplancton



Nota. En esta figura se muestra la obtención de la clorofila "a" y materiales (a) filtro contenido la biomasa de fitoplancton, (b) mortero, (c) biomasa de fitoplancton diluido en acetona al 80%, (d) clorofila "a" a nivel superficial y (e) clorofila "a" a 30 cm de profundidad.

2.5. Estimación del contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton

Para estimar la cantidad de carbono en la biomasa en las muestras de cada estación de muestreo, se calculó según (Odum, 1972 p. 40; Reynolds, 1984 p.37; Buehner et al., (2009, como se citó en Boffil et al., 2012 p.31; Martínez y Leyva, 2014 p.17) quienes señalan que el contenido de carbono es el 50% de peso seco, es decir que un gramo de microalga contiene 0.5 gramo de carbono,

por lo tanto, la cantidad de carbono en biomasa del fitoplancton se obtuvo mediante la siguiente ecuación: $C_B = \text{Biomasa} \times 0.5$.

Donde: C_B : Carbono en biomasa

Así mismo, por el método espectrofotométrico se obtuvo la clorofila "a", y la transformación de clorofila "a" a carbono, se realizó mediante la ecuación:

$C: \text{Chl-a} = 43.4 - 1.14T + 1.85Ie^{(-0.126T)}$ ecuación generalizada para todas las microalgas, donde C es la cuota de carbono celular, o biomasa de carbono (peso), Chl-a es clorofila "a" celular o biomasa de clorofila "a" (peso), T es la temperatura en grados centígrados, I es la irradiancia $\mu\text{mol fotonos/m}^2/\text{s}$ y e es la base del logaritmo natural igual a 2.718 (Thompson, 2006, p. 583; Rodríguez, 2013, p.17; Rodríguez y Ake, 2016, p.252). Para el presente trabajo se consideró la biomasa de clorofila "a" (peso) y biomasa de carbono (peso).

Los valores de irradiación se utilizó el valor promedio ($8.03083 \text{ MJ/m}^2/\text{s}$) (National Aeronautics and Space Administration [NASA]) en la temporada de verano que se convertido a $187.692 \text{ umol fotonos/m}^2/\text{s}$ (Goncalves dos Reis y Ribeiro, 2020, p.233).

2.6. Estimación del CO_2 capturado por fitoplancton en la zona de estudio

Para la estimación del CO_2 capturado por fitoplancton se tomó los datos antes calculados, de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa, este valor, se multiplico por el factor de conversión de carbono ($44/12$, la relación entre los pesos moleculares del CO_2 y del C) (García Cubero, 2014, p. 70), y se obtuvo la cantidad del CO_2 capturado por fitoplancton; según la siguiente ecuación:

$$\text{CO}_2 = C_B * K_r$$

Dónde: CO_2 : Dióxido de carbono capturado (g/L)

C_B : Carbono en la biomasa (g/L) y K_r : Factor de conversión ($44/12$)

Finalmente se estimó el total del CO_2 capturado por fitoplancton en toda el área de estudio, mediante la siguiente ecuación:

$CCO_2 = \text{Área total} \times CO_2 \text{ capturado (tCO}_2\text{/ha)}$. (Chambi, como se citó en Glave y Pizarro, 2001, p.53; Palomino, 2007, p. 78; López German, 2015, p.33).

2.7. Cálculo del valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en la zona de estudio

Para la estimación del valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton, se empleó el método basado en valores de mercado, tipo precios de mercado (MINAM, 2015a; MINAM, 2016), donde se multiplicó el total de CO₂ capturado por fitoplancton en toda el área de estudio por el precio de mercado, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$VE = CCO_2 \times PM$$

Dónde:

VE: Valor económico(\$/ha), CCO₂: Total del CO₂ capturado (tCO₂/ha),

PM: Precio de mercado (\$/tCO₂).

El precio de mercado del CO₂ se obtuvo de la división del precio social del carbono, entre el factor de corrección de bienes nacionales = $1/(1 + \text{Impuesto Indirecto})$ donde el Impuesto Indirecto fue igual a 18% equivalente a un factor de corrección de 0.84746, entonces:

Precio de mercado= $\$7.17/\text{tCO}_2/0.84746=\$8.461/\text{tCO}_2$ aproximadamente.

Para el cálculo se consideró el precio social del carbono para el Perú que fue de US\$ 7.17/tCO₂ (MEF, 2021); Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico, 2016, p. 59, Congreso de la República, 2020, p.3).

2.8. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron procesados según la técnica del análisis de varianza (ANOVA) mediante la prueba de F de Fisher, con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, 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. La prueba F de Fisher, prueba paramétrica,

cumplió con los dos supuestos: i) Normalidad. ii) Homogeneidad de varianzas. La verificación de la normalidad, se realizó mediante la aplicación de la prueba de Shapiro-Wilk. (Si el valor de “p” es mayor del 0.05, decimos que los tratamientos tienen distribución normal) y la verificación de la homogeneidad de varianzas se realizó mediante la aplicación de la prueba de Levene (si el valor de “p” es mayor del 0.05, decimos que los tratamientos tienen varianzas homogéneas). Los datos de esta investigación cumplieron con ambos supuestos. También, se empleó la prueba de correlación de Pearson y los datos fueron analizados con el software estadístico SPSS versión 24.

III

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Base teórica

3.1.1. Ecosistema acuático

El ecosistema, es la unidad funcional básica, porque incluye tanto organismos (comunidad biótica) como un ambiente inerte (abiótico), cada uno de los cuales se interrelacionan para conservar la vida. Un lago es un ejemplo de ecosistema acuático (Odum, 1972).

En la figura 9, se muestra las zonas que constituye la estructura de un ecosistema acuático que según Roldan y Ramírez (2008) son:

Zona interfase aire-agua. Esta zona es la puerta de entrada de la luz y los gases al medio acuático.

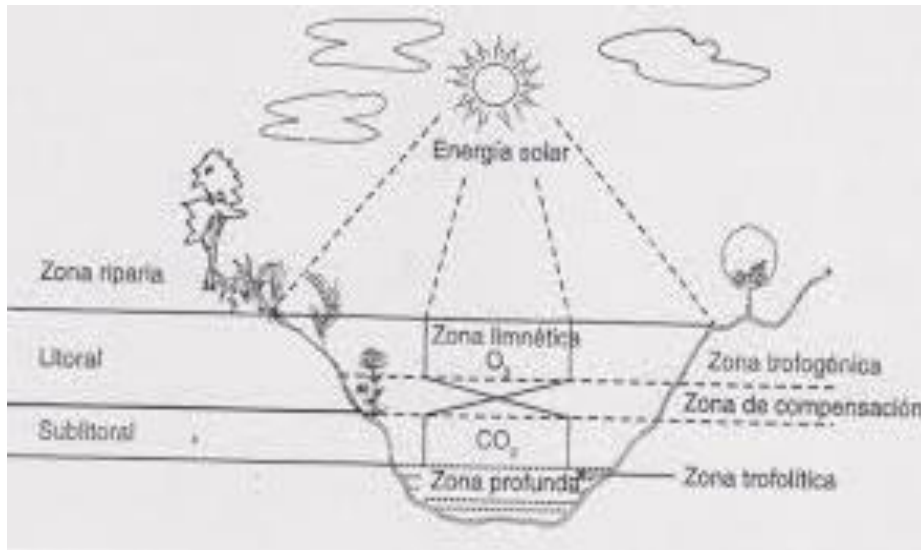
La región "costera" o riparia. Es un humedal típico que cubre no solo la zona eulitoral, sino también una parte considerable del área litoral. Es una zona productora de detritos alóctono (origen de mantillo) como autóctono (originado por macrofitas).

La región litoral. Es una región ecotónica; por ello, es un compartimento autónomo con todos los niveles tróficos, gran cantidad de nichos ecológicos y de cadenas alimenticias de herbivoría y de detritos, y por ende, con mayor diversidad. La característica principal de esta zona es la alta colonización por algas (microalgas, macroalgas), briófilos, pteridófitos y macrofitas acuáticas; estas últimas son más abundantes.

Región limnética o pelágica: Está presente en casi todos los ecosistemas acuáticos. Sus comunidades características son el plancton (fitoplancton y zooplancton, bacterias, y hongos) y necton (peces principalmente). Está conformada por tres zonas: 1. la zona trofogenica, dividida a su vez en fótica o eufótica, donde se lleva a cabo la producción primaria; 2. la zona de compensación, donde la producción es igual al consumo y 3. la zona trofolítica o afótica, en la que ocurre consumo y mineralización de la materia orgánica.

Figura 9

Principales zonas de un ecosistema acuático



Nota. Adaptado de fundamentos de la limnología neotropical (p.23).

Roldan y Ramírez, 2008, editorial Universidad de Antioquia.

Dicho autor, también señala, que para mantener su funcionamiento del ecosistema influyen los siguientes factores:

A.- Factores abióticos

La luz, esta llega a la superficie del agua penetra en ella diferencialmente, de acuerdo con la longitud de onda absorbida. La luz visible esta entre longitudes de onda de 380 y 700 nm, aproximadamente. El efecto abiótico más importante de la absorción de la luz en el agua es el calentamiento, y el efecto biótico más importante es la fotosíntesis.

Gases disueltos en el agua, el oxígeno (O_2) y el dióxido de carbono (CO_2) son los gases más importantes en el agua: el primero es producto de la fotosíntesis, y el segundo es producto de la respiración. El oxígeno constituye el 21% de la atmósfera y se encuentra disuelto en el agua entre 7.0 y 9.0 mg/L, su concentración en el agua varía con la temperatura y la salinidad. Mientras que el CO_2 en el agua desencadena una serie de reacciones químicas, la variación de su concentración produce cambios en el pH, los cuales, en un medio estable, mantienen la capacidad buffer de esta; pero cuando el medio está alterado, los cambios de pH pueden ser limitantes para muchas especies. Ambos son

esenciales para que haya un adecuado balance en el metabolismo global del ecosistema.

También existe sales minerales, bajo este nombre se agrupan todos los iones que se encuentran presentes en el agua, como cloruros, sulfatos, bicarbonatos, nitratos, fosfatos y sílice, entre los más representativos. De los cuales los responsables de la productividad primaria son los nitratos y fosfatos.

B.- Factores bióticos

La parte biótica del ecosistema la constituyen todos los organismos que en él viven, estos se dividen en tres grandes grupos: Los productores o fotosintetizadores, constituidos por algas, ciertas bacterias y plantas acuáticas. Los consumidores, a los cuales pertenecen todos los animales acuáticos, desde los protozoos hasta los vertebrados superiores (principalmente peces); y los descomponedores de la materia orgánica, a los que pertenecen los hongos y bacterias acuáticas. La acción conjunta de estos tres grupos de organismos determina la productividad y el balance ecológico del ecosistema acuático.

3.1.2. Rol del fitoplancton en la captura del CO₂

El fitoplancton son algas principalmente microscópicas que flotan en el agua, su nombre deriva del término griego phyto que significa “planta” y plankton “errante” (Roldan y Ramírez, 2008). Su composición química incluye los elementos: sílice, fósforo, nitrógeno, carbono y en su composición molecular contiene carbohidratos, lípidos, proteínas y aminoácidos. Su habitat es en la zona eufótica (capa superficial del agua hasta donde penetra la luz solar), está constituido principalmente por las clases chlorophyceae (algas verdes), bacillariophyceae (diatomeas), cianobacterias, Cryptophyceae, Dinophyceae (Alienes, 2014).

El fitoplancton cumple un rol muy importante en el ciclo biogeoquímico de los elementos, mediante la captación y asimilación (Guamán y González, 2016), que a través de épocas geológica captó el 99.5% del carbono emitido a la atmósfera por volcanes formando rocas y

materia orgánica sedimentaria Revelle (como se citó en Hernández de la Torre y Gaviola, 2007, p 11).

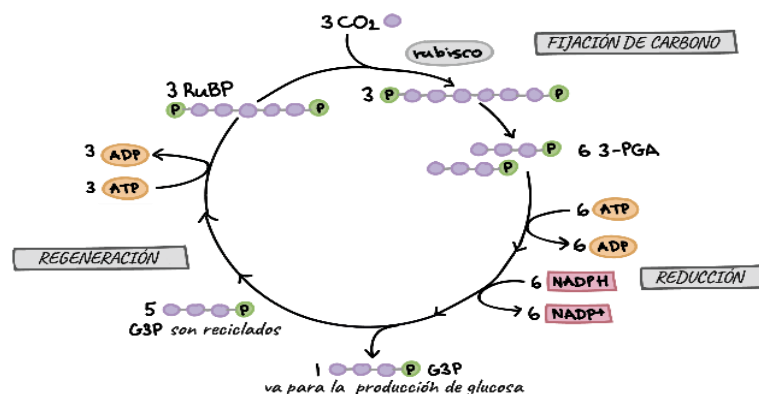
Esta captación lo realiza a través del proceso de la fotosíntesis, que de manera sencilla está representada en la siguiente ecuación:



Este proceso comprende dos fases: la fase luminosa se lleva a cabo en las membranas fotosintéticas de los cloroplastos donde la luz es captada por la clorofila mediante reacciones fotoquímicas y se convierte en energía química en forma de 2 moléculas ATP (Adenosin Trifosfato) y el NADPH₂ (Nicotinamida-Adenina-Dinucleótido-Fosfato) que es utilizada en la siguiente fase (Cervený et al., 2009 como se citó en Vieira et al., 2019). En la fase oscura ocurre en los estromas (espacio interior de los cloroplastos), aquí el ATP y NADPH₂ y la enzima ribulosa-1,5-bifosfato (RuBP) participan en la fijación del CO₂ mediante una serie de reacciones bioquímicas en el “Ciclo de Calvin” que finalmente se forma una molécula gliceraldehído-3-fosfato (G₃P), la cual se utiliza para producir diversos tipos de azúcares de seis carbonos como fructosa, glucosa (Murray, 2006 y Lee, 2008), como se muestra en la figura 10.

Figura 10

Fijación del dióxido de carbono en el ciclo de Calvin



Nota. Adaptado de OpenStax College, Conceptos de Biología.

(<https://openstax.org/books/concepts-biology/pages/5-3-the-calvin-cycle>) CC BY 4.0

De esta manera, el fitoplancton contribuye con la mayor parte de la fotosíntesis total del planeta y provee el 70% de oxígeno a la atmósfera

(Arredondo y Vásquez, 1991). Cabe indicar que la fotosíntesis, ocurre en su mayor proporción en el mar ya que este ocupa el 70% de la superficie terrestre y recibe casi las $\frac{3}{4}$ partes de la radiación solar, lo cual hace que sea el principal reservorio de CO₂, esto ocurre principalmente en la plataforma continental hasta el 30% de la producción primaria del océano (Costas y López, 2011). Sin embargo, también en los lagos, lagunas, pantanos, ríos el fitoplancton está presente y realiza la fotosíntesis por ende ocurre la captura del CO₂ (Montoya, 1974; Samanez y Zambrano, 1995; Cobos et. al., 2012; Mendoza, 2015; Cepeda, 2016; Chávez et. al., 2020).

3.1.3. La conversión del CO₂ a biomasa

El proceso de conversión del CO₂ a biomasa tanto en fitoplancton como en plantas es similar, donde el CO₂ captado o sea convertido en biomasa es el resultado de las diferencias entre el CO₂ atmosférico absorbido por el proceso de la fotosíntesis y el CO₂ emitido a la atmosfera por la respiración celular esta diferencia oscila entre el 42-50 % del peso seco (Martínez y Leyva, 2014).

La biomasa del fitoplancton es conocido como el peso por unidad de área especificado como peso seco, húmedo o carbono; o usualmente se considera la cantidad de clorofila por volumen de agua (ug/L) o como la cantidad contenida bajo un metro cuadrado de superficie (g/m²) (Alienes, 2014).

De acuerdo a un análisis estequiométrico en un mol de CO₂ contiene 12 gramos de carbono de los 44 gramos de masa (Chisti, 2007 como se citó en Boffil et al., 2012) entonces, por cada gramo de carbono en biomasa, se retira 3.666 g de CO₂ de la atmosfera (García Cubero, 2014). Así, un gramo de microalga contiene 0.5 gramo de carbono, entonces un 1 g de microalga fija 1,83 g de CO₂ (Buehner et al., 2009 como se citó en Boffil et al., 2012).

3.1.4. Métodos de estimación del contenido de carbono

A.- Método por producción de oxígeno “método de O₂”

Es conocido como "método de botellas claras y oscuras", se basa en la producción de oxígeno en una muestra de agua incubada bajo condiciones ambientales por un tiempo establecido. Para lo cual, al inicio se determina el oxígeno disuelto de la muestra de agua y una parte de agua es incubada en una botella clara (donde sucede la fotosíntesis) y la otra parte es incubada en una botella oscura (donde pasa la respiración). Después de la incubación de 2 a 4 horas, se determina la concentración de oxígeno en las muestras (Gocke y Hernández, 1994).

Los resultados son expresados en mgO₂/m³/hora (Roldan y Ramírez, 2008) y finalmente la conversión de masa de oxígeno en masa de carbono orgánico se aplica un cociente fotosintético (CF) de 1.2 y un cociente respiratorio de 0.84, determinando que 1 mg de O₂ liberado o consumido es igual a 0.313 mg de carbono producido o respirado (Gocke y Hernández, 1994). Entonces a un CF de 1.2 indica que una incorporación de 1000 moléculas de CO₂ se liberan 1200 moléculas de O₂, ello depende de la composición de la biomasa de los organismos fotosintéticos y de la fuente de nitrógeno (Parsons et al., 1984; Margalef, 1986).

B.- Método por producción de CO₂ absorbido “método de ¹⁴C”

Este método fue planteado por Steeman-Nielsen (Gocke y Hernández, 1994) quien señala que se basa en la utilización de NaH¹⁴CO₃, tiene como ventaja su alta sensibilidad, no requiere un factor de conversión mide directo el carbono orgánico, pero presenta desventajas como altos costos.

Así mismo, en TTimpo (2012) menciona que la estimación del contenido de carbono se realiza a través del método de Walkley y Black (1934) y del método del poder calórico

C.- Método de Walkley (1934)

El método de Walkley consiste en que la materia orgánica es oxidada con una mezcla de dicromato de potasio (K_2CrO_7) más ácido sulfúrico (H_2SO_4). La dilución concentrada se calienta con H_2SO_4 y K_2CrO_7 en la fuente de exclusiva de calor. El exceso de K_2CrO_7 , se determina por titulación con sulfato ferroso ($FeSO_4$) o con sulfato amonio férrico $(NH_4Fe)^2(SO_4)^3$. Este método proporciona una estimación fácil oxidable de carbono orgánico y es usado con una medida de carbono orgánico total.

El porcentaje de materia orgánica es igual al porcentaje de carbono orgánico multiplicado por el factor de 1.724 porque la materia orgánica contiene el 58% de carbono. Por lo tanto:

$$\%Carbono = \%Materia\ orgánica / 1.724$$

D.- Método del poder calórico

Este método está basado en los principios de leyes de la termodinámica, donde se calcula la cantidad de energía que se requiere para fijar 01 mol de carbono; se realiza con ayuda de un calorímetro de Parr, se sigue los procedimientos de las ASTM (1973), para combustibles sólidos, obteniendo de cada muestra la cantidad de energía total en Kcal/Kg, se transforma a moles de carbono potencial fijado utilizando la relación mol (g/peso molecular) y con el peso de la muestra inicial se determinará la fracción del carbono fijado.

E.- Método indirecto por espectrofotometría

Este método permite determinar la biomasa por la cantidad de clorofila "a" presente en el fitoplancton, a través de lecturas de absorción de luz en un espectrofotómetro a una longitud de onda específica, se expresa en mg/m^3 , ug/L o ug/m^3 (Roldan y Ramírez, 2008). Así mismo, Hernández de la Torre y Gaxiola (2007) señala que conociendo la concentración de clorofila y cómo cambia en el tiempo es posible inferir el contenido de carbono y su tasa de producción. La estimación se realiza mediante el método tricromático de acuerdo a la ecuación de Jeffrey y

Humphrey, 1975 como se citó en Aminot y Rey, (2002) y el cálculo de clorofila-“a” a carbono se realiza mediante la ecuación de Thompson (2006, como se citó en Rodríguez y Ake, 2016).

3.1.5. Valoración económica

La ciencia económica busca establecer la contribución económica de los bienes o servicios que un ecosistema puede aportar a la sociedad. De allí, que la valoración económica es una herramienta que se utiliza para cuantificar, en términos monetarios, el valor de los bienes y servicios ecosistémicos, independientemente de si estos cuentan o no con un precio o mercado. Cuya finalidad es visibilizar todos aquellos beneficios o costos asociados a los cambios en los ecosistemas y que afectan el bienestar humano, de manera que estos valores económicos puedan ser integrados en la toma de decisiones, para diferentes fines, entre ellos: Aumentar la conciencia ambiental, análisis costo beneficio, planificación y diseño de políticas, regulación ambiental, mecanismos de financiamiento, contabilidad nacional (MINAM, 2016).

3.1.6. Valor económico de los humedales

Desde la década de 1970, se ha hecho mayor hincapié de los humedales en forma genérica es recurso natural muy valioso que ofrece una gama de bienes y servicios que derivan de su funcionamiento (Maltby & Acrema, 2011).

La Convención Ramsar 1971 dio a conocer el papel vital del hábitat de los humedales y su conectividad con las fronteras nacionales y continentes para la conservación de hábitat de aves migratorias especialmente aves acuáticas. En 1987 la convención de la conferencia de las partes en Regina (Canadá) designaron criterios y requisitos para el humedal sea considerado de importancia internacional y su uso sea racional (Maltby 1991 y 2006 como se citó en Maltby & Acreman, 2011).

La existencia de un marco conceptual completo para uso racional de los humedales y el mantenimiento de sus características ecológicas, permiten reconocer el VALOR que tiene los humedales para las

comunidades en la explotación de sus recursos y servicios de manera sostenible (Maltby & Acreman, 2011). De allí la necesidad de diferenciar entre precio y valor, el precio de un producto o servicio es la cantidad de dinero que pagamos por él; mientras que valor es el beneficio o la utilidad que se obtiene si adquirimos ese producto o servicio, entonces el valor económico proviene del nivel de satisfacción de un bien y servicio que lo genera a una persona (MINAM, 2015a).

Según Barbier et. al., (1997) el concepto de valor económico total es el que más conviene emplear en humedales, el cual distingue entre valores de uso y valores no de uso. Los primeros se dividen en directos e indirectos. Los valores de uso directo, es derivado de la utilización directa de los recursos y servicios de un humedal como el valor de la pesca, la recogida de leña, recreación, transporte, explotación de la flora y fauna silvestre, etc. Y los valores de uso indirecto, es donde no hay interacción del hombre con el recurso, ejemplo: retención de nutrientes, control de crecida/ inundaciones, protección contra tormentas, recarga de acuíferos, estabilización de microclima, estabilización de líneas de costas, etc. Dentro de los valores de uso indirecto podemos encontrar: Valor de opción y valor de cuasiopción. Mientras que los valores de no uso, está el valor de existencia, es el valor intrínseco “por derecho propio de existir”, es difícil de medir, pues dimana de apreciaciones subjetivas ajenas al uso actual o potencial propio o de terceros; y valor de legado constituyen un importante subconjunto de valores o conservación que asignan un alto valor a la conservación de los humedales para que sean utilizados por las generaciones futuras.

3.1.7. Métodos de valoración

Se han desarrollado diversos métodos de valoración económica con el objeto de cuantificar de forma parcial o integral el valor económico de un bien o servicio ecosistémico. En la tabla 3, se indica los principales métodos de valoración económica (MINAM, 2016).

Tabla 3*Principales métodos de valoración económica*

Métodos	
Método basado en valores de mercado	Precio de Mercado
Método basado en preferencias reveladas	Cambio en la Productividad Costo de Viaje Precios Hedónicos Costos Evitados
Método basado en preferencias declaradas	Valoración Contingente Experimento de Elección
Otros enfoques de Valoración económica	Transferencia de Beneficios

Nota. MINAM (2016, pg.30)

Entre estos métodos, el método de valoración económica acorde con el presente estudio fue el Método de precios de mercado, que consiste en determinar el beneficio monetario vinculado a un bien o servicio ecosistémico; el cual es obtenido a partir de información de mercado como precios y costos (MINAN, 2015a) y utiliza los precios de un mercado nacional o internacional ya existente (MINAN, 2016).

3.1.8. Mercado de carbono

Los problemas ambientales condujeron a una primera iniciativa sobre el cuidado del medio ambiente en 1972 en Estocolmo, Suecia; pero con más interés fue en la “Cumbre para la tierra” (Rio de Janeiro, 1992) donde los representantes se reunieron y pudieron entender, que el aspecto social, económico y ambiental deben actuar como unidad y su cuidado también debe verse de forma integral, donde se planteó acuerdos internacionales sobre el medio ambiente y desarrollo. Dentro de entre ellos está la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1994). Más adelante, el Protocolo de Kyoto (1997) que se

otorgó compromiso de reducir sus emisiones. Para el 2003 inicia el Sistema de Comercio de la Unión europea (EU-ETS) con el propósito de cumplir sus compromisos. Ya, con el Acuerdo de París (2015) los países optaron un mayor compromiso de impulsar el desarrollo en armonía con el medio ambiente. Tras el marco de los acuerdos internacionales nace la compensación de carbono y se afirma el mercado de carbono.

El mercado de carbono es un sistema de comercio donde se vende o adquiere unidades de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), denominados bonos o créditos de carbono (Eguren, 2004; FAO, 2010).

Existen dos tipos de mercados de carbono: El mercado de cumplimiento regulado y el mercado voluntario; el primero es utilizado por empresas y gobiernos que, por ley, tienen que rendir cuentas de sus emisiones de GEI. Está regulado por regímenes obligatorios de reducción de carbono, ya sean nacionales, regionales o internacionales (FAO, 2010). Se mueve bajo el Sistema de Comercio de la Unión europea (EU-ETS) y sus compromisos son efectuados según el Protocolo de Kyoto que plantea tres mecanismos flexibles:

a). El comercio Internacional de Emisiones (ICE) entre países industrializados, compran los derechos de emisión a países que están por debajo de sus cuotas. Su unidad es Unidad de Cantidad Asignada (AAUs, por sus siglas en inglés)

b). La Implementación Conjunta (IC) entre países desarrollados, permite acreditar unidades de reducción de emisiones a favor del país que invierte. Cada unidad se denomina Unidad de Reducción de Emisiones (EUR, por sus siglas en inglés).

c) El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es el único mecanismo que involucra a países en desarrollo y permite obtener beneficios económicos por la venta de Certificados de Emisiones Reducidas (CER) (FAO, 2010).

Las CER se comercializan como toneladas de CO₂, es decir 01CER es igual 01 bono de carbono y esto a 01 tonelada de CO₂ que se realizan a través de implementación de proyectos (Manzur y Alva, 2013).

Mientras que, en el mercado voluntario, es donde las entidades voluntariamente se comprometen a reducir sus emisiones. El comercio de créditos de carbono se denominan Reducción Verificada de las Emisiones (VER, siglas en inglés) y son adquiridos por el sector privado de los proyectos, de las empresas o de los fondos de carbono como el caso de Fondo de Biocarbono del Banco Mundial (FAO, 2010). Este mercado, está regido por cuatro mecanismos más grandes: el American Carbon Registry (ACR), la Reserva de Acción Climática (Climate Action Reserve), el Gold Standard y Verified Carbon Standard (VCS, Estándar Verificado de Carbono), cada unidad de reducción verificada es igual a una tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) (Banco Mundial, 2020 p. 61).

Así mismo, el precio de carbono es un mecanismo a través del cual los países establecen un valor monetario a las emisiones de CO₂ con el fin de ser responsables y pagar por la contaminación que emiten. El interés a nivel mundial es reducir de manera rentable, pero los precios a las emisiones de CO₂ son bajos; el Fondo Monetario Internacional (FMI) calculó el precio medio mundial de solo USD 2/tCO₂e (Banco Mundial, 2020). Por ello, según el Banco Mundial (2017) señala que el precio por tonelada de CO₂ estaría entre USD 50-100/tCO₂ para 2030, precios que según la Comisión de Alto Nivel sobre los precios del carbono son congruentes con la meta relativa a la temperatura establecida en el Acuerdo de París.

Así, en el resto del mundo, cerca de 58 países han incorporado a sus legislaciones un precio al carbono; mientras que en América Latina los países que incorporaron precios al carbono fue México, Colombia, Chile, Argentina (Pizarro, 2021). También Perú, se estableció un precio social al carbono de US\$ 7.17 por tonelada de CO₂ según el MEF, (2021); Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico, (2016); Congreso de la República, (2020).

¿Quiénes financian la generación de créditos de carbono?

Los créditos de carbono son generados por la implementación de proyectos que son realizados según los estándares aprobados según el mercado regulado o voluntario, para lo cual se une fuerzas entre instituciones públicas o privadas, institución financiera e institución técnico científica.

A nivel mundial se ha desarrollado varios proyectos, programas de reducción de emisiones de carbono y el financiamiento lo realiza un grupo de bancos multilaterales como Banco Mundial de Desarrollo (BMD) que apoyan cada año, Banco Asiático de Desarrollo (BAsD), Banco Europeo de Reconstrucción de Desarrollo (BERD), así también el grupo del Banco Mundial (BM) través de distintos fondos como: Carbon Initiative for Development (CiDev, por sus siglas en inglés), Transformative Carbon Asset Facility (TCAF), Fondo Climático de Bután (Bhutan Climate Fund), Fondo del Biocarbono (BioCarbon Fund Initiative for Sustainable Forest Landscapes, ISFL) (Banco Mundial, 2020).

¿Cuál es la tendencia del mercado de carbono?

A nivel mundial el mercado de carbono se mueve bajo mecanismos de fijación de precio de carbono que son: Impuesto al carbono, sistema de comercio de emisiones (SCE), mecanismos de créditos de compensación, financiamiento climático, fijación de precio interno de carbono. Dentro de los Mecanismos de Compensación esta: Mecanismo Internacional de Compensación (ejemplo: MDL y IC), Mecanismo de compensación Independiente (ejemplo: Gold Standard y Estandar de Reducción Verificadas-VCS), Mecanismo de compensación regional, nacional e internacional (Banco Mundial, 2020).

En el mercado regulado, los Mecanismo de compensación del Protocolo de Kyoto, fueron los que emitieron mayor crédito de carbono, el Mecanismo de Desarrollo Limpio con más del 50% e Implementación Conjunta con 22% del total mundial acumulado. Sin embargo, en los últimos años ha ido disminuyendo, debido a la falta de claridad regulatoria.

Mientras que, en el mercado voluntario, los mecanismos independientes (principalmente el VCS) han crecido significativamente en los últimos años y en 2019 fueron responsables del 65 % de los créditos emitidos por año (Banco Mundial, 2020 p. 54).

En el Perú, en los últimos años el mercado voluntario es el más desarrollado a través del mecanismo de Estándar de Reducción Verificadas (VCS) y la emisión de créditos de carbono se ha centrado en proyectos forestales de REDD (Emisiones derivadas de la Deforestación y Degradación de los bosques) y REDD+ (Reducción de las Emisiones derivadas de la Deforestación y la Degradación de los bosques, la conservación y aumento de las reservas de carbono y el manejo forestal sostenible) en Áreas Naturales Protegidas: el Parque Nacional Cordillera Azul (San Martín, Loreto, Ucayali y Huánuco), la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene (ambos Madre de Dios) y el Bosque de Protección Alto Mayo (San Martín) (Dilas et al.,2020).

3.1.9. Importancia de los humedales frente al cambio climático

A.- Humedales

Existen varias definiciones de humedales más precisas que otras, pero todas ellas muy similares y complementarias entre sí. La Convención Ramsar define a los humedales como; extensión de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros (Roldan y Ramírez, 2008; Ramsar, 2006).

B.- Tipos de humedales

Roldan y Ramírez, (2008) hace mención la “clasificación de los humedales según la Convención Ramsar basada en un sistema de niveles jerárquicos, pero, en esta oportunidad se hace mención según Barbier et. al., (1997) cinco sistemas: 1. Estuarios, ejemplo como deltas, bancos fangosos y marismas; 2. Marinos, por ejemplo, litorales y arrecifes

de coral; 3. Fluviales ejemplo tenemos las llanuras de inundación, bosques anegados, lagos de meandro; 4. Palustres tenemos los pantanos de papiro, marismas, ciénagas; y 5. Lacustres ejemplo las lagunas, lagos glaciales y lagos de cráteres de volcanes.

C.- Funciones de humedales

Los humedales intervienen en las siguientes funciones:

Función física: Regulación del ciclo hídrico superficial y de acuíferos, retención de sedimentos, control de erosión, estabilización microclimática.

Función química: Regulación de ciclos de nutrientes (retención, filtración y liberación), descomposición de biomasa terrestre y la captura del CO₂.

Funciones sociales: Son sistemas productores de recursos hidrobiológicos y de soporte para la acuicultura que conforman base de la economía extractiva, la pesca artesanal, la caza, la recolección, el pastoreo y la agricultura en épocas de estiaje (Roldan y Ramírez, 2008; Kandus et. al., 2010).

D.- Servicios ecosistémico en humedales

Los servicios ecosistémicos son bienes y servicios que ofrecen a la humanidad (Constanza et. al, 1997) como aire limpio, agua, alimentos y materiales (Maltby & Acreman, 2011), estos servicios son activos naturales (Barbier, 2011) y tienen un alto valor económico (Barbier, et al.,1997).

Según Ramsar, (2018a) los humedales brindan tres principales servicios culturales (recreación, ecoturismo, etc), de abastecimiento (materia prima, peces, agua, recursos médicos, energía hidroeléctrica) y de regulación (secuestro de carbono, purificación del agua, protección costera, descomposición de residuos orgánicos, mitigación de inundaciones) como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4*Servicios ecosistémicos de los humedales (Ramsar, 2018a)*

Servicio Cultural	Servicio de Abastecimiento	Servicio de Regulación
Sitios sagrados y sitios espirituales	Peces y otros alimentos	Secuestro de carbono
Recreación	Materia prima: Madera, piensos, pieles	Purificación del agua
Turismo y ecoturismo	Recursos genéticos	Regulación de los flujos de agua
Monumentos y tradiciones culturales	Abastecimiento de agua	Mitigación de las inundaciones
	Recursos médicos	Protección costera
	Energía hidroeléctrica	Descomposición de residuos orgánicos

Nota: Adaptado "Perspectivas mundiales sobre humedales" Ramsar (2018a), MEA, (2005)

En particular, el humedal los Pantanos de Villa presenta los siguientes servicios ecosistémicos: a) de Regulación: Aire puro, regulación hídrica, biorremediación, barrera de tsunamis y regulación de la temperatura; secuestro de carbono y almacenamiento de CO₂, erosión del suelo y aporte de nutrientes. b) de Abastecimiento y provisión: Fibra de junco y totora, y c) de Cultura: Belleza paisajística, formación de valores, medio de sanación, recreación, educación y ecoturismo y d) de Apoyo y soporte: Hábitat de flora y fauna (PROHVILLA, 2019).

Los bienes y servicios que proveen los humedales a la sociedad dependen del mantenimiento de las funciones ecosistémicas de los mismos, y esto es responsabilidad de un trabajo en unidad (Moya et al., 2005). Tanto el estado como cada uno de nosotros.

E.- Impacto del cambio climático en humedales

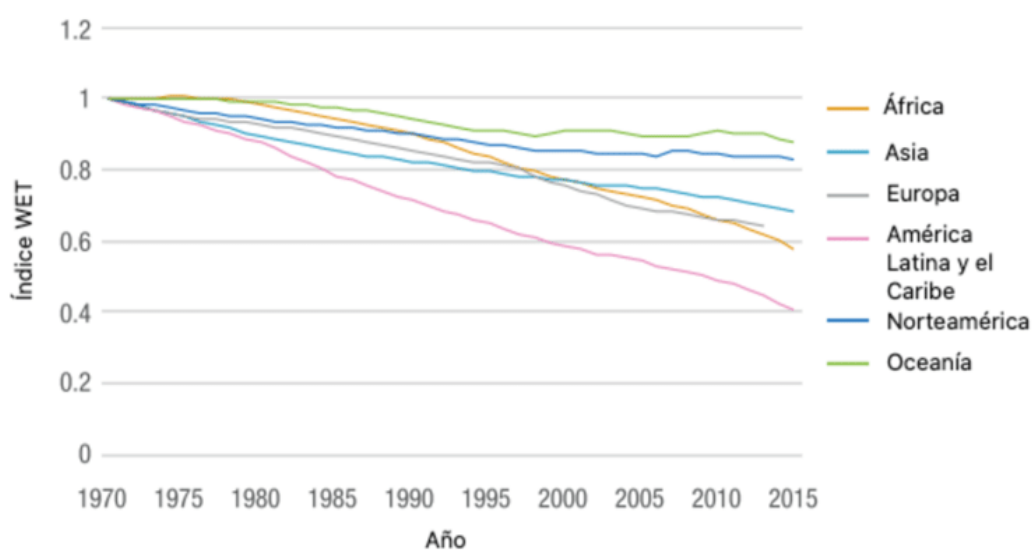
A nivel mundial, los humedales cubren más de 12.1 millones de km² de los cuales el 93% son continentales y 7% son marinos y costeros (Ramsar, 2018a). Hace más de una década, Moya et al., (2005), señalan que el cambio climático, provocará impactos en los humedales como

afectación en las funciones ecológicas, pérdida de la biodiversidad, pérdida de hábitat, disposición de nutrientes, aumento de la erosión costera, entre otros; en muchos casos con impactos irreversibles.

Según el análisis del centro mundial de vigilancia de conservación de ONU Medio Ambiente (WCMC ONU, 2017, como se citó Ramsar, 2018a; IPBES, 2019) a nivel mundial, los humedales naturales tanto marinos/costeros y continentales estudiados entre 1970-2015 tuvo una disminución de aproximadamente un 35%. Con una tasa media de $-0,78\%$ al año de pérdida, estimada por el índice WET (El índice WET, determina la tendencia del área de los humedales a través del tiempo); que es más de tres veces superior a la tasa media anual de pérdida de bosques naturales ($-0,24\%$ al año) entre 1990 y 2015 (FAO, 2016) como se muestra en la figura 11.

Figura 11

Cambios en la extensión de humedales a nivel mundial



Nota. Adaptado de índice de la tendencia de la extensión de los humedales (WET) de Dixon et al., (2016) como se citó en Vásquez, (2020), Ramsar, (2018a).

Ramsar, (2018a) señala según la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) que evalúa el nivel de amenaza de extinción de las especies de flora y de fauna, constata lo siguiente: De más de 19 500 especies dependientes de los humedales evaluadas en todo el mundo el 25% está amenazada de

extinción. Ello, corroborado con el índice de la Lista Roja (RLI, por sus siglas en inglés), señala que las tendencias del RLI son negativas para los cuatro grupos taxonómicos anfibios (100.6%), mamíferos, aves (6.9%), y corales en el periodo 1988-2004 (Butchart et al., 2007).

Ello también se refleja en la reducción de sus servicios ecosistémicos, así, Costanza et al., (2014) señalaron, cambios en el uso de la tierra entre 1997 al 2011 han resultado una pérdida de servicios ecosistémicos que va entre 4.5 a 20.2 billones/año, incluido los servicios de los humedales para el caso de pantanos y llanuras de inundación las pérdidas fueron de 2.7 billones/año.

¿Qué está haciendo nuestro país al respecto?

Nuestro País, ha iniciado su interés por cuidar, proteger estos ecosistemas acuáticos bajo enfoques de la Ley Marco N° 302754 (LMCC) en la Mitigación y adaptación basada: en conocimientos tradicionales, en cuencas hidrográficas, en ecosistemas, en la conservación de reservas de carbono, tal como se señala en el Art. 3 de la LMCC. De tal manera que contribuyen al incremento de la resiliencia de los humedales.

En concordancia con la estrategia nacional de humedales y las disposiciones generales para la gestión multisectorial y descentralizada de los humedales (D.S. N° 006-2021-MINAM) con el fin de apoyar en las metas establecidas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en el Protocolo de Kyoto (D. S. N° 080-2002-RE), que tiene como objetivo la reducción de las emisiones de GEI de los países industrializados a un nivel inferior en no menos de 5%; y en el Acuerdo de Paris, ratificado el 2016 (D. S. N° 058-2016-RE), que tiene el objetivo de mantener el aumento de la temperatura media mundial muy debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de temperatura a 1.5°C.

El Perú, ha propuesto reducir el 20% de emisiones de gases de efecto invernadero al 2030 con recursos públicos y privados y 10% adicional condicionado al apoyo internacional. Teniendo resultados de

haber elaborado un total de 91 medidas de adaptación y 62 medidas de mitigación frente al cambio climático, de los cuales podemos mencionar algunas:

- Protección para los servicios de almacenamiento, provisión y distribución de agua para riego
- Conservación, recuperación y/o protección de la infraestructura natural.
- Restauración de ecosistemas en el ámbito del SINANPE para mantener la conectividad del paisaje y reducir impactos.
- Prácticas sostenibles para la conservación de ecosistemas en cuencas hidrográficas del ámbito de las Áreas Naturales Protegidas.
- Sistema de vigilancia y control en Áreas Naturales Protegidas para reducir la vulnerabilidad ante los efectos climáticos y no climáticos (MINAM, 2019).

Específicamente en el humedal Pantanos de Villa el organismo público descentralizado de la Municipalidad Metropolitana de Lima (PROHVILLA) en el año 2020 promulgó la Ordenanza N°2264-MML, “Zona de Reglamentación Especial de los Pantanos de Villa (ZRE PV)”, con el objetivo de promover la conservación y el desarrollo sostenible del entorno territorial del humedal. Logrando a través de instrumentos de gestión para la ZRE PV los siguientes planes: (1) Comunicación, educación, concientización y participación de la Autoridad Municipal de los Pantanos de Villa 2020-2024, (2) Plan de control y vigilancia en la ZRE PV, (3) Plan de recuperación de infraestructura hídrica de la ZREPV, el cual comprende 12 canales, 3 puquiales y 1 relicto de humedal de aproximadamente 7 ha (Municipalidad de Lima, 2021 p.68).

F.- Humedales en el Perú

En el Perú, los humedales presentan una superficie total de 7 953, 191 hectáreas (ha), y están distribuidos en cuatro unidades 1) Aguajales y pantanos; y 2) Manglares. 3) Bofedales y 4) humedales costeros; estos últimos presentan una extensión de 12173 ha equivalente al 0.15% del total de humedales del país (MINAM, 2015b, p.13). ProNaturaleza (2010, p.32) registro un total de 92 humedales costeros de los cuales 56 naturales, 11 artificiales, 11 extinguidos y 14 desembocaduras de ríos. En superficie, según el mapa nacional de ecosistemas del Perú, los humedales costeros abarcan 0.04% (57,285.04 ha) del territorio nacional (MINAM, 2019 p.89).

Del total de humedales en el país, existen 13 sitios Ramsar designados como humedales de importancia internacional, con una superficie de 6 784,041 hectáreas, dentro de ellos está la zona reservada los Pantanos de Villa con un área de 263.27 ha (Ramsar, 2018b, MINAM, 2015b).

G.- Humedal Pantanos de Villa

El humedal Pantanos de Villa, su nombre alude a la hacienda Villa que existió hace muchos años. Desde 1977 fue incluido en el Parque Zonal N° 25 de Lima Metropolitana. A fines de la década de los 80 fueron considerados de importancia local por la Municipalidad de Chorrillos. El 29 de mayo 1989, fue reconocida, como zona reservada de los pantanos en villa mediante Resolución Ministerial N° 0144-89-AG-DGFF por el Ministerio de Agricultura (León et. al.,1995). El 20 de enero 1997 fue considerado como un Sitio Ramsar N° 884 de importancia Internacional [Instituto Nacional Recursos Naturales (INRENA),1998]. En 01 de setiembre del 2006, a través del Decreto Supremo N°055-2006-AG, la zona reservada de los Pantanos de Villa cambia de categoría a Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa, y lo integra al Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE). Este humedal, cuenta con una jefatura del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), conformada por un jefe,

especialistas y guardaparques. Asimismo, dentro del Área Natural Protegida (ANP) existen 4 propietarios, los cuales se encontraban antes que fuese declarada ANP, siendo el Servicio de Parques de Lima (SERPAR), el que mayor extensión de hectáreas administra, con casi el 80% del total. Actualmente la Autoridad Municipal de los Pantanos de Villa (PROHVILLA), por convenio con SERPAR es quien administra este espacio denominado Área Ecológica Metropolitana Pantanos de Villa, en el cual realiza las actividades de (1) Educación ambiental, (2) Investigación científica y (3) Ecoturismo como un medio para la conservación del área (Municipalidad Lima 2021, p. 67; Ramírez y Cano, 2010, p. 111).

Origen

El humedal Pantanos de Villa, se origina por afloramiento de aguas subterráneas del acuífero ubicado en la parte baja de la intercuenca 1375539, entre las cuencas Rímac y Lurín. Por estar cerca al litoral, recibe también los aportes de filtraciones de agua de mar en una zona de mezcla (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico [INGEMMET], 2019).

Ubicación y Acceso

Este humedal costero abarca un área de 263.27 hectáreas, localizada entre las coordenadas UTM 282515.54 – 8650654.57 y 284666.50 – 8647533.50, ubicada en el distrito de Chorrillos, provincia de Lima, departamento de Lima (Ordenanza N°2264, 2020 pg.28). El acceso, es por vía terrestre, por la Av. Huaylas (antigua Carretera Panamericana Sur entre los kilómetros 19 y 22), a 1 hora y 30 minutos de la ciudad de Lima.

Superficie:

Se estima que, a principio del siglo XX, la extensión del humedal Pantanos de Villa abarco 2000 ha (Lizarzaburu, 1992), las que se fueron reduciendo por acción humana, ya para 1989 se registró una superficie de 396 ha, y actualmente presenta 263.27 hectáreas (SERNANP, 2016;

Ordenanza N°2264, 2020). Por motivos de protección presenta dos zonas: la Zona de Amortiguamiento (ZA PV), esta es adyacente al humedal Pantanos de Villa, tiene un área 10.3 km², y la segunda con mayor influencia territorial la Zona de Reglamentación Especial de los Pantanos de Villa (ZRE PV) tiene una extensión de 2,572 hectáreas según el artículo 3 de la Ordenanza N°2264 -2020-MML.

Limites

Norte : A.H. Sagrada familia, A.H. Las garzas de Villa, Urb. Huertos de Villa, Urb. La entrada.

Sur : Club Hipido de Perú

Este : Cerro las delicias de Villa

Oeste : Océano Pacifico

Características del humedal Pantanos de Villa

• Características abióticas

Según su geología, se ubica dentro de una depreciación plana de 1530 has, entre 0 y 5 m. s.n.m. rodeado de colinas de 100 a 300 m.s.n.m. (Morro solar, Cerro Zig. Zag., Lomo corvina) y una línea de playa recta, presenta una profundidad máxima de 1,5 m en los espejos de agua (INRENA, 1998; Pulido y Bermúdez, 2018).

Presenta un suelo formado por un material arcillo-arenoso, limo-arcilloso o limo-arenoso, de drenaje lento y afloramiento de la capa freática muy cerca de la superficie y con un escurrimiento superficial lento, siendo susceptibles a inundación, y presenta alta salinidad entre 11 ppm a 60 ppm (León et al., 1995; INGEMMET, 2019).

Respecto a su hidrología, este humedal, está integrado al sistema hidrológico de la cuenca del río Rímac, a través del acuífero Ate-Surco-Chorrillos en una depresión natural, las características de porosidad, permeabilidad permite el flujo de agua del acuífero (Municipalidad de Lima, 2022). Así mismo, llegan también, aguas subterráneas del río Rimac

a través del canal surco (norte a sur) denominado cuello de Villa, y de la quebrada de San Juan de Miraflores, (INRENA,1998). Este canal, es contaminado por agua residuales de los asentamientos humanos que están alrededor (INGEMMET, 2019; Municipalidad de Lima, 2022).

Presento nueve ojos de agua o manantiales (INRENA, 1998), pero actualmente se registran tres fuentes naturales de agua subterránea dominados: Manantial de Palmeras, Villa Baja y Miramar que están ubicados en la Zona de Reglamentación Especial de los Pantanos de Villa (ZRE), que alimentan con agua a la laguna como ANAP, Génesis, Marvilla y Mayor a través de infraestructura hidráulica natural: Canal Horticultores 1 y 2, Canal Ganaderos 1 y 2, Canal Palmeras, Canal Vista Alegre 1 y 2, Canal Lucchetti, Canal Génesis, Canal Defensores 1 y 2, Canal Sur, Canal Marvilla 1 y 2, Canal Premio Real y Canal Sangradero. Mientras que la laguna delicias, es formada y alimentada por afloramiento de aguas subterráneas in situ (Ordenanza N°2264, 2020).

Estos afloramientos, ayudan a mantener el nivel freático en el humedal Pantanos de Villa, tal como muestra el registro de los piezómetros realizado por PROHVILLA en el año 2020, donde el nivel freático promedio anual estuvo entre 2.2 cm hasta 230.273cm de profundidad (Municipalidad de Lima, 2022, p.37-38). El agua es salobre, con una salinidad promedio de 1,6400 ppm, pH ligeramente básico (INRENA,1998), con un alto valor de conductividad eléctrica (CE) 10090 Us/Cm, ello debido a los aportes de agua del mar (INGEMMET, 2019).

El clima es desértico, con algunas particularidades típicas de los desiertos tropicales asociados con corrientes marinas frías (Young, 1998, como se citó en Pulido y Bermúdez, 2018). Presenta un cielo despejado durante las estaciones de primavera y verano, temperatura media mensual varía máximos en marzo 25.8 °C, y 15.6 en setiembre, con una humedad relativa media 86%, una precipitación mensual promedio oscila entre 0.0 mm a 5.5 mm. Se registra valores máximos de 9 horas y mínimos de 0.5 horas sol (Lizarzaburu, 1992; León et. al., 1995; Pulido y Bermúdez, 2018), tal como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5*Parámetros meteorológicos del humedal Pantanos de Villa*

Parámetros	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	15.6 °C Setiembre	25.8 °C en Marzo
Precipitación promedio mensual (mm)	0 mm	5.5 mm
Humedad relativa media (%)	76% en febrero	92% en agosto
Evaporación mensual (mm)	30 mm entre junio a setiembre	225 mm entre enero a marzo
Horas de sol (h)	0.50	9.00

Nota: Datos de Lizarzaburu, (1992); León et. al., (1995); Pulido y Bermúdez, (2018)

- **Características bióticas**

La flora está caracterizada por cuatro asociaciones vegetales: (a) Totorales: ocupa el suelo inundado y borde de espejo, la especie más dominante *Typha domingensis*. (b) Zona arbustiva: con apariencia de un matorral denso. (c) Vega ciperáceas: son hierbas de 0.5 a 1 m de alto entre ellas *Scirpus americanus*. (d) Gramadales, caracterizada por presencia de *Distichlis spicata* “grama salada”, además de plantas acuáticas como *Pisria strariotes* “Repollito de agua”, *Eichhornia crassipes* “Jacinto de agua”, *Azolla filiculoides* “Helecho acuático”, *Lemna minuta* “Lentejita de agua”. Esta cobertura vegetal se alimenta de nutrientes del subsuelo, rico en sales y materia orgánica acumulada a través de muchos años (León et. al., 1995; Young, 1998, como se citó en Pulido y Bermúdez, 2018).

Respecto a algas en el humedal Pantanos de Villa, Montoya (1984) evaluó diversos grupos entre ellas Bacillariophyceae, Cyanophyceae y Chlorophyceae. También Cepeda, (2016) registro 29 taxas fitoplanctónicas, las que se distribuyeron en 20 familias, 7 órdenes y 3 divisiones.

En fauna, presenta 13 especies de peces (pez dorado, gupy, mojarra, lisa, tilapia, carachita, mullis, guavina etc) y 23 familias de insectos, murciélagos, roedores, lagartijas, culebras, sapo (Ministerio de Agricultura, 1996 y INRENA,1998). Según el registro actual, existe un total de 211 especies de aves, 97 son residentes y 114 provienen de otras latitudes, de estas últimas 82 son migratorias de la Región de Neartica, Austral, Andes y 51 son visitantes ocasionales que llegan de otras regiones del Perú (Pulido, 2018). Dentro de algunas especies *Anas bahamensis* “pato alabanco”, el *Podylimbus podiceps*, “zambullidor”, *Tachuris rubrigastra* “siete colores de la totora”, *Pelecanus thagus* “pelícano peruano” ...y aves de Neartica *Leucophaeus pipixcan* “gaviota de Franklin”, muy abundante durante el verano, aves de la zona de Austral “Pingüino de Humboldt”, (Ministerio Agricultura, 1996; Pulido y Bermúdez, 2018). Distinguiéndose este humedal como una zona de alimentación, reproducción, albergue, descanso y refugio de diferentes animales.

- **Característica social**

En la tabla 6, se muestra que la zona de mayor influencia territorial a la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, corresponde a la Zona de Reglamentación Especial de los Pantanos de Villa (ZRE PV) que comprende 141 pueblos, de los cuales, en el distrito de Chorrillos se encuentra el mayor porcentaje de pueblos y/o agrupaciones poblacionales (75.89%), vivienda (86.52%) y manzanas (85.01%) (Municipalidad de Lima, 2022) de acuerdo a los límites censales del INEI en 2017 (INEI, 2019a).

Tabla 6

Distribución de pueblos, vivienda y manzanas de la ZRE PV

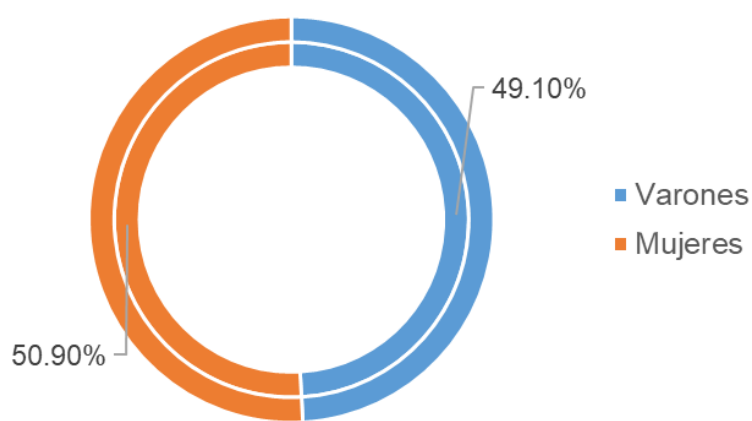
Parte de distritos	N° Pueblos	%	N° Vivienda	%	N° Manzanas	%
Chorrillos	107	75.89	39817	86.52	1571	85.01
San Juan Miraflores	28	19.86	3481	7.56	163	8.82
Villa Salvador	6	4.26	2725	5.92	114	6.17
Total	141	100	46023	100	1848	100

Nota: Datos registrados en Municipalidad de Lima, (2022)

En la figura 12, se muestra que según el Censo de Población y Vivienda 2017 del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), la Zona de Reglamentación Especial de los Pantanos de Villa, cuenta con un total de 201,982 habitantes, de los cuales 99,182 hab. (49.10%) fueron varones y 102,800 hab. (50.90%) corresponde a mujeres (Municipalidad de Lima, 2022).

Figura 12

Característica de la población según sexo

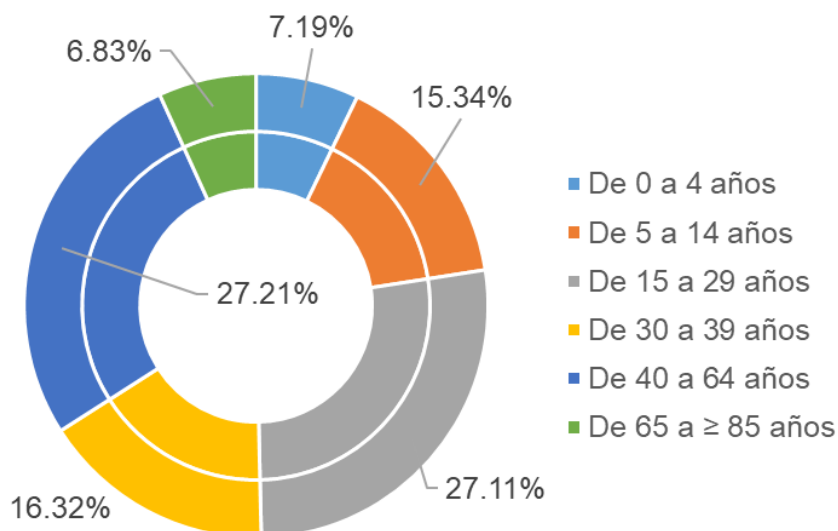


Nota: Datos registrados en Municipalidad de Lima, (2022)

Así mismo, en la figura 13 se indica la distribución poblacional según edades de 0 a 4 años (14 521 hab.), de 5 a 14 años (30,979 hab.), de 15 a 29 años (54,766 hab.), de 30 a 39 años (32,955 hab.), de 40 a 64 años (54,969 hab.) y de 65 a mayor de 85 años (13 792) mostrándose mayor población entre 40 a 64 años (27.21%), según el Censo de Población y Vivienda 2017-INEI (Municipalidad de Lima, 2022; INEI, 2019a).

Figura 13

Distribución poblacional según edades de la ZRE Pantanos de Villa



Nota: Datos registrados en INEI, 2019a.

Respecto a la educación de la ZRE PV cuenta con 166 instituciones educativas de las cuales 36 son estatales y 130 son particulares; de acuerdo a los límites referenciales censales del INEI en el distrito de Chorrillos se ubican 34 instituciones educativas estatales y 116 particulares; en el distrito de San Juan de Miraflores 2 instituciones educativas estatales y 4 particulares, y en el distrito de Villa El Salvador solo se encuentran 10 instituciones particulares (Municipalidad de Lima, 2022).

Según los datos del Censo 2017, el nivel educativo específicamente del distrito Chorrillos presenta un mayor porcentaje a nivel secundario y superior como se muestra en la tabla 7, y una tasa de alfabetismo fue de 1,6% (INEI, 2019a).

Tabla 7*Nivel educativo alcanzado por la población de 15 y más años de edad*

Nivel de Instrucción	%
Sin nivel	1.3
Inicial	0.1
Primaria	10
Secundaria	43
Superior	43.5
Maestría o doctorado	2.1

Nota: Datos registrados en INEI, 2019a

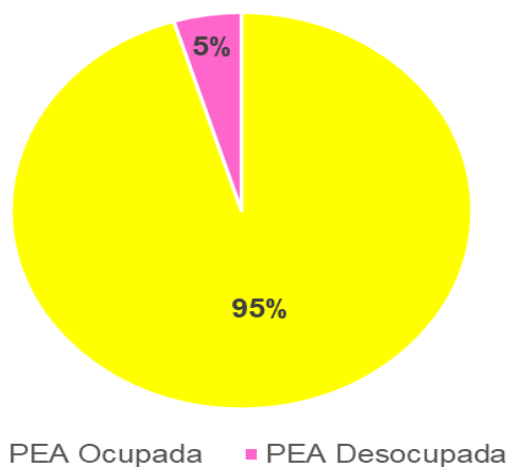
- **Características económicas**

En La Zona Reservada los Pantanos de Villa (ZRPV) años anteriores se realizaba pastoreo, agricultura, extracción de totora para uso artesanal (Ministerio Agricultura, 1996). En el 2015, esta última actividad se comercializo, 2290 atados de totoral (RP N°169-2016-SERNANP). Actualmente, según el Censo de Población y Vivienda del año 2017 del INEI, el uso suelo de la ZRE PV a nivel de manzanas predomina el uso urbano, donde el uso residencial ocupa el 87.12% del total de manzanas (1848), le sigue áreas verdes (6.93%), uso comercial (3.9%), educación (0.81%) y uso industrial (0.76%) (Municipalidad Lima, 2022).

En la figura 14, según el Censo INEI 2017, presenta una población económicamente activa (PEA) de la Zona de ZRE PV un total de 105,990 habitantes; de los cuales la PEA ocupada representa el 95.26% y la PEA desocupada el 4.74%.

Figura 14

Población económicamente activa (PEA) en zona de reglamentación especial de los Pantanos de Villa



Nota: Datos registrados en Municipalidad Lima, 2022.

Así mismo, en la ZRE PV, la ocupación que predomina es empleado aproximadamente el 39.16%, le sigue trabajador independiente, con 33.44%, luego con menor porcentajes obrero (18.75%), empleador (3.34%), trabajador del hogar (3.29%) y trabajador en negocio de un familiar (2.02%) (Municipalidad de Lima, 2022). Según los “Planos Estratificados de Lima Metropolitana a Nivel de Manzanas 2020” del INEI, se identifica el nivel de estrato económico según el ingreso per cápita de los hogares a nivel de manzana, siendo para ZRE PV un estrato medio bajo, con un ingreso per cápita entre 863.72 a 1,073 soles (Municipalidad de Lima 2022; INEI, 2020a).

Para el distrito de Chorrillos para el año 2019, se registró 32 862 empresas, con una densidad empresarial de 93,9 empresas/mil habitantes y 843.9 empresas por km² (INEI, 2019b pg.157). Siendo la principal actividad económica el comercio por menor, con el 17.41%, seguido por las industrias manufacturera, transporte, almacenamiento, comunicaciones, turístico, esta última actividad, gracias a la existencia de varios atractivos turísticos entre ellos: el Morro Solar con un Observatorio Planetario, El Complejo Turístico Agua Dulce, la Reserva Natural “Los Pantanos de Villa”, etc. (Municipalidad de Chorrillos, 2016). Actualmente

en el humedal Pantanos de Villa se desarrolla ecoturismo, que para en el año 2019, tuvo 45, 877 visitantes en el circuito turístico (PROHVILLA, 2019).

- **Características ambientales**

El humedal Pantanos de Villa por estar cercano a la ciudad de Lima Metropolitana, viene siendo afectado por la presión humana, construcción de grandes infraestructuras (clubes deportivos, cuartel del ejército, urbanización planificadas y no planificadas, etc), deficiencia de servicios sanitarios y sistema de tratamiento de efluentes domésticos, ello ha contribuido en la contaminación de las fuentes de agua (manantiales) y canales por donde fluye el agua hacia las lagunas del humedal (INRENA, 1998). Ello, llevado a su deterioro en un periodo de 60 años (1943 al 2003), se ha perdido 1266 ha de pantano, una tasa anual de destrucción de 21.1 ha/año (Pulido, 2003).

En la tabla 8, según la evaluación Hidrogeológica en la Zona de Amortiguamiento los Pantanos de Villa (ZA PV) realizado por INGEMMET durante 22 al 31 de enero del 2018, llegaron a la conclusión que la calidad de las fuentes de agua tanto superficial como subterránea fue afectada por la contaminación aledaña, reflejándose en los registros de los parámetros fisicoquímicos, en manantiales, presento alto valores de nitratos (294.66 mg/L), Sulfatos (406.7 mg/L), en la laguna mayor, los nitratos (23 mg/L), elemento talio (0.01 mg/L) que superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) del DS 004-2017-MINAM.

Tabla 8

Registro promedio de parámetros fisicoquímicos de fuentes de agua en RVSPV

Tipo de fuente	Nitratos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Talio (mg/L)
Manantiales	294.66	406.73	
*ECA Cat.1. A1	50	250	
Calicata	208.59		
*ECA Cat.3.D1	100		
Laguna Mayor	23		0.01
*ECA Cat.4. E1	13		0.001

Nota. (*) Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del DS 004-2017-MINAM (INGEMMET, 2019)

La calidad del agua, también es afectada por la contaminación por residuos sólidos; según el monitoreo en la ZRE PV en el año 2020, realizado por Autoridad Municipal de los Pantanos de Villa (PROHVILLA), recolecto aproximadamente 16 toneladas de residuos sólidos y 2528 m³ de desmonte de construcción que se encontraron en: Av. Defensores del Morro, canal Ganaderos, canal Horticultores, canal Vista Alegre, canal Premio Real, manantial Palmeras, laguna Génesis, zona de Marvilla, Alameda Premio Real, Av. Hernando Lavalle y Alameda Las Garzas Reales (Municipalidad de Lima, 2022).

Respecto a la calidad del aire, en la tabla 09 se muestra los resultado que obtuvo el Consorcio de Agua SCM según el monitoreo de calidad del aire realizado entre 16 de agosto de (2019) al 16 de diciembre (2020) en estaciones cercano al perímetro del humedal Pantanos de Villa, se presentó que los valores entre ellos el monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), sulfuro de hidrogeno (H₂S), hidrocarburos totales expresados como hexano cuyos valores, no superaron el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) (Consorcio de Agua SCM, 2019-2020).

Tabla 9

Resultados de la calidad del aire en el humedal Pantanos de Villa realizado durante 16 de agosto de 2019 al 16 de diciembre 2020

Estación	NO ₂	SO ₂	CO	H ₂ S	HTC
	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³
CA-34	< 3.33	< 13	< 600	< 2.43	< 0.002 a 0.008
CA-35	< 3.33	< 13	< 600	< 2.43	< 0.002 a 0.008
CA-39	< 3.33	< 13	< 600	< 2.43	< 0.002 a 0.008
ECA ⁽¹⁾					100.00
ECA ⁽²⁾	200.00	250.00	10 000	150.00	

Nota. Los valores (1)(2) Indican los Estándar Nacional de Calidad Ambiental para aire (D.S. 003-2008-MINAM y D.S. 003-2017-MINAM), y CA-34: Av. Alameda Premio Real (dentro de los Pantanos de Villa), CA-35: Av. Huaylas cerca al ingreso de los Pantanos de Villa, CA-39: Cerca al cruce Av. Huaylas y Av. Triunfo

Así mismo, en la tabla 10, se muestra los registró niveles de presión sonora por encima del Estándar de Calidad Ambiental de Ruido de 40 dBA (D.S. 085-2003-PCM) en la mayoría de estaciones evaluadas fueron influenciadas por tránsito vehicular constante en las vías aledañas (Consortio de agua SCM, 2019-2020).

Tabla 10

Promedio nivel de presión sonora Db (A) en el perímetro de la zona de estudio

Estación	Día	Noche
	LAeqT	LAeqT
CA-34	52.33	43.55
CA-35	55.65	45.18
CA-39	55.45	47.43
ECA zona especial ⁽¹⁾	50.00	40.00

Nota. (1) D.S. N°085-2003-PCM Estándar de Calidad Ambiental de Ruido Zona Residencial

Estos altos registros de niveles de presión sonora en la zona de estudio, nos indican de una manera indirecta, la contaminación por dióxido de carbono por transporte vehicular. así los datos registrados por

la Municipalidad de Lima para el año 2015, indican para Lima, la fuente principal de CO₂ es el transporte con 6,355.530 tCO₂ eq equivale al 40% del total de las emisiones que fue de 15 789 438 CO₂ eq. (Municipalidad de Lima, 2021 p. 101) y para el año 2016, a nivel nacional el registro del sector energía combustión móvil fue 21 041.94 CO₂ eq. (10.25%) de las emisiones netas del país fue 165 045,61 Gg CO₂ eq. (MINAM, 2021).

Debido a la escasa la información de registro de dióxido de carbono (CO₂) alrededor en la zona de estudio del humedal Pantanos de Villa; para tener una noción de la cantidad de CO₂, se calculó, solo emisión de CO₂ por personas, a partir de datos de la población de la ZRE PV (Censo INEI-2017), y de las emisiones de CO₂ per capita (Banco Mundial, 2018) donde cada habitante genera 1.697 toneladas de carbono cuya estimación fue 342 763.454 toneladas CO₂ aproximadamente.

IV RESULTADOS

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

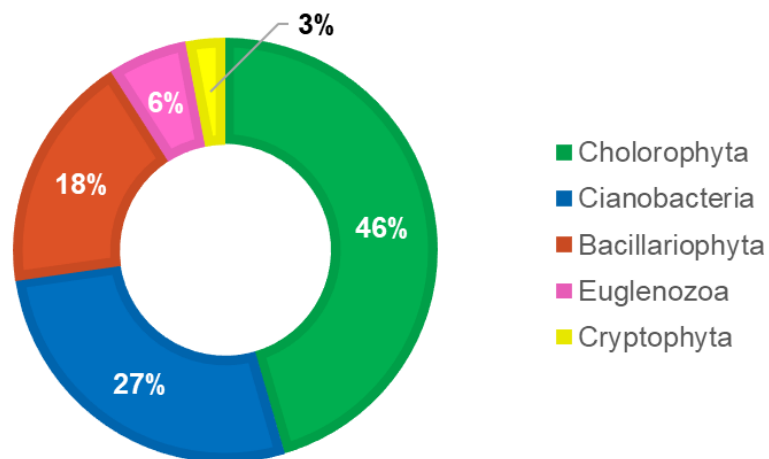
4.1.1. Caracterización de la población del fitoplancton.

Abundancia y composición.

En la figura 15, se muestra abundancia relativa de la composición de la población del fitoplancton que se encontró en el humedal Pantanos de Villa, se identificaron 5 phylum predominantes, pertenecientes a 7 clases, 14 órdenes, 22 familias y 30 géneros. Los phylum con mayor predominancia fue Chlorophyta (45.45%), seguido de Cianobacteria (27.27%), Bacillariophyta (18.18%), Euglenozoa (6.1%) y Cryptophyta (3.0%).

Figura 15

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



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

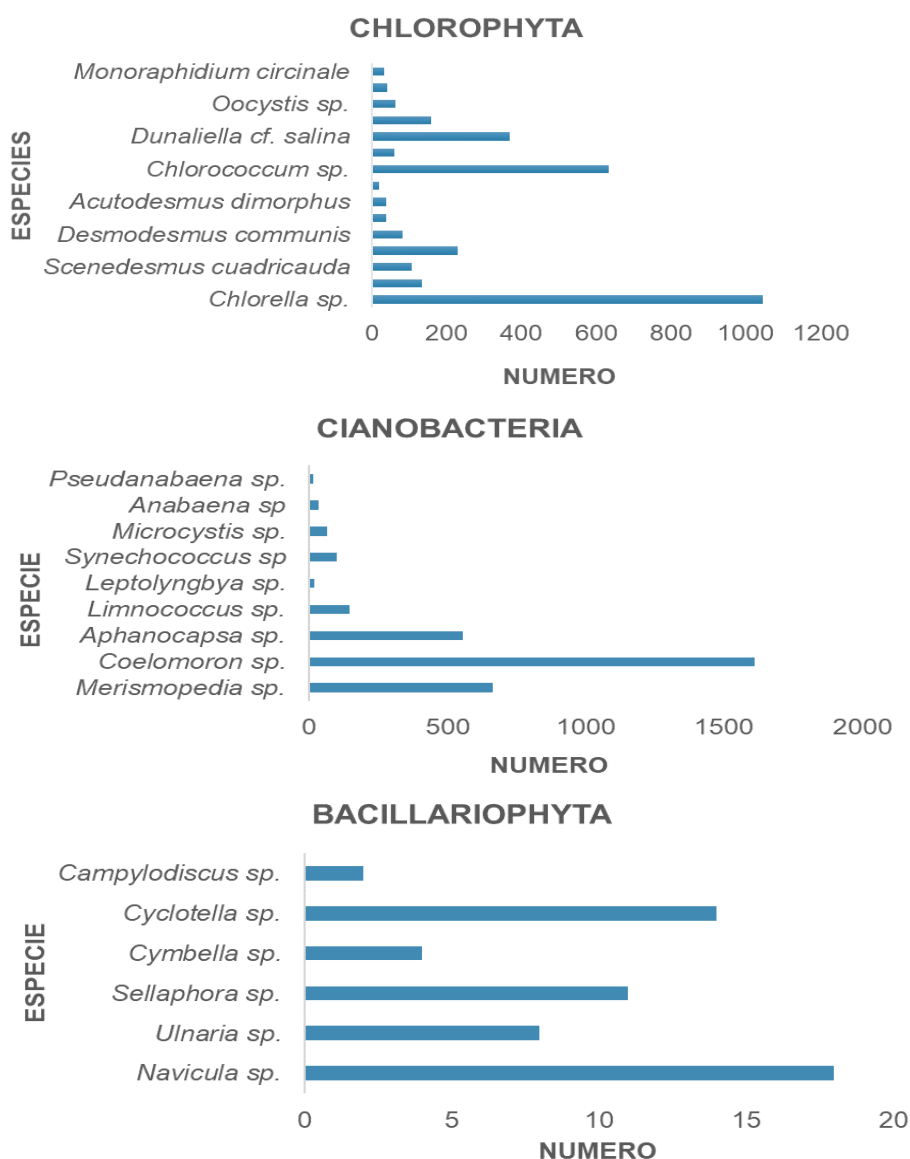
En la figura 16, se registró las especies más abundantes de Chlorophytas: *Chlorella sp.*, *Chlorococcum sp.* y *Dunaliella cf. Salina*; de

las Cianobacterias: *Coelomoron sp.*, *Merismopedia sp.*, *Aphanocapsa sp.*; y de las Bacillariophytas: *Navicula sp.*, *Cyclotella sp.* etc.

La población de fitoplancton presento una diversidad equilibrada con un índice de Shannon de 2.63, que se encontró dentro de valor normal (2 y 3) como se muestra en la Tabla 11.

Figura 16

Especies más abundantes de fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Tabla 11

Índice de Sahnnon del fitoplancton en la laguna mayor del humedal

N°	Phyllum/Especie	N° de ind./especie	p_i	$p_i \cdot \ln p_i$	H'
CHLOROPHYTA					
1	<i>Chlorella sp.</i>	1046	0.153	-0.287	
2	<i>Scenedesmus ovalternus</i>	136	0.02	-0.078	
3	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	107	0.016	-0.065	
4	<i>Scenedesmus opoliensis</i>	231	0.034	-0.114	
5	<i>Desmodesmus communis</i>	82	0.012	-0.053	
6	<i>Desmodesmus brasiliensis</i>	40	0.006	-0.03	
7	<i>Acutodesmus dimorphus</i>	39	0.006	-0.029	
8	<i>Disctyosphaerium pulchellum</i>	21	0.003	-0.018	
9	<i>Chlorococcum sp.</i>	633	0.092	-0.22	
10	<i>Franceia sp.</i>	61	0.009	-0.042	
11	<i>Dunaliella cf. salina</i>	369	0.054	-0.157	
12	<i>Stichococcus sp.</i>	158	0.023	-0.087	
13	<i>Oocystis sp.</i>	64	0.009	-0.044	
14	<i>Monoraphidium contortum</i>	43	0.006	-0.032	
15	<i>Monoraphidium circinale</i>	34	0.005	-0.026	
CIANOBACTERIA					
1	<i>Merismopedia sp.</i>	666	0.097	-0.227	
2	<i>Coelomoron sp.</i>	1611	0.235	-0.34	
3	<i>Aphanocapsa sp.</i>	556	0.081	-0.204	
4	<i>Limnococcus sp.</i>	147	0.021	-0.082	
5	<i>Leptolyngbya sp.</i>	20	0.003	-0.017	
6	<i>Synechococcus sp.</i>	102	0.015	-0.063	
7	<i>Microcystis sp.</i>	67	0.01	-0.045	
8	<i>Anabaena sp.</i>	34	0.005	-0.026	
9	<i>Pseudanabaena sp.</i>	14	0.002	-0.013	
BACILLARIOPHYTA					
1	<i>Navicula sp.</i>	18	0.003	-0.016	
2	<i>Ulnaria sp.</i>	8	0.001	-0.008	
3	<i>Sellaphora sp.</i>	11	0.002	-0.01	
4	<i>Cymbella sp.</i>	4	0.001	-0.004	
5	<i>Cyclotella sp.</i>	14	0.002	-0.013	
6	<i>Campylodiscus sp.</i>	2	0	-0.002	
EUGLENOZOA					
1	<i>Euglena sp.</i>	225	0.033	-0.112	
2	<i>Trachelomonas cilindrica</i>	128	0.019	-0.074	
CRYPTOPHYTA					
1	<i>Cryptomonas sp.</i>	156	0.023	-0.086	
TOTAL		6847	1	-2.626	2.63

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

En la tabla 12, se observa el número promedio de densidad celular (células/mL), donde a nivel de agua superficial fue $6.03 \times 10^5 \pm 0.78$ células/mL y a 30 cm de profundidad se registró $5.84 \times 10^5 \pm 0.99$ células/mL, con un promedio general de $5.94 \times 10^5 \pm 0.73$ células/mL.

Tabla 12

Densidad celular (células/mL) promedio a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa

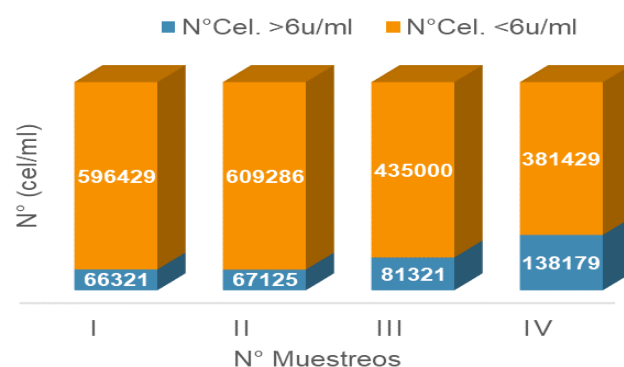
Niveles de muestreo	I	II	III	IV	Promedio y Desv.Stand
	Cel.x10 ⁵ /mL	Cel.x10 ⁵ /mL	Cel.x10 ⁵ /mL	Cel.x10 ⁵ /mL	Cel.x10 ⁵ /mL
Agua superficial	6.59 ±1.67	6.81± 1.36	5.49± 0.84	5.24± 0.85	6.03± 0.78
30 cm de profundidad	6.67± 1.55	6.72 ±1.39	4.83± 1.07	5.15± 0.53	5.84± 0.99
Promedio					5.94± 0.73

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Como podemos observar en la figura 17 y 18 la densidad celular disminuyo a partir del tercer muestreo, por la presencia de una población de fitoplancton con células mayores de diámetro a 6 micras(u), tipo de las cianobacterias principalmente las especies *Coelomoron sp.*, *Merismopedia sp.*, y *Aphanocapsa sp.*

Figura 17

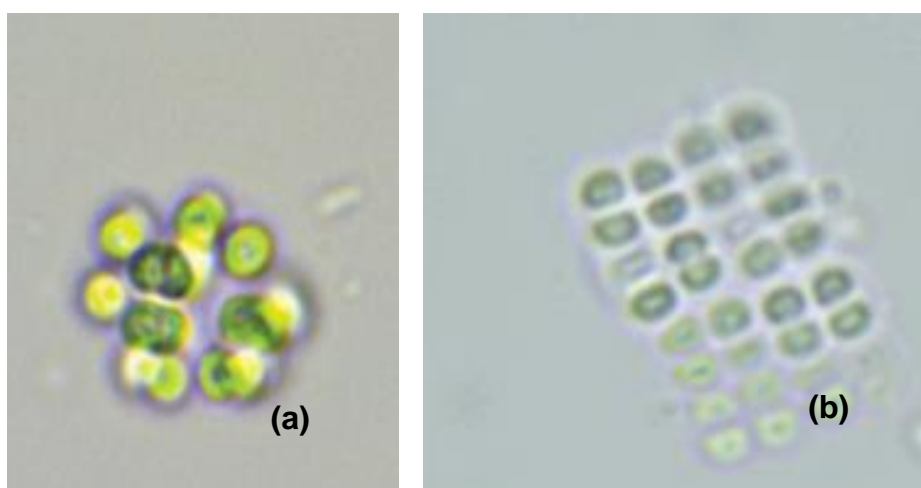
Incremento de fitoplancton con células mayores de 6 micras (μ) en los últimos muestreos



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Figura 18

Principales especies del fitoplancton con células mayores a 6 micras



Nota. *Coelomonon* sp.(a) y *Merismopedia* sp.(b)

4.1.2. Parámetros ambientales de la zona de estudio

Parámetros fisicoquímicos del agua

El agua de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, presenta las siguientes características fisicoquímicas, como se puede distinguir en la tabla 13, con un promedio de temperatura de $26.41 \pm 1.43^\circ\text{C}$, oxígeno 9.36 ± 0.83 mg/L, pH 7.70 ± 0.21 , transparencia de 20 cm es la distancia que penetra la luz solar en la columna de agua y una profundidad promedio de 79.75 ± 10.62 cm.

Así mismo, la concentración de nitratos tuvo un valor promedio de 2.55 ± 0.04 mg/L y fosfatos un valor promedio de 0.86 ± 0.01 mg/L, estos dos valores fue determinado por el laboratorio de suelos de la UNALM; y de allí en adelante se determinó por método colorimétrico con Test Kit de prueba de nitrato Hach NI-11 y Test Kit de prueba de ortofosfato PO-19 para fósforo total con equipo de análisis de agua de PROHVILLA por motivo de la pandemia; obteniendo un valor promedio de nitratos 24.21 ± 0.67 mg/L y fosfato 0.06 ± 0.01 mg/L (el valor de fosforo total se multiplico por factor 3.06 para convertir a fosfato), con una conductividad eléctrica promedio de 7408.21 ± 62.26 uS/cm y profundidad promedio de 79.75 ± 10.62 cm.

Tabla 13*Parámetros fisicoquímicos del agua en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa*

Parámetros	I	II	III	IV	Promedio y Desviación Estándar
Temperatura (°C)	25.94 ±1.99	24.8 ±1.04	26.71± 1.24	28.2± 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	0.070 ± 0.04	0.05± 0.03	0.06 ± 0.01
Conductividad eléctrica (uS/cm)	7315.71 ±168.01	7427.14 ± 61.02	7447.14 ± 64.22	7442.86 ± 89.58	7408.21 ± 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. Números de muestreos: I, II, III, IV. El promedio global de nitratos y fosfatos se calculó de los últimos muestreos determinados por el método colorimétrico.

Contaminación del agua

El agua superficial de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa es abastecida a través de canales, por agua que proviene de los manantiales de Palmeras, Villa Baja y Miramar que están ubicados en la Zona de Reglamentación Especial de los Pantanos de Villa (ZRE) (Ordenanza N°2264, 2020). En la figura 19, se muestra que en estos canales se observó la acumulación de basura, desmontes, descarga de aguas de desagüe de las viviendas colindantes. Mientras que dentro de la laguna mayor no se observó la presencia de residuos sólidos, salvo en algunas ocasiones caen bolsas plásticas traídas por el viento que son recogidos por el personal. También se presencié heces de las aves en zonas donde anidan, duermen (figura 21).

La contaminación es afuera de la laguna, por ello, PROHVILLA con la ayuda de varias instituciones entre ellas la red universitaria ambiental de la universidad científica del sur y el programa de voluntariado de esta misma Institución, realizaron la recolección de los residuos sólidos, con la finalidad de mantener el cuidado de este importante ecosistema acuático.

Figura 19

Canales que abastecen agua contaminado con residuos



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Figura 20

Contaminación natural por heces de aves donde nidan o duermen



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

4.2. Biomasa del fitoplancton

Según el método gravimétrico (Arredondo y Voltolina 2007, p.27), en la tabla 14, se muestra que la biomasa húmeda promedio de fitoplancton a nivel de agua superficial fue de 1.918 ± 0.133 g/L y de 1.975 ± 0.061 g/L a 30 cm de profundidad, y el valor de concentración general fue de 1.947 ± 0.108 g/L.

Tabla 14

Medidas estadísticas de la biomasa húmeda del fitoplancton por estratos

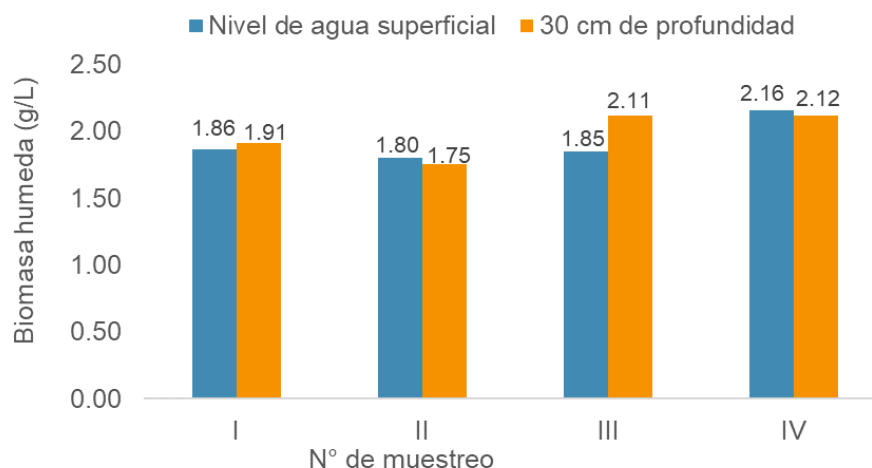
Estrato	Desviación			
	Media	estándar	Mínimo	Máximo
Agua superficial	1.918	0.133	1.741	2.156
30 cm de profundidad	1.975	0.061	1.903	2.076
Concentración general	1.947	0.108	1.741	2.156

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

En la figura 21, se muestra que la concentración de biomasa húmeda tanto a nivel superficial como a 30 cm de profundidad tuvieron el mismo comportamiento, notando que para los últimos muestreos aumento a 2.16 g/L y 2.12 g/L respectivamente.

Figura 21

Biomasa húmeda del fitoplancton a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa



Nota. Número de muestreos I (9/12/2020), II (23/12/2020), III (12/01/2021) y IV (26/01/2021).

Según la tabla 15 del análisis de varianza de la biomasa húmeda se encontró que no existe diferencia significativa ($p > 0.05\%$) entre la biomasa húmeda promedio en las muestras, tomadas a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad.

Tabla 15

Análisis de varianza de la biomasa húmeda del fitoplancton

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Estratos	0.011476	1	0.011476	1.0701	NO
Error	0.128694	12	0.010725		
Total	0.140170	13			

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

En la tabla 16, se muestra que biomasa seca de fitoplancton a nivel de agua superficial fue de 0.088 ± 0.012 g/L y de 0.085 ± 0.016 g/L a 30 cm de profundidad y concentración general promedio fue de 0.086 ± 0.014 g/L, con una tasa de conversión de biomasa húmeda a seca del 4.44%.

Tabla 16

Medidas estadísticas de la biomasa seca del fitoplancton por estratos

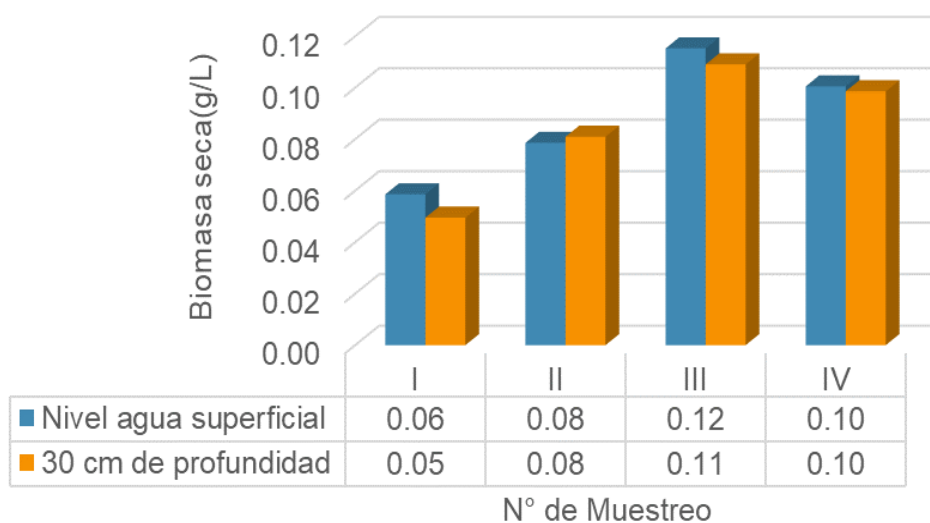
Estrato	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Agua superficial	0.088	0.012	0.075	0.109
30 cm de profundidad	0.085	0.016	0.061	0.104
Concentración general	0.086	0.014	0.061	0.109

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

La concentración de biomasa seca tuvo un comportamiento ascendente, teniendo mayor valor a nivel superficial con 0.12 g/L, tal como se muestra en la figura 22.

Figura 22

Biomasa seca promedio del fitoplancton a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa

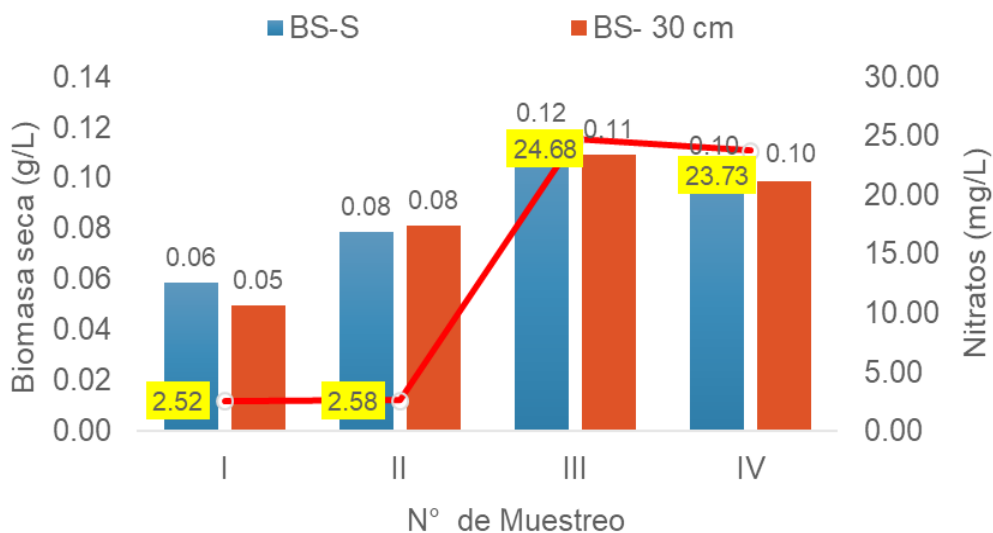


Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

En la figura 23, se observa que la concentración de biomasa seca del fitoplancton, fue principalmente por la alta concentración de nitratos presente en la columna de agua.

Figura 23

Biomasa seca del fitoplancton en agua superficial y a 30 cm de profundidad en función a los nitratos presentes en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa



Nota. BS significa Biomasa seca a nivel de agua superficial y BS-30 cm: Biomasa seca a 30 cm de profundidad.

Según la tabla 17, del análisis de varianza de la biomasa seca de fitoplancton, se encontró que no existe diferencia significativa ($p > 0.05\%$) entre biomasa seca promedio, para muestras tomadas a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad, como se observa en la figura 24.

Tabla 17

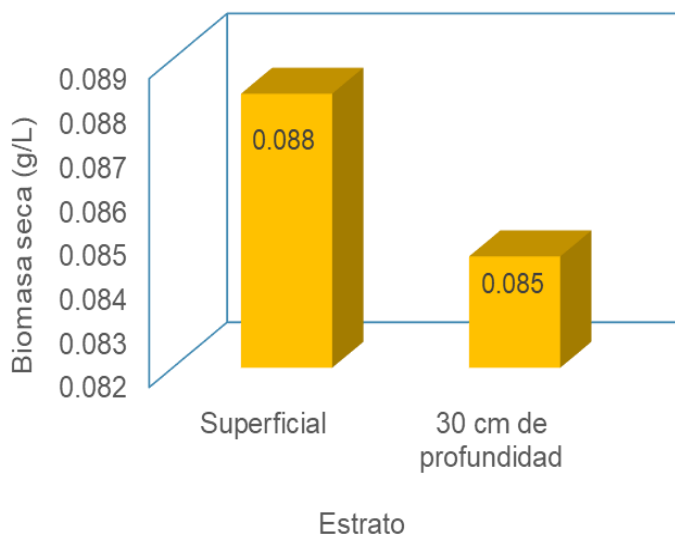
Análisis de varianza de la biomasa seca del fitoplancton

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Estratos	0.0000477	1	0.0000477	0.24	NO
Error	0.0023629	12	0.0001969		
Total	0.0024106	13			

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Figura 24

Comparación estadística de la biomasa seca del fitoplancton en ambos estratos



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Al no existir diferencias significativa de la biomasa seca promedio a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad, se consideró el promedio de biomasa seca de 0.086 g/L, el valor promedio de transparencia de 20 cm (0.2 m) que es el nivel hasta donde penetra la luz solar, el área de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa de 52 hectáreas (520000 m²), se consideró el peso seco de 0.5 g/m² de crustáceos zooplanctónicos y rotíferos en la capa autotrófica (Odum (1972, p.18) porque en la muestra de agua se observó consumidores primarios como pulgas de agua, micro crustáceos, rotíferos. Así mismo, tiempo de renovación del fitoplancton de un día (Odum, 1972) y una tasa de crecimiento de 0.5 d/d (doble de carbono celular por día) (Alienes, 2014). En la tabla 18, se muestra el cálculo de la biomasa seca en toda el área de la laguna mayor del humedal, que fue de 16.77 g/m² (0.168t/ha/día), 8.72 t/día y 824.27 t en la época de verano (90 días).

Tabla 18

Biomasa seca del fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa

Parámetros	
Área de laguna mayor (ha)	52
Profundidad hasta donde penetra la luz solar (m)	0.20
Volumen total (m ³)	104000
Volumen de agua de la laguna mayor (x10 ⁷ L)	10.4
Biomasa seca promedio (g/L)	0.086
Biomasa seca en toda el área de la laguna mayor (x10 ⁶ g)	8.982
Biomasa seca del zooplancton en toda el área de la laguna mayor (g)*	260000
Biomasa seca restante del fitoplancton en toda el área de la laguna mayor (x10 ⁶ g)	8.722
Biomasa seca restante del fitoplancton en toda el área de la laguna mayor (kg)	8722.381
Biomasa seca del fitoplancton en toda el área de la laguna mayor (t/día)	8.722
Biomasa seca promedio del fitoplancton (g/m ²)	16.774
Tasa promedio de crecimiento (d/d)	0.005
Biomasa seca del fitoplancton en toda el área de la laguna mayor (t/ha)	0.168
Biomasa seca del fitoplancton en toda el área de la laguna mayor en época de verano (t)	824.27

Nota. (*) Se calculo la biomasa del zooplancton en la laguna mayor del humedal considerando la biomasa en zona autotrófica de 0.5 g/m² de según Odum, (1972). Considero el tiempo de renovación del fitoplancton de un día (Odum, 1972; Alienes, 2014) y una tasa de crecimiento de 0.5 d/d (Alienes, 2014).

Según el método espectrofotométrico, en la tabla 19, se muestra la concentración de clorofila "a" que es un indicador de la biomasa del fitoplancton a nivel de agua superficial fue de 10.66±1.929 mg/L y de 8.79 ± 2.096 mg/L a 30 cm de profundidad, con un valor de concentración general fue 9.73 ± 2.165 mg/L.

Tabla 19

Medidas estadísticas de la concentración de clorofila “a” en ambos estratos

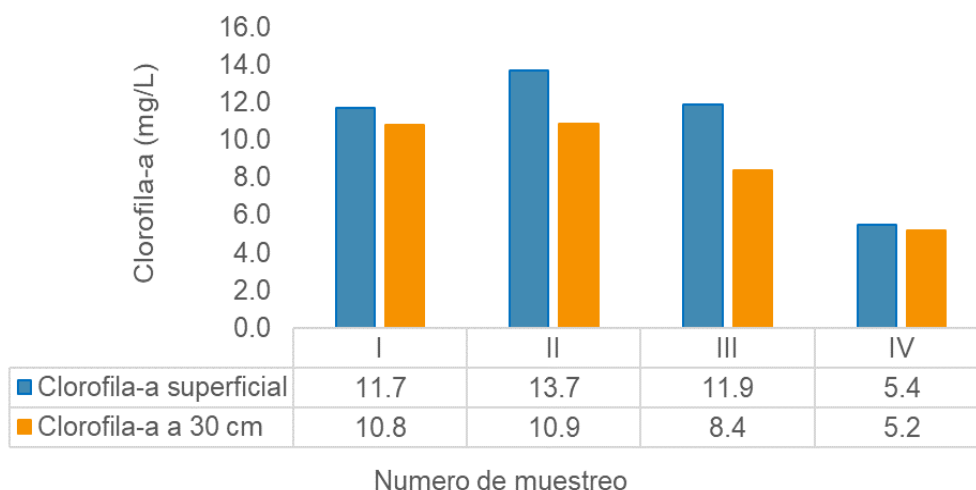
Estratos	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Agua Superficial	10.66	1.929	8.01	13.94
30 cm de profundidad	8.79	2.096	6.79	11.83
Concentración general	9.73	2.165	6.79	13.94

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

En la figura 25, se muestra que la concentración de clorofila “a” promedio del fitoplancton a nivel de agua superficial y 30 cm de profundidad tuvo similar comportamiento, excepto en el último muestreo, disminuyó a 5 mg/L aproximadamente.

Figura 25

Comportamiento de la clorofila “a” del fitoplancton a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

En la tabla 20, según el análisis de varianza de la concentración de clorofila “a” se encontró que no existe diferencia significativa ($p > 0.05\%$) entre la concentración de clorofila “a” promedio para las muestras, tomadas a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad, como se puede notar en la figura 26.

Tabla 20

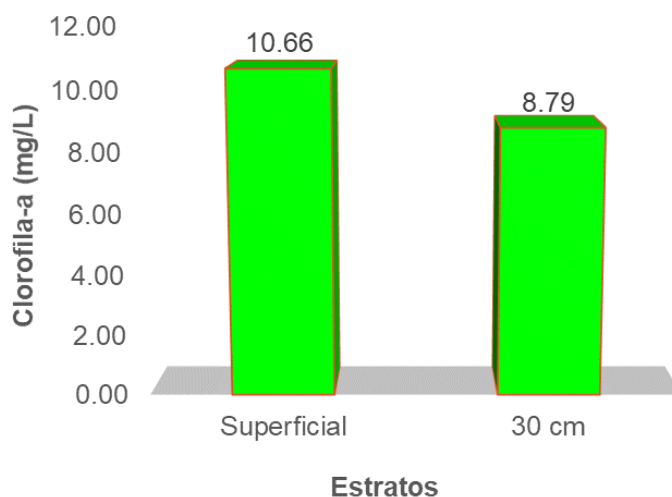
Análisis de varianza de la concentración de clorofila "a" del fitoplancton

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadradita	F	Sig
Estratos	12.274	1	12.274	3.026	NO
Error	49	12	4.057		
Total	61	13			

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Figura 26

Comparación estadística de la clorofila "a" del fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

En la tabla 21, se muestra la concentración de clorofila "a" fue 1.95 g/m² (0.019 t/ha/día), 1.011 t/día y 91.030 t en la época de verano.

Tabla 21

Cantidad de clorofila "a" del fitoplancton de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa

Parámetros	
Área laguna mayor (m ²)	520000.0
Área laguna mayor (ha)	52
Profundidad hasta donde penetra la luz solar (m)	0.20
Volumen total (m ³)	104000.00
Volumen (x10 ⁷ L)	10.40
Clorofila "a" (mg/L)	9.73
Clorofila "a" (g/L)	0.01
Clorofila "a" (x10 ⁵ g)	10.114
Clorofila "a" (g/m ²)	1.95
Clorofila "a" en toda el área de la laguna mayor (t/día)	1.011
Clorofila "a" (t/ha/día)	0.019
Clorofila "a" en la época de verano (t)	91.030

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

4.3. Concentración de carbono en biomasa del fitoplancton

En la tabla 22, según el método gravimétrico, se muestra el contenido de carbono en la biomasa seca del fitoplancton fue de 0.044 ± 0.006 g/L a nivel de agua superficial y 0.042 ± 0.008 g/L a 30 cm de profundidad, y un promedio general fue de 0.043 ± 0.007 g/L.

Tabla 22

Medidas estadísticas del contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton en ambos estratos, según el método gravimétrico

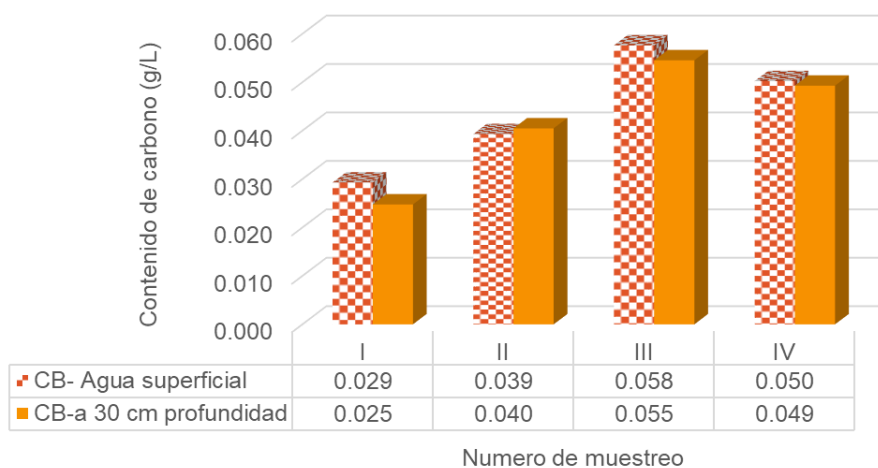
Estrato	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Agua superficial	0.044	0.006	0.038	0.055
30 cm de profundidad	0.042	0.008	0.030	0.052
Concentración general	0.043	0.007	0.030	0.055

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

En figura 27, se puede observar que el contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton tuvo un comportamiento similar en ambos estratos, incrementando en los últimos muestreos con un valor máximo de 0.058 g/L a nivel del agua superficial.

Figura 27

Comportamiento del contenido de carbono en la biomasa seca del fitoplancton en ambos estratos, según el método gravimétrico



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Según la Tabla 23 del análisis de varianza del contenido de carbono, se encontró que no existe diferencia significativa ($p > 0.05$) entre el contenido de carbono promedio para muestras tomadas a nivel de agua superficial y 30 cm de profundidad.

Tabla 23

Análisis de varianza del contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton, según el método gravimétrico

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Estratos	0.0000119	1	0.0000119	0.2421	NO
Error	0.0005907	12	0.0000492		
Total	0.0006026	13			

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Al no existir diferencia significativa del contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton a nivel superficial y a 30 cm de profundidad de la columna de agua. Entonces, con el valor promedio general, se calculó para toda el área de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, se tuvo un valor de 8.39 g/m² (0.084t/ha/día), 4.36 t/día y 394.47 toneladas en la época de verano.

En la tabla 24, según el método de espectrofotométrico, se muestra el contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton fue de 0.289±0.052g/L a nivel de agua superficial y de 0.238±0.057g/L a 30 cm de profundidad, y un valor promedio general fue de 0.263±0.059g/L.

Tabla 24

Medias estadísticas del contenido de carbono en biomasa del fitoplancton, según el método espectrofotométrico

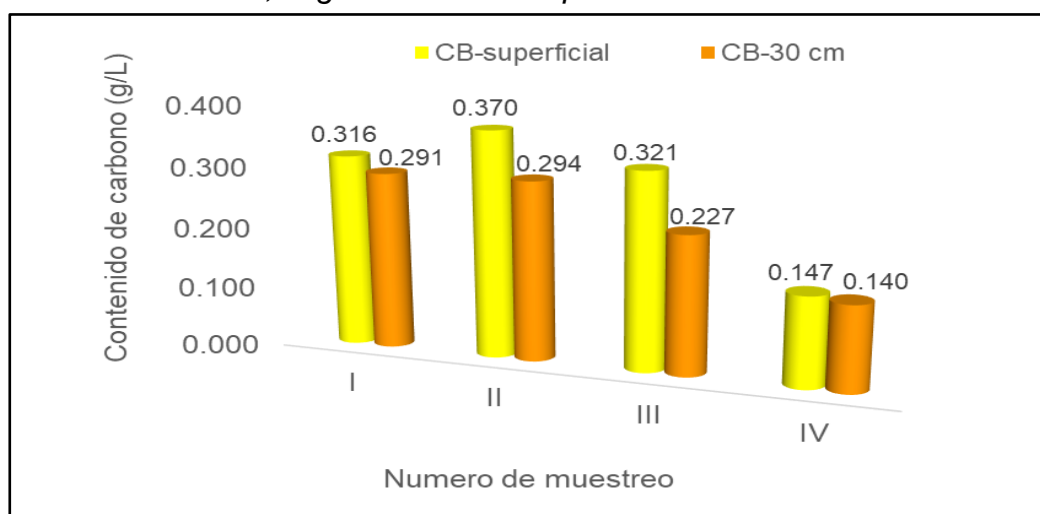
Estrato	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Agua superficial	0.289	0.052	0.217	0.377
30 cm de profundidad	0.238	0.057	0.184	0.320
Concentración general	0.263	0.059	0.184	0.377

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

En la figura 28 se muestra que el contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton disminuyó a un valor promedio de 0.143 g/L en el último muestreo, notándose que al disminuir el contenido de clorofila "a", también disminuyó el contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton.

Figura 28

Comportamiento del contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico



Nota: CB-superficial: Contenido de carbono a nivel de agua superficial y CB-30 cm: Contenido de carbono a 30 cm de profundidad.

Según la tabla 25 del análisis de varianza del contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton, se encontró que no existe diferencia significativa ($p > 0.05$) entre el contenido de carbono promedio para muestras tomadas a nivel de agua superficial y 30 cm de profundidad, como se muestra en la figura 29.

Tabla 25

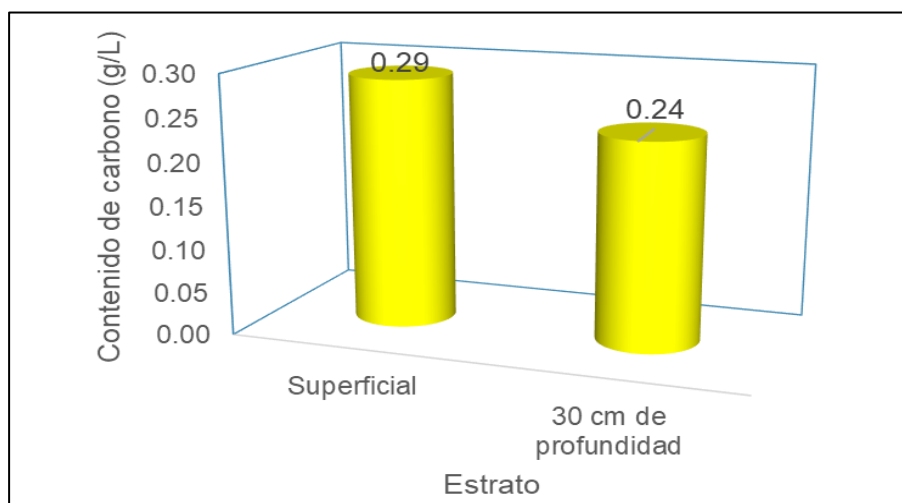
Análisis de varianza del contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton, según el método espectrofotométrico

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Estratos	0.0090000	1	0.0090000	3.0256	NO
Error	0.0356953	12	0.0029746		
Total	0.0446953	13			

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Figura 29

Comparación estadística del contenido de carbono del fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Se asumió que el contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton fue similar en la columna de agua, por lo tanto, se utilizó el valor promedio general de 0.263 g/L, calculando el contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton en toda el área de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, se obtuvo un valor de 52.67 g/m² (0.527t/ha/día), 27.39 t/día y en época de verano fue 2477.29 toneladas.

4.4. Cantidad de CO₂ capturado por fitoplancton

Según el método gravimétrico, en la tabla 26 se muestra, la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) capturado por fitoplancton a nivel agua superficial fue de 0.162 ± 0.022g/L y 0.155± 0.029 g/L a 30 cm de profundidad, con un valor promedio general de 0.158± 0.025 g/L. Así, en la figura 30, presento un incremento a 0.211 g/L a nivel superficial en el tercer muestreo.

Tabla 26

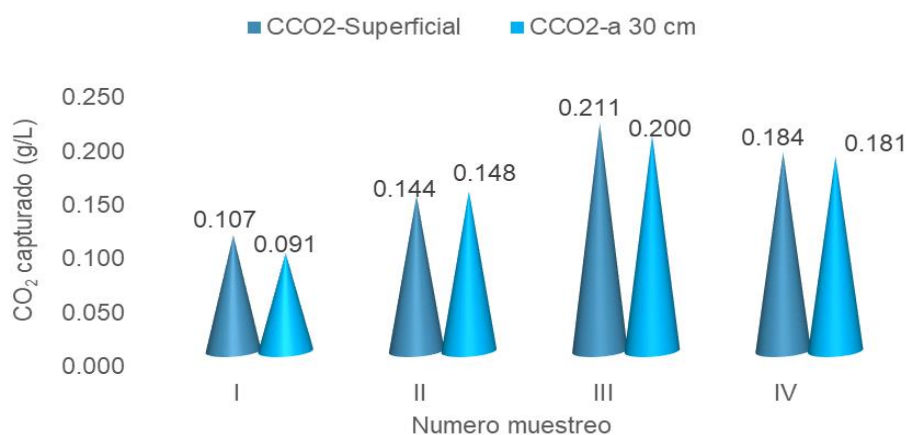
Medias estadísticas del CO₂ capturado por fitoplancton, según el método gravimétrico

Estrato	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Agua superficial	0.162	0.022	0.138	0.200
30 cm de profundidad	0.155	0.029	0.112	0.191
Concentración general	0.158	0.025	0.112	0.200

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Figura 30

Comportamiento del CO₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método gravimétrico

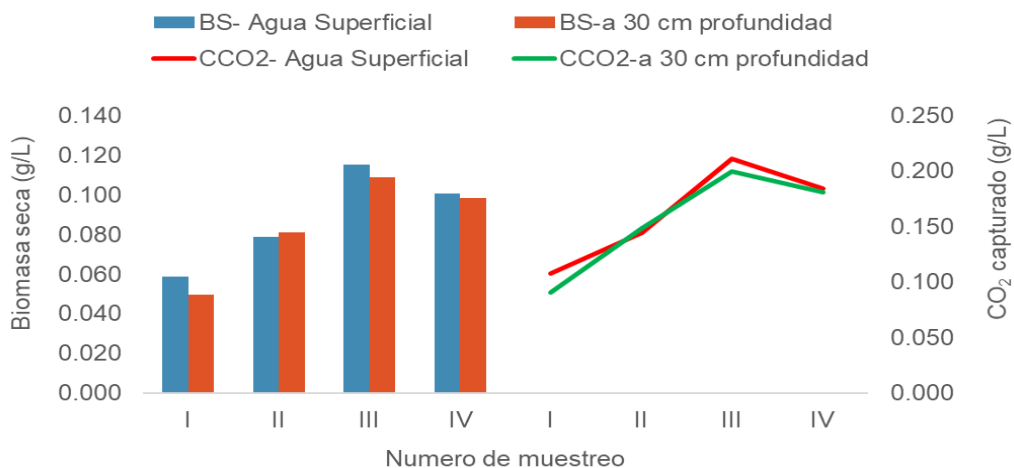


Nota. CCO₂-Superficial: Cantidad de dióxido de carbono a nivel de agua superficial y CCO₂-a 30 cm: Cantidad de dióxido de carbono a 30 cm de profundidad.

En la figura 31, se puede observar que la cantidad de biomasa seca tuvo un comportamiento similar respecto a la cantidad del CO₂ capturado por fitoplancton. Además, la relación entre la cantidad del CO₂ y la biomasa tuvo una tendencia lineal positiva (figura 32).

Figura 31

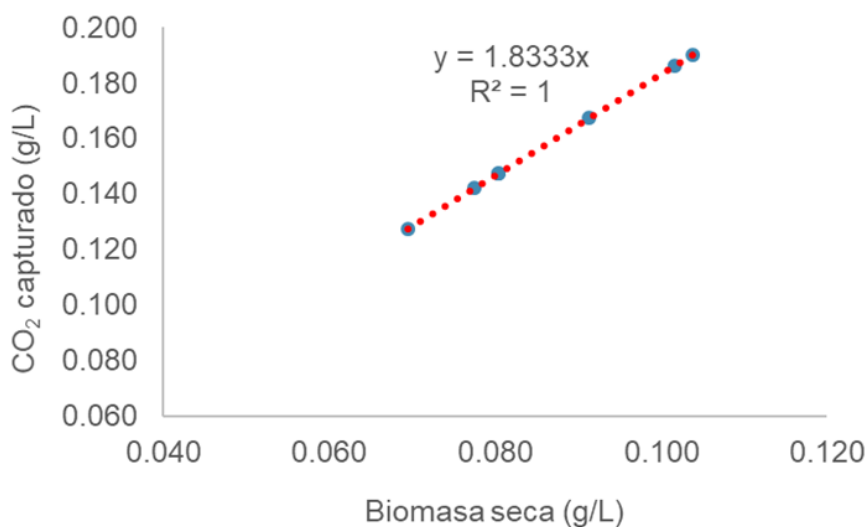
Comportamiento similar de la biomasa seca y la cantidad del CO₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método gravimétrico



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Figura 32

Relación de la biomasa seca y la cantidad del CO₂ capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método gravimétrico



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Según la Tabla 27 del análisis de varianza del CO₂ capturado por fitoplancton, se encontró que no existe diferencia significativa ($p > 0.05$) entre la concentración del CO₂ capturado por fitoplancton para muestras tomadas a nivel superficial y 30 cm de profundidad.

Tabla 27

Análisis de varianza del dióxido de carbono capturado por fitoplancton, según el método gravimétrico

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Estratos	0.0001602	1	0.00016	0.2421	No
Error	0.007942	12	0.000662		
Total	0.0081022	13			

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

En la tabla 28, se muestra la estimación del CO₂ capturado por fitoplancton en toda el área de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, encontrando un valor de 30.75 g/m² (0.308 t/ha/día), 15.991 t/día, y proyectando a la época de verano se tuvo un valor de 1439.19 toneladas.

Tabla 28

Dióxido de carbono capturado por fitoplancton en toda la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método gravimétrico

Descripción	
Área de laguna mayor (m ²)	520000
Área laguna (ha)	52
Profundidad hasta donde penetra la luz solar (m)	0.2
Columna de agua (m ³)	104000
Volumen de agua de la laguna mayor (x10 ⁷ L)	10.4
Biomasa seca promedio (g/L/día)	0.086
Biomasa seca en toda el área de la laguna mayor (x10 ⁶ g)	8.982
Biomasa de zooplancton en la capa autotrófica (g/m ²)*	0.5
Biomasa de zooplancton en toda el área de la laguna mayor (x10 ⁵ g)	2.600
Biomasa seca del fitoplancton menos la biomasa del zooplancton (x10 ⁶ g)	8.722
Biomasa seca del fitoplancton (g/m ²)	16.774
Biomasa seca restante del fitoplancton (Kg)	8722.381
Biomasa seca del fitoplancton en toda el área de la laguna mayor (t/día)	8.722
Biomasa seca del fitoplancton (t/ha)	0.168
Contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton en toda el área de la laguna mayor (t/día)	4.361
Contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton (g/m ²)	8.387
Contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton (t/ha)	0.084
Relación de conversión (Kr: 44/12) **	3.667
CO ₂ capturado por fitoplancton en toda el área de la laguna mayor (t/día)	15.991
CO ₂ capturado por fitoplancton (g/m ²)	30.752
CO ₂ capturado por fitoplancton (t/ha)	0.308
CO ₂ capturado por fitoplancton en época de verano (t)	1439.193

Nota. (*) Peso seco de 0.5 g/m² de Zooplancton en la capa autotrófica (Odum,1972), (**) Relación de Conversión por cada gramo de carbono en la biomasa se captura 3.667 g CO₂ (García,2014 p.70).

En la tabla 29, según el segundo método de espectrofotométrico, se encontró que el dióxido de carbono capturado por fitoplancton fue 1.059±

0.192g/L a nivel superficial y 0.873 ± 0.208 g/L a 30 cm de profundidad, y el promedio general fue 0.966 ± 0.215 g/L.

Tabla 29

Medidas estadísticas del dióxido de carbono capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico

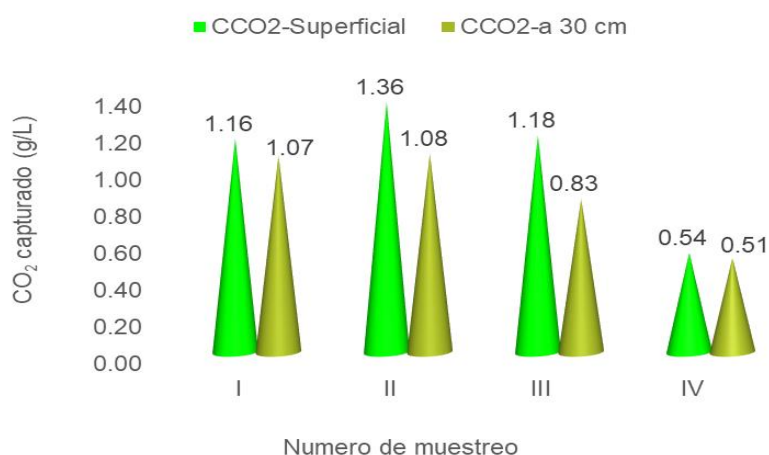
Estrato	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Agua superficial	1.059	0.192	0.795	1.384
30 cm de profundidad	0.873	0.208	0.674	1.175
Concentración general	0.966	0.215	0.674	1.384

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

En la figura 33, se muestra que el comportamiento de la concentración del CO₂ capturado por fitoplancton a nivel superficial y a 30 cm de profundidad fue similar, encontrándose que disminuyó su concentración en los últimos muestreos a un valor promedio de 0.53 g/L.

Figura 33

Comportamiento del CO₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico



Nota. CCO₂-Superficial: Cantidad de dióxido de carbono a nivel de agua superficial y CCO₂-a 30 cm: Cantidad de dióxido de carbono a 30 cm de profundidad

Según la Tabla 30 del análisis de varianza del CO₂ capturado por fitoplancton, se encontró que no existe diferencia significativa ($p > 0.05$) entre la concentración del CO₂ capturado por fitoplancton para muestras tomadas a nivel de agua superficial y 30 cm de profundidad, la captura del CO₂ en la columna de agua fue similar.

Tabla 30

Análisis de varianza del dióxido de carbono capturado por fitoplancton, según el método espectrofotométrico

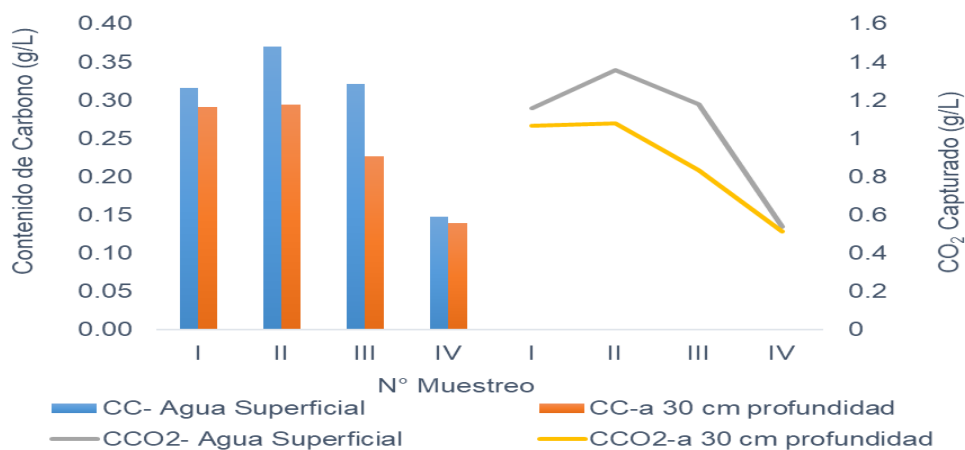
	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Estratos	0.1210005	1	0.121001	3.0256	NO
Error	0.4799032	12	0.039992		
Total	0.6009037	13			

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

En la figura 34, se puede observar que la concentración de clorofila "a" y la cantidad de dióxido de carbono capturado por fitoplancton, tanto a nivel superficial como a 30 cm de profundidad tuvo un comportamiento similar. Además, la relación entre ambos tuvo una relación directa con una tendencia lineal, como se muestra en la figura 35.

Figura 34

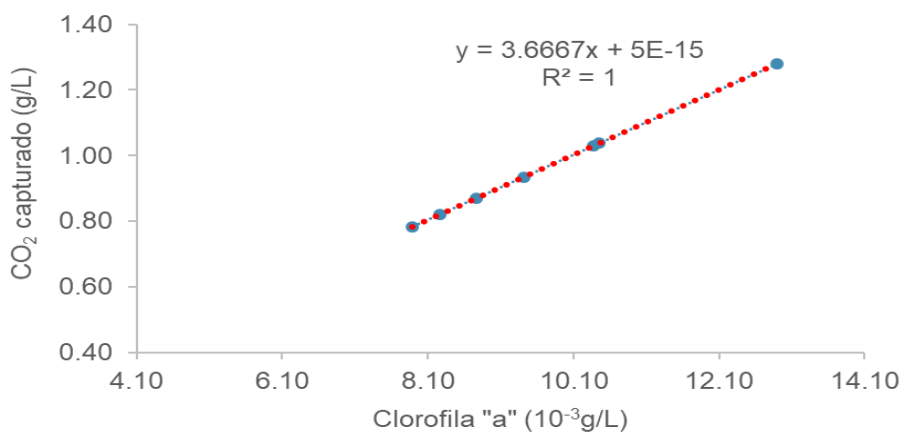
Comportamiento similar de clorofila "a" y la cantidad del dióxido de carbono capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Figura 35

Relación de la concentración de clorofila "a" y la cantidad del CO₂ capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método espectrofotométrico



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

En la tabla 31, se muestra la cantidad del CO₂ capturado por fitoplancton en toda el área de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, fue aproximadamente de 193.12 gCO₂/m² (1.931 tCO₂/ha/día), 100.42 tCO₂/día y en la época de verano fue 9038.19 t CO₂.

Tabla 31

Dióxido de carbono capturado por fitoplancton en toda la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método espectrofotométrico

Descripción	
Área de laguna mayor (m ²)	520000
Área laguna (ha)	52
Profundidad hasta donde penetra la luz solar (m)	0.20
Columna de agua (m ³)	104000
Volumen de agua de la laguna mayor (x10 ⁷ L)	10.4
Chl-a (mg/L)	9.725
Biomasa de clorofila "a" en toda el área de la laguna mayor (t/día)	1.011
Relación C:Chl-a	27.079
Contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton (mg/L)	263.351
Contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton (g/L)	0.263
Contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton en toda el área de la laguna mayor (Kg)	27388.471
Contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton en toda el área de la laguna mayor (t/día)	27.388
Contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton (t/ha)	0.527
Relación de conversión (Kr: 44/12)*	3.667
CO ₂ capturado por fitoplancton en toda el área de la laguna mayor (t/día)	100.424
CO ₂ capturado por fitoplancton (g/m ²)	193.124
CO ₂ capturado por fitoplancton (t/ha)	1.931
CO ₂ capturado por fitoplancton en época de verano (t)	9038.195

Nota. (*) Relación de conversión que indica que por cada gramo de carbono en la biomasa se captura 3.667 gramos de CO₂ (García, 2014 p.70)

4.5. Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton

Según el método gravimétrico, en la tabla 32 se encontró que el valor económico del dióxido de carbono capturado por fitoplancton a nivel superficial fue de \$ 13.683x10⁻⁷/L ±1.862 y a 30 cm de profundidad fue de \$ 13.11x10⁻⁷/L±

2.451 y un valor económico del CO₂ capturado general fue de \$13.397 x10⁻⁷/L ± 2.112 (precio de mercado de \$ 8.461/t de CO₂, calculado a partir del precio social de \$ 7.17/t de carbono con un factor de corrección de 0.847) según MEF, (2021).

Tabla 32

Medidas estadísticas del valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método gravimétrico

Estrato	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Agua superficial	13.683	1.862	11.633	16.933
30 cm de profundidad	13.111	2.451	9.436	16.157
Valor general	13.397	2.112	9.436	16.933

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Según la Tabla 33 del análisis de varianza del valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton, se encontró que no existe diferencia significativa ($p > 0.05$) entre el valor económico promedio para muestras tomadas a nivel de agua superficial y 30 cm de profundidad, como se muestra en la figura 36.

Tabla 33

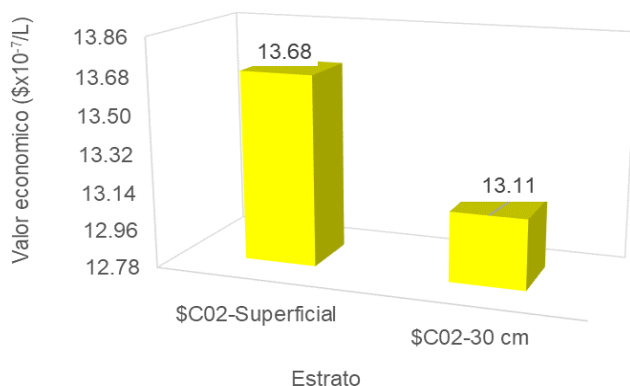
Análisis de varianza del valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton, según el método gravimétrico

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1.1468802	1	1.146880	0.2421	NO
Dentro de los grupos	56.8499326	12	4.737494		
Total	57.9968128	13			

Nota. El valor de Fcalc. <Ftab. (4.747), no existió diferencia.

Figura 36

Comparación estadística del valor económico promedio del CO₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según método gravimétrico

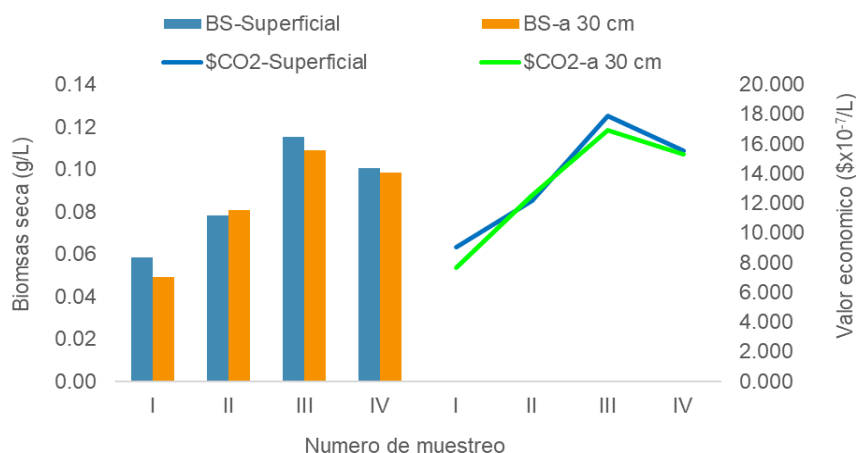


Nota. \$CO₂-Superficial: Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton a nivel de agua superficial y \$CO₂-30 cm: Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton a 30 cm de profundidad.

En la figura 37, se muestra que la biomasa y el valor económico del CO₂ capturado de fitoplancton, tanto a nivel agua superficial y a 30 cm de profundidad, presento un comportamiento similar. Así mismo, la relación entre ambos parámetros tuvo una relación directa con una tendencia lineal, como se muestra en la figura 38.

Figura 37

Comportamiento similar de la biomasa seca y el valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según método gravimétrico

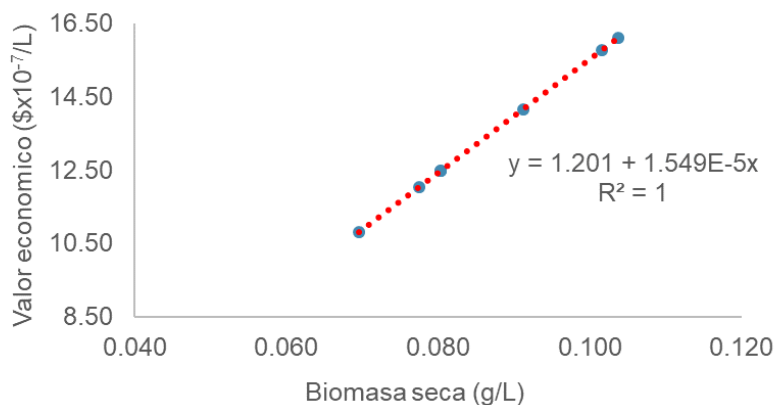


Nota. \$CO₂-Superficial: Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton a nivel de agua superficial y \$CO₂-a 30 cm: Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton a

30 cm de profundidad, BS-Superficial: Biomasa seca a nivel agua superficial y BS-a 30 cm: Biomasa seca a 30 cm de profundidad.

Figura 38

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



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

En la tabla 34, según el método gravimétrico, se observa el valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en toda el área de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa fue de \$ 135.294/día, \$2.602/ha/día y en la época de verano (90 días) fue de \$ 12176.44.

Tabla 34

Valor económico del dióxido de carbono (CO₂) capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método gravimétrico

Parámetros	
Área de laguna mayor (m ²)	520000
Área de laguna mayor (ha)	52
Profundidad hasta donde llego la luz solar) (m)	0.20
Volumen total (m ³)	104000
Volumen de agua de la laguna mayor (x10 ⁷ L)	10.4
Biomasa seca promedio (g/L)	0.086
Biomasa seca del fitoplancton en toda el área de la laguna mayor (x10 ⁶ g)	8.982
Biomasa seca del fitoplancton en toda el área de la laguna mayor (Kg)	8982.381
Biomasa seca del fitoplancton (t/día)	8.722
Biomasa seca promedio (g/m ²)	16.774
Biomasa seca en toda la laguna mayor (t/ha)	0.168
Contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton (t/día)	4.361
Relación de conversión (Kr: 44/12)*	3.667
CO₂ capturado por fitoplancton (t/día)	15.991
CO ₂ capturado por fitoplancton (t/ha.)	0.308
Precio social del dióxido de carbono (\$/t)**	7.170
Factor de corrección según MEF	0.847
Precio de mercado del dióxido de carbono (\$/t)***	8.461
Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton (\$/día)	135.294
Valor económico del CO ₂ capturado por fitoplancton (\$/ha)	2.602
Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton (\$)	12176.44
en época de verano	

Nota. (*) Relación de conversión por cada g de carbono se captura 3.667 g de CO₂ (García, 2016), (**) Precio social de carbono (\$/tCO₂) y (***) Precio de mercado calculado a partir del precio social con un factor de corrección de 0.847, según MEF, (2021).

En la tabla 35, según el método por espectrofotométrico se encontró el valor económico del CO₂ capturado por el fitoplancton a nivel agua superficial fue de $89.563 \times 10^{-7} / L \pm 16.207$ y a 30 cm de profundidad fue de $73.832 \times 10^{-7} / L \pm 17.603$ y un valor promedio general de $81.697 \times 10^{-7} / L \pm 18.190$.

Tabla 35

Medidas estadísticas de valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico

Estrato	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Agua superficial	89.563	16.207	67.260	117.107
30 cm de profundidad	73.832	17.603	57.064	99.416
Valor general	81.697	18.190	57.064	117.107

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

Según la Tabla 36 del análisis de varianza del valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton, se encontró que no existe diferencia significativa ($p > 0.05$) entre el valor económico promedio del fitoplancton para muestras tomadas a nivel de agua superficial y 30 cm de profundidad, como se muestra en la figura 39.

Tabla 36

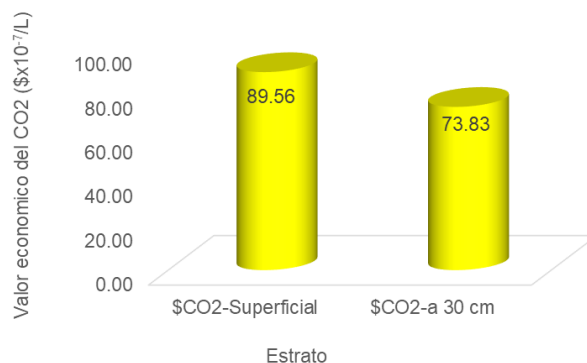
Análisis de varianza del valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton, según el método espectrofotométrico

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Estratos	866.1428191	1	866.142819	3.02562	No
Error	3435.2308922	12	286.269241		
Total	4301.3737113	13			

Nota. El valor de $F_{calc.} < F_{tab.}$ (4.747), no existió diferencia.

Figura 39

Comparación estadística del valor económico promedio del CO₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico

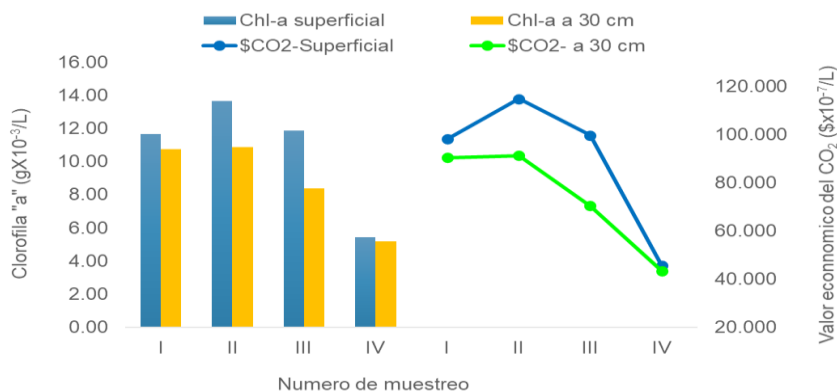


Nota. \$CO₂-Superficial: Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton a nivel de agua superficial y \$CO₂-a 30 cm: Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton a 30 cm de profundidad

En la figura 40, se muestra que la concentración de clorofila "a" a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad tubo similar comportamiento respecto al valor económico del dióxido de carbono capturado en ambos estratos. Mostrando que el valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton y la concentración de clorofila "a" tuvieron una relación directa con una tendencia lineal, como se muestra en la figura 41.

Figura 40

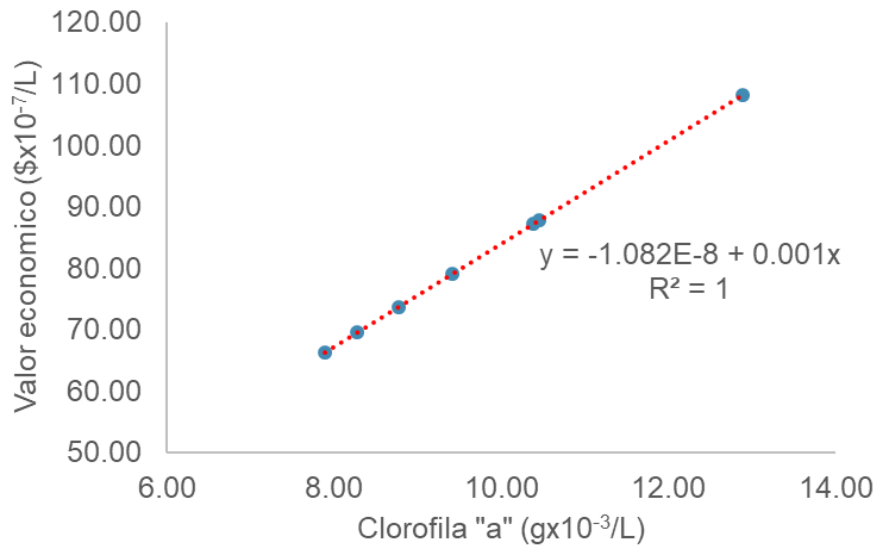
Comportamiento similar de la clorofila-a y el valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en ambos estratos, según el método espectrofotométrico



Nota. \$CO₂-Superficial: Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton a nivel de agua superficial y \$CO₂-a 30 cm: Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton a 30 cm de profundidad, BS-Superficial: Biomasa seca a nivel agua superficial y BS-A 30 cm: Biomasa seca a 30 cm de profundidad.

Figura 41

Relación entre la clorofila "a" y el valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método espectrofotométrico



Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

En la tabla 37, según el método espectrofotométrico, se muestra el valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en toda el área de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa fue de \$ 849.65/día, \$16.339/ha/día que proyectado a toda la época de verano fue \$ 76468.56

Tabla 37

Valor económico del dióxido de carbono (CO₂) capturado por fitoplancton a nivel superficial, a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método espectrofotométrico

Parámetros	
Área de laguna mayor (m ²)	520000
Área laguna mayor (ha)	52
Profundidad hasta donde penetra la luz solar (m)	0.200
Volumen (m ³)	104000
Volumen de agua de la laguna mayor (x10 ⁷ L)	10.40
Chl-a (mg/L)	9.725
Relación C:Chl-a	27.079
Contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton (mg/L)	263.351
Contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton (g/L)	0.263
Contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton en toda el área de la laguna mayor (x10 ⁶ g)	27.388
Contenido de carbono en la biomasa de fitoplancton (Kg)	27388.47
Contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton (t/día)	27.388
Contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton (t/ha)	0.527
Relación de conversión (Kr: 44/12)	3.667
CO₂ capturado por fitoplancton en toda el área de la laguna mayor (t/día)	100.424
CO ₂ capturado por fitoplancton (g/m ²)	193.124
CO ₂ capturado por fitoplancton (t/ha)	1.93
Precio de mercado del dióxido de carbono (\$/t)	8.461
Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en toda el área de la laguna mayor (\$/día)	849.65
Valor económico del CO ₂ capturado por fitoplancton (\$/ha)	16.339
Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en época de verano (\$)	76468.56

Nota: Datos recogidos en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, 2021

El valor económico del CO₂ capturado por el fitoplancton en ambos métodos (gravimétrico y espectrofotométrico) tuvo una alta correlación a la biomasa del fitoplancton. Para la contratación de Hipótesis se utilizó los valores del segundo método que fue más específico.

4.6. Contratación de hipótesis

4.6.1. Hipótesis

El valor económico del CO₂ capturado tiene una relación directa con la biomasa del fitoplancton.

H₀: Valor económico del CO₂ capturado NO tiene una relación directa con la Biomasa del fitoplancton.

H₁: Valor económico del CO₂ capturado tiene una relación directa con la Biomasa del fitoplancton.

Tabla 38

Correlación entre las variables de hipótesis

VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	INDICADOR ESTADÍSTICO	BIOMASA DE FITOPLANCTON	VALOR ECONÓMICO DEL CO ₂ CAPTURADO
Biomasa de fitoplancton	Correlación de Pearson	1	1**
	Sig.(bilateral)		0.000
	N	7	7
Valor económico del CO ₂ capturado	Correlación de Pearson	1**	1
	Sig.(bilateral)	0.000	
	N	7	7

Nota. (**) La correlación es significativa en el nivel de 0.01 (bilateral)

En la tabla 38, se encontró que la correlación entre la biomasa de fitoplancton y el valor económico del CO₂ capturado estuvieron altamente correlacionados, dado que el coeficiente de Pearson fue igual a 1 ($p < 0.01$). Es decir, conforme aumenta la biomasa, incrementa el valor económico del CO₂ capturado. Aceptando la Hipótesis Alternativa.

V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Respecto a las características del fitoplancton, su abundancia no solo depende de los factores físicos limitativos (Luz, nitrógeno, fosforo, temperatura, etc) sino también de las relaciones biológicas reciprocas (Odum, 1972). Como factor biológico es el zooplancton y su intensidad que depreda al fitoplancton depende de la estructura morfológica de cada especie (Pulido López, 2015 p. 19).

A pesar de las limitantes de interrelación fisicoquímicas y biológica, la población de fitoplancton en la zona de estudio en esta época de verano, fue abundante ($5.94 \text{ cel} \times 10^5 / \text{ml} \pm 0,89$). Esto es, porque la mayoría de microalgas se reproducen por división binaria (Arredondo y Voltolina, 2007), y su tiempo de renovación en la columna de agua es cada día (Odum, 1972; Uma et al., 2013; Alienes, 2014).

Así, en las estaciones de muestreo E-4, E-5, E-6 y E-7 se observó la mayor concentración celular ($6.39 \text{ cel} \times 10^5 / \text{ml}$), ello fue, porque en ese tramo de la laguna mayor, pasa el Canal Sangradero que alimenta con aguas con alto contenido de materia orgánica que va a esta laguna, tal como lo menciona Álvarez Gutiérrez, (2016 p. 37).

Además, alrededor de la estación de muestreo E-6, se observó la presencia de gallinazos de cabeza negra, el olor del agua a heces de esta ave, hizo notar la acumulación de elementos nutritivos, ello favoreció el incremento del fitoplancton con células de diámetro $> 6\mu$ (cianobacterias), y de otras especies como *Euglena sp.*, *Trachelomonas sp.* y *Cryptomonas sp.* Que también fue reportado por Montoya (1984) como se citó en Guillen Aguirre (2002), la especie *Euglenas gracilis*, es indicadora de contaminación y *Cryptomonas sp.*, especie tolerante a altas concentraciones de materia orgánica.

En el presente estudio, la División Chlorophyta fue la más abundante (45.45%), similar a lo encontrado por Cepeda, (2016) quien reporta para el primer bimestre (enero –febrero) las Chlorophytas con un 51%, seguido de las Bacillariophytas (35%) y las Cyanobacterias (14%). Así, también en otros humedales como el humedal Cañoncillo del departamento de la Libertad, Bopp, (2019) encontró más especies de chlorophyta (34.9%); mientras que Altivez et. al., (2012) encontró mayor predominio de Bacillariophytas en humedales del departamento mencionado.

En la zona de estudio en esta época de verano hubo alta población de fitoplancton, que es alimento para el zooplancton y estos son alimento para la población de peces y estos últimos son alimento favorito para las aves. Se puede notar que la presencia del fitoplancton es muy valiosa no solo para la captura de CO₂, sino también para que se desarrolle de manera equilibrada la cadena trófica característica de este medio acuático. Entonces, al haber abundante población de fitoplancton existe abundante población de aves. Esto corrobora INRENA, (1998) quien señala que a partir del mes de octubre de cada año llegan bandadas de aves entre 4 000 y 8 000 al humedal Pantanos de Villa y se quedan durante primavera y verano.

Así mismo, en los ecosistemas acuáticos las variables fisicoquímicas y biológicas están interrelacionadas unas con otras, así el dióxido de carbono (CO₂) es reducido por la fotosíntesis y aumentado por la respiración de numerosos organismos. El pH está en función a la concentración de CO₂ disuelto en el agua, de modo que su cambio depende de la capacidad amortiguadora del agua conocida como “sistema de carbonatos” que ocurre cuando el CO₂ entra en combinación química con el agua formando ácido carbónico (H₂CO₃) y este a su vez reacciona con las piedras calizas disponibles para formar carbonatos (-CO₃) y bicarbonato (-HCO₃) (Odum, 1972).

Esta capacidad de amortiguación ocurrió en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa permitiendo comprender la armonía de las reacciones fisicoquímicas y biológicas en bien de mantener el equilibrio de su buen funcionamiento, lo cual se corroboró con los valores promedio de pH que estuvieron dentro del rango establecidos por ECA categoría 4, E1 lago y lagunas

(valores de 6,5 a 9,0). Así mismo los valores de conductividad eléctrica a pesar que supero lo reglamentado por ECA (1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), su valor nos indica, la gran cantidad de iones (Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , $-\text{CO}_3$, $-\text{HCO}_3$...) disuelto en el agua de la laguna mayor, cuya presencia ayudo a mantener este sistema de amortiguación que dan lugar la abundante vida en esta laguna.

En la tabla 39, se muestra datos fisicoquímicos de diferentes investigaciones realizados en el humedal Pantanos de Villa, principalmente en época de verano, que sirvió para comparar con los resultados encontrados en presente estudio. Los resultados encontrados de temperatura del agua fue similar al resultado por Cepeda, (2016) quien reporto una temperatura de 26 °C y el valor de pH encontrado fue similar a lo obtenido por Álvarez Gutiérrez, (2016) y PROHVILLA, (2019) quienes registraron un valor de 7.72 y 8.07 respectivamente y difiere a lo encontrado por INGEMMET, (2019) quienes reportaron un valor de pH 9.72; en cuanto al valor de conductividad eléctrica fue semejante a lo encontrado por Cepeda, (2016); Álvarez Gutiérrez, (2016); INGEMMET, (2019) quienes también obtuvieron valores altos al Estándar de Calidad Ambiental (1000 Us/cm).

Tabla 39

Parámetros fisicoquímicos del agua en investigaciones realizados en el humedal Pantanos de Villa

Zona	Tiempo	T (°C)	pH	CE (uS/cm)	Autor
Agua de RVSPV	a	28.89 ±1.56	8.07±0.08	6194.63 ±228.43	PROHVILLA, (2019)
Laguna principal	Dic, 2013	23.51 ± 0,001	7.72±0.02	9620 ± 0.03	Álvarez Gutiérrez, (2016)
Laguna mayor	Enero-abril	26.00	8.10 ±1.27	8950 ± 635.08	Cepeda Agurto, (2016)
Laguna Marvilla	b	25.5 ±1.2	8.80 ± 0.3	4616.7 ±160.0	Huamán et.al., (2020)
Laguna- Delicias de Villa		20.2± 1.66	7.53± 0.12	385.267± 2.12	Ita Vejarano, (2017)
Laguna mayor	25/01/2018	24.0	9.72	10090	INGEMMET, (2019)
Laguna mayor	c	25.93 ±1.64	7.82± 0.31	7455.43 ±118.55	Presente estudio

Nota. La abreviatura RVSPV: Refugio de Vida Silvestre de los Pantanos de Villa y la letra (a) periodo: Nov-dic,2019 y enero-febrero 2020; (b) periodo de octubre 2019 a agosto 2020 y (c) periodo diciembre 2020 y enero 2021

También, el parámetro de oxígeno se obtuvo valor promedio de 9.18 mg/L está dentro de lo reglamentado por el ECA categoría 4, E1 lago y lagunas (> 5mg/L) (D. S. N° 004-2017-MINAM), esto es debido a que en el agua el oxígeno presenta dos fuentes de provisión: por difusión del aire y por la fotosíntesis a través de las plantas acuáticas (Odum, 1972 p. 139). Similar resultado encontró García y Cruz, (2013 como se citó en Pulido López, 2015) quienes señalan el elevado oxígeno es por un buen proceso de fotosíntesis tanto las algas fitoplanctónicas como las macrófitas sumergidas.

Según Odum, (1972) los nitratos en el agua, es por la existencia del 80% de nitrógeno (N) en el aire que permite la seguridad de abastecer con nitratos a todo el ecosistema acuático, gracias a la fijación y/o desnitrificación de numerosas bacterias que hacen este trabajo o las algas verdeazul conocidas como cianobacterias. En la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa se registró un porcentaje de 27.27%, es posible que ayudo a la concentración de este nutriente en el agua.

Según los resultados, la concentración de nitratos en el área de estudio, supero el valor establecido de 13.00mg/L por los estándares de Calidad Ambiental (ECA) en la categoría 4 subcategoría E1 para lagos y lagunas. Este alto valor 23.52mg/L, es posible que fue, porque 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, heces de animales como ovejas, agua residual entre otros. Corroborado por INGEMMET, (2019) quienes encontraron 23mg/L de nitrato en las aguas de la laguna mayor, señala, que es debido a la intensa actividad biológica de fauna y flora. Además, este mismo autor, encontró elevada concentración de nitratos en el agua superficial de manantiales que vierten sus aguas a la laguna mayor, con un valor promedio de 294.66mg/L superan el ECA (50mg/L Categoría 1 subcategoría A1) y en calicatas valores 208.59mg/L que también superan el ECA (100 mg/L Categoría 3 subcategoría D1). Cabe indicar que esta elevada concentración ha sido registrada en años anteriores por Álvarez Gutiérrez, (2016) quien concluyo que las lagunas de Pantanos de Villa (Mayor, Génesis, Anap y Marvilla) presentan un estado hipereutrofico con altos niveles de nitrógeno de 2.2mg/L -

56.6mg/L provienen principalmente de detergentes que utiliza la población aledaña por lavado de carros, motos, ropa en los canales de abastecimiento y esta agua llega a la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa. Similar resultado encontró Huamán et. al, (2020), en la laguna de Marvilla con valores de nitratos a $132,9 \pm 30,7$ mg/L.

La fuente de los fosfatos presente en la naturaleza proviene de la presencia de fósforo cuyo depósito está en las rocas fosfatadas, depósitos de guano, depósito de huesos, excretas. Así mismo se obtiene por la descomposición de compuestos orgánicos que las bacterias fosfatizantes lo convierten en fosfatos, listo para ser asimilados por las plantas y fitoplancton (Odum, 1972). Así, los valores de fosfatos en la laguna mayor del humedal, tuvo un promedio de 0.06mg/L, fue concordante con el resultado encontrado por Ita Vejarano (2017) cuyo valor promedio fue de 0.064 ± 0.01 mg/L en la laguna cerca de la Urbanización las Delicias de Villa. Y difiere a los resultados de Álvarez Gutiérrez, (2016) quien en el mes de diciembre del 2013 evaluó zonas de afloramientos, encontró fósforo total promedio de 18.406 ± 0.004 ppm (fosfato 56.32 ppm), en canales superficiales fósforo total promedio 3.067 ± 0.003 (fosfato 9.39 ppm), y la laguna mayor registro fósforo total promedio $2.923 \pm 0,004$ ppm (fosfato 8.94 ppm) que aludió a la alta concentración de detergentes MBAS, principalmente en la zona de afloramiento (2.23 ± 0.001 ppm). También fue diferente a lo reportado por Quiroz Santos, (2019) quien encontró un valor de 0.128 mg/L en la laguna principal del Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo (ACRAMM).

Los altos registros principalmente de nitratos y fosfatos reflejo la continua contaminación que la laguna mayor de manera indirecta fue afectada. Este problema de contaminación, se vio en años anteriores (León et. al., 1995). Pulido y Bermúdez, (2018) señalan que es producto de la presión humana y el inadecuado manejo del agua. Lo cual es corroborado por el Ministerio Agricultura, (1996); INGEMMET, (2019); PROHVILLA, (2019 p.20); INEI, 2020b); Huamán et. al., (2020). Así mismo, lo confirma la recolección de 16 toneladas de residuos sólidos y 2528 m³ de desmonte en el circuito de canales y avenidas que

se encuentran alrededor del humedal realizado por PROHVILLA en el año 2020, como se citó en Municipalidad de Lima, (2022).

Respecto a la biomasa Odum, (1972) indica que mientras más pequeños son los organismos, mayor es el metabolismo por gramo de biomasa. El fitoplancton es un ejemplo de estos organismos, que presenta un alto metabolismo y una rápida renovación, ello, permite tener una mayor producción de biomasa en cantidades pequeñas de manera permanente (unos pocos centenares de gramos por hectárea).

El incremento de biomasa del fitoplancton viene determinado por varios factores, principalmente por la cantidad de nutrientes disponibles en la columna de agua, tal como lo menciona Beltran, (2016), la producción de fitoplancton está determinada por la cantidad de luz, CO₂ y la variación de formas nitrogenadas, fosfatadas y el ciclo hidrobiológico. Los resultados de Alienes, (2014) demuestra que el fitoplancton presenta alta tasa de crecimiento en aguas ricas en nutrientes alrededor de 1d/d (doble de carbono celular por día) dentro de la zona eufótica.

En la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa presento condiciones similares a aguas ricas en nutrientes por sus altos valores de nitratos y fosfatos, bajo valor de transparencia de 0.20 m, baja profundidad principalmente en las estaciones de muestreo E-4 (40.25 cm), E-5 (75.00 cm), E-6 (42.25 cm) y E-7 (48.25 cm), esto último dato, fue corroborado en el Monitoreo PROHVILLA, (2019) que registro el nivel de la columna de agua (entre 47 a 79 cm) en los limnimetros (L9, L10, L11 y L13) que se encontraron ubicados en la laguna mayor, como se observa en la tabla 40.

Tabla 40*Medida de limnimetros en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa*

Año	L3	L4	L9	L10	L11	L12	L13
2015	97.75	111.95	82.85	50.1	63.25	52.5	60.65
2016	92.71	109.5	82.88	49.21	67	51.67	60.42
2017	91.92	106.29	79.29	43	67.33	45.08	53.21
2018	92.5	100.38	78.67	46.54	67.5	46.96	54.92
2019	91.83	99.21	74.73	46.42	61.05	43.96	52.14
Promedio (cm)	93.34	105.47	79.68	47.05	65.23	48.03	56.27
Dism. Nivel agua	4.41	6.49	3.17	3.05	-1.98	4.47	4.38

Nota. Monitoreo de Limnimetros de PROHVILLA en los años 2015 al 2019.

En un ecosistema acuático como este humedal, ocurre el proceso de mezcla de capa de agua superficial y de fondo, por acción del viento, cambio de densidad y/o corrientes de agua (Odum, 1972; Roldan y Ramírez, 2008). Lo cual, permitió que los nutrientes nitratos y fosfatos favorezcan la producción de biomasa del fitoplancton.

La biomasa del fitoplancton (expresada en peso seco), según el análisis de varianza a nivel superficial (0.088g/L) y a 30 cm (0.085g/L) de profundidad estadísticamente no tuvo diferencia, demuestro que en la columna de agua hubo una producción de biomasa semejante. Por lo tanto, la biomasa promedio en peso seco, calculada a través del método gravimétrico fue de 0.086 g/L equivalente a 16.77g/m², fue aproximadamente una sexta parte menor a lo encontrado por Odum, (1972) quien encontró un valor de peso seco de 96 g/m² en el lago de Wisconsin de estados unidos. Sin embargo, proyectado en toda el área de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa se registró 8.72 t/día, difieren de lo reportado por Glave y Pizarro (2001) quienes encontraron una biomasa de 78.96 t/día en la Bahía independencia con un área evaluada de 60'552,968 m².

La clorofila "a", es un pigmento común de todos los organismos fotosintéticos, es un indicador de la biomasa del fitoplancton presente en el medio acuático (Odum, 1972). Según el método espectrofotométrico los resultados de clorofila "a" estadísticamente no tuvieron diferencia significativa tanto a nivel superficial y a 30 cm de profundidad, por lo que, el valor promedio de 9.73 mg/L fue inferior a lo reportado por Bonansea et. al., (2012) quienes señalan un valor de 24 mg/L a 20 cm de profundidad en el embalse de Córdova-Argentina. Mientras que, fue superior a lo reportado por Quiroz Santos, (2019), quien encontró un valor máximo de 2.42 mg/L en la laguna principal del Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo (ACRAMM). Así como también, superior a lo reportado por Guillén y Calienes (1981, como se citó en Alienes, 2014) quienes mencionan un valor de 0.00331 mg/L en agua superficial del mar en estación de verano; y a Hernández y Gocke (1990) y Granados et al., (2011) que registraron 0.059mg/L y 0.105mg/L respectivamente. Lo cual demuestra que la producción de biomasa del fitoplancton fue significativa en la zona de estudio en esta época de verano.

Es necesario indicar, que en el último muestreo la concentración promedio de clorofila "a" tuvo un descenso de 10.12mg/L a 5.30mg/L, ello posiblemente fue porque en el último muestreo se tuvo un día soleado, y ocurrió una fotoinhibición. Tal como lo señala Odum (1972, p.132) el fitoplancton tiende a verse inhibido por la plena luz del sol. Así también Tompsom, (2006) indica que cuando la radiación de la luz es alta, se produce un proceso de foto inhibición, las células entran en un estado de protección. Por ello, se notó la disminución de los valores de clorofila "a".

El carbono es uno de los elementos más importante del planeta, porque se encuentra formando parte de todo ser vivo y es aproximadamente en proporción 0.5 de la biomasa (Odum, 1972 p. 40; Reynolds, C., 1984 p.37; Buehner et al., 2009, como se citó en Boffil et al., 2012 p.31; Martínez y Leyva 2014, p.17).

Así, según el método gravimétrico el análisis de varianza de la cantidad de carbono en la biomasa de fitoplancton, no tuvo diferencia significativa tanto en a nivel superficial (0.044 ± 0.006 g/L) como a 30 cm de profundidad ($0.042 \pm$

0.008 g/L). Similar comportamiento se notó para el método espectrofotométrico a nivel superficial (0.289 ± 0.052 g/L) como a 30 cm de profundidad (0.238 ± 0.057 g/L), demostrando que la cantidad de carbono en la biomasa de fitoplancton en columna de agua fue igual.

Según Margalef (2002) menciona que el límite superior de la producción se sitúa entre 5 y 10 gC/m²/día. En el presente estudio, estuvo dentro del rango indicado, con un valor de 8.39 gC/m²/día (según el método gravimétrico); mientras que, según el método espectrofotométrico, la cantidad de carbono en la biomasa fue 52.67 gC/m²/día, lo cual fue superior a lo obtenido por Alienes, (2014) quien registro valores mayores a 12 gC/m²/día en zona de afloramiento de la franja costera peruana. Demostrando que el fitoplancton presente en la zona de estudio, realizó una significativa conversión de carbono inorgánico (CO₂) a carbono orgánico. Además, el valor alto de carbono encontrado por segundo método, fue porque este método es específico, mide exclusivamente la cantidad de clorofila “a”, por ello es utilizado en la mayoría de investigaciones de producción primaria. Por lo tanto, la cantidad de carbono en biomasa de fitoplancton registrado en toda el área de estudio, para ambos métodos, presento valores de 0.084 tC/ha/día y 0.527 tC/ha/día respectivamente. Dichos valores fueron superiores a lo reportado por Hernández y Gocke (1990) con 0.059 tC/ha/día, y Granados et al., (2011) con 0.015 tC/ha/día.

Respecto al CO₂ capturado por fitoplancton según Álvarez-Borrego, como se citó en Hernández de la Torre y Gaxiola, (2007 p. 12-28), señala que a través de épocas geológicas ha removido más del 99% del CO₂ presente en la atmósfera por actividad volcánica y lo ha sedimentado al fondo marino formando las rocas calcáreas y combustibles fósiles.

Por lo tanto, el fitoplancton cumple un papel muy importante en la captura del CO₂, a través del proceso de la fotosíntesis, que ocurre en el mar, ríos, lagos, lagunas, aun en un pequeño charco de agua (Montoya, 1974; Samanez y Zambrano, 1995; Cobos et. al., 2012; Mendoza, 2015; Cepeda, 2016; Chávez et. al., 2020). Esto sucede, porque en la columna de agua existe la zona eufótica, donde ocurre un flujo aire-agua que aporta CO₂ a una manera inagotable, permitiendo que la actividad fotosintética se produzca cada instante, capturando

el CO₂ presente en el ecosistema acuático (Hernández de la Torre y Gaxiola, 2007).

Considerando, que por cada gramo de carbono fijado se retira 3.667 gramos de CO₂ de la atmosfera (García Cubero, 2014). Los resultados de 0.308t CO₂/ha/día y 1.93tCO₂/ha/día en ambos métodos, dicha cantidad de CO₂ fue retirado de la atmosfera de la zona de estudio. Estos valores fueron superiores a lo reportado por Glave y Pizarro (2001) y Hernández y Gocke, (1990) que registró 0.030tCO₂/ha/día y 0.218tCO₂/ha/día respectivamente.

Este servicio de captura de CO₂ por unidad de área anual, calculado a partir de registros de carbono por día (5.94 gC/m²/día) (Hernández y Gocke, 1990) a un año fue 79.497tCO₂/ha/año; así en Glave y Pizarro (2001); Gutiérrez et al., (2006) y Granados et. al., (2011), también, estos valores fueron inferiores a lo calculado. Mientras que si se compara con otra especie como el junco cuyo valor fue 896.27tCO₂/ha/año (Gutiérrez, 2017), se aproxima a lo calculado, tal como se indica en la tabla 41.

Tabla 41

Captura de CO₂ por recursos en ecosistemas costeros

Lugar	CO ₂ capturado		
	Recurso	tCO ₂ /ha/año	Autor
Humedales de Puerto Viejo	Totora	73.7	Palomino, (2007)
Humedales Villa María	Totora	84.05	Pérez et. al., (2015)
Albufera Medio Mundo	Junco	896.27	Gutiérrez, (2017)
Laguna costera-Colombia	Fitoplancton	79.497	Hernández y Gocke, (1990)
Bahía Independencia-Perú	Fitoplancton	10.975	Glave y Pizarro, (2001)
Sistema lagunar-México	Fitoplancton	180.32	Gutiérrez et. al., (2006)
Laguna costera-Colombia	Fitoplancton	20.075	Granados et. al., (2011)
Laguna mayor del humedal Pantanos de Villa	Fitoplancton	704.902	Presente trabajo

Nota. La totora, junco se regenera cada año (Palomino, 2007), mientras que el fitoplancton multiplica cada día (Odum, 1972)

Ello, indico que el fitoplancton presente en la zona de estudio, tuvo buena producción biomasa, por ende, mayor captura de CO₂ en esta época de verano. Zubkov, (2014), indica que estos organismos presentan rápido recambio de biomasa en el orden de días o incluso horas. Así mismo, es corroborado por Odum, (1972 p.88) quien, a través de una evaluación del cambio estacional en la pirámide de la biomasa de plancton en la columna de agua, encontró una mayor producción de peso seco neto en primavera (100 mg/m³) que en invierno (2 mg/m³).

Los humedales son activos naturales con un gran valor en su estado natural que aportan productos y servicios ambientales (Maltby & Acreman, 2011; Barbier et. al., 1997). Por lo tanto, valorar económicamente el servicio ambiental de un ecosistema acuático, busca medir y comprender mejor los beneficios brindados.

La investigación, tomó solo uno de estos servicios, el servicio de regulación, la captura del CO₂ por fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, encontrando un valor económico de \$2.602/ha/día según el método gravimétrico y \$16.339/ha/día para el método espectrofotométrico, mostrando que el CO₂ presente en la zona de estudio tiene un valor, el fitoplancton al capturarlo a través del proceso de fotosíntesis le da ese valor económico; el fitoplancton junto a los otros organismos fotosintéticos ayuda al servicio de regulación en este humedal.

Debido a la escasa información de valor económico por el servicio de captura del CO₂ por fitoplancton se calculó a partir de los registros de carbono (*) (tabla 42) y se multiplico por el precio de mercado \$8.461/tCO₂. Así, Glave y Pizarro (2001) fue \$0.301/ha/día; Granados et. al., (2011) (\$0.465/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 que fue \$2.602/ha/día y \$ 16.339/ha/día respectivamente.

Al proyectar a un año, los valores económicos obtenidos en el presente estudio para ambos métodos se registró \$ 49 382.209/año y \$ 310 122.475/año, este último fue superior a lo reportado por Glave y Pizarro (2001) quien registró un valor de \$ 181 124.00/año (a un costo de \$10/tCO₂). Mientras que, al comparar con otros trabajos de diferente flora acuática (plantas, algas) e incluso en suelos. El valor económico fluctuó de \$28.92/ha/año a 4 millones de dólares/año, como se muestra en la tabla 42; encontrando que el valor económico calculado en el presente trabajo representa un valor económico a considerar.

Tabla 42

Valor económico por servicio ambiental de la captura del CO₂ en diferentes recursos

Ecosistema/procedencia	Recurso/Serv.Amb.	Precio de carbono	Valor económico	Autor
Humedales/s-varios paices Marino	Regulacion gas Algas marinas		\$133/ha/año \$28.92/ha/año	Costanza et al., (1997) Costanza et al., (2012)
Marino de la Corriente de Humboldt-Peru	Regulacion clima	\$38/ha	\$419.7/año	Salgado et. al., (2015)
Humedal Yanayacu-Ancash	Vejetales	\$13.12/tCO ₂	\$41 189.02/año	Hidalgo et. al., (2011)
Bofedales de Pilpichaca-Huancavelica	Suelo	\$15/tCO ₂	\$160.83/ha	Crispin y Jimenes, (2019)
Humedal Pantanos de Villa-Lima	Comunidades vegetales	10 y 188 (\$/tC/año)	220 mil y 4 millones	Aponte et. al., (2021)
Marino-Bahia idependencia-Peru	Fitoplancton	\$10/tC	\$/0.301/ha/dia*	Glave y Pizarro, (2001)
Laguna costera-Colombia	Fitoplancton	\$8.46/tCO ₂	\$1.843/ha/dia*	Hernandez y Gocke, (1990)
Sistema lagunar-Mexico	Fitoplancton	\$8.46/tCO ₂	\$4.175/ha/dia*	Gutierrez et. al., (2006)
Laguna costera-Colombia	Fitoplancton	\$8.46/tCO ₂	\$0.465/ha/dia*	Granados et. al.,(2011)
Franja Costera-Chimbote	Fitoplancton	\$8.46/tCO ₂	\$3.723/ha/dia*	Alienes, (2014)
Laguna mayor del HPV	Fitoplancton	\$8.46/tCO ₂	\$16.339/ha/dia \$ 2.602/ha/dia	Presente trabajo

Nota. La totora, junco se regenera cada año (Palomino, 2007), mientras que el fitoplancton multiplica cada día (Odum, 1972)

Al considerar la captura del CO₂ por fitoplancton de 15.991 tCO₂/día y 100.424 t CO₂/día para ambos métodos, se proyectó al año, un valor de 5836.727 tCO₂ y 36654.903tCO₂, que en Créditos (1 CER=1 tonelada CO₂) equivale entre 6 y 37 mil CER (Certificados de Emisiones Reducidas) (FAO, 2010; Manzur y Alva, 2013), similar cantidad en VCU (Unidad de carbono verificado) en el Mecanismo Estándar Verificado de Carbono (VSC) en el mercado voluntario; que puede ser comprado por diferentes países, por el fondo de Biocarbono del Banco Mundial o por el sector privado. Al ser vendidos se obtendría entre \$ 49382.209/año y \$ 310122.475/año respectivamente; el beneficio en ingreso serviría para el mantenimiento y cuidado del humedal o para implementar proyectos de reducción de emisiones.

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, en nuestro país, ha iniciado en los últimos años la venta de créditos de carbono a través de proyecto REDD+ en Áreas Protegidas, mediante el mecanismo VCS (Dilas et al.,2020). Ello, nos permite visualizar que hay mercado para los créditos de carbono que brinda el área de estudio. Así mismo, la tendencia de crecimiento de este mercado, otorga estabilidad, tal como menciona el Grupo de Trabajo sobre la Ampliación de los Mercados Voluntarios de Carbono (TSVCM), quien realizó una planificación para reforzar y regular a escala mundial el mercado de compensaciones voluntarias de carbono (TSVCM, 2021). Ello, permitirá conservar a este humedal como ecosistema vital (Maltby & Acreman, 2011; Balmford et. al., 2002) y se pueda contribuir con la meta de reducción de carbono para el 2030 en el país.

CONCLUSIONES

1. La zona de estudio fue afectada por la contaminación aledaña que presento altos valores de nitratos y fosfatos que superaron los ECAS categoría 4, lo cual ayudo al crecimiento del fitoplancton, encontrando predominancia de phylum Chlorophyta (45.45%), Cianobacteria (27.27%), Bacillariophyta (18.18%), con una densidad celular promedio $5.94 \times 10^5 \pm 0.89$ cel/mL, con índice de Shannon de 2.63.
2. La cantidad de biomasa seca del fitoplancton en el área de estudio fue 0.168 t/ha/día y 824.27 toneladas en época de verano y clorofila "a" del fitoplancton fue 0.019 t/ha/día y 91.03 toneladas en época de verano.
3. La cantidad de carbono almacenado en biomasa del fitoplancton fue 0.084 t/ha/día y 394.47 toneladas en la época de verano según método gravimétrico y 0.527t/ha/día con 2477.29 toneladas en época de verano según método espectrofotométrico. La cantidad del CO₂ capturado por el fitoplancton fue 0.308t/ha/día y 1439.19 toneladas en época de verano según método gravimétrico y 1.931t/ha/día con 9038.19 toneladas en época de verano según método espectrofotométrico.
4. El valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton en ambos métodos fue de \$2.602/ha/día y \$16.339/ha/día respectivamente.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere a la institución PROHVILLA y SERNANP, incrementar investigación sobre valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton, 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), utilice el método espectrofotométrico.
2. Se propone formular proyectos de valor económico del CO₂ capturado por vegetación terrestre y fitoplancton en el humedal Pantanos de Villa, y captar financiamiento internacional del fondo de Biocarbono del Banco Mundial o del sector privado.
3. Se sugiere 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 BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Samanamud, C., Chang Avila, L., Ynga Huaman, G., Oscanoa Huaynate, A., y Flores Ramos, L. (2011). Compendio Metodológico para la extracción de lípidos totales a partir de biomasa microalgal. Instituto del Mar del Perú. Lima-Perú.
- 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/handle/20.500.12958/2302>
- Alencastre Torres, L.E. y Zafra Salas, 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]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/58201>
- Altivez Izquierdo, E., Fernández Honores, A., Peláez Peláez, F., y Medina Tafur C. (2012). Calidad ecológica de los humedales de la provincia de Trujillo, Perú, en base a la flora acuática. Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas (REBIOL), 32 (1), 64-103. http://aplicaciones.cientifica.edu.pe/repositorio/catalogo/_data/20161107115045_111.pdf.
- Álvarez, Gutiérrez, C. (2016). Determinación analítica de detergentes en las aguas de los Pantanos de Villa. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7570>
- Aminot, A., & Rey F. (2002). Standard procedure for the determination of chlorophyll a by spectroscopic methods. Noruega.
- Ampuero Reyes 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].
<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>

Arnon D. (1949). Copper enzymes in isolated Chloroplast. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24(1), 1–15. doi: 10.1104/pp.24.1.1
<https://academic.oup.com/plphys/article/24/1/1/6076157>

Arredondo Vega, B. O. y Vasquez R. D. (1991). Aplicaciones Biotecnológicas en el cultivo de microalgas. *Ciencia y Desarrollo*, XVII, 98. México.

Arredondo Vega, B. O. & 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.

Astocondor, M., Mayta Huatuco E., Montoya Terreros H., Tarazona Delgado R. (2017). Crecimiento Poblacional y Productividad de la Microalga Nativa *Chlorella peruviana* 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, y R., Farber, S., (2002). Economic reasons for conserving wild nature. *Science* 397, 950–953.

Banco Mundial (2017). State and Trends of Carbon Pricing. <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/carbon-pricing>

Banco Mundial, (2018). Emisiones de CO₂ (toneladas métricas per cápita) – Perú. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2.E.PC?locations=PE>

- Banco Mundial (2020). "Situación y tendencias de la fijación del precio al carbono 2020", Banco Mundial, Washington, DC. DOI: 10.1596/978-1-4648-1586-7. <https://openknowledge.worldbank.org/discover>
- Barbier, E., Acreman M., y Knowler D., (1997). Valoración económica de los Humedales. Guía para decisores y planificadores. Oficina de la Convención de Ramsar.
- Barbier, E.B. (2011). Wetlands as natural assets. *Hydrological Sciences Journal*, 56 (8), 1360–1373. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2011.629787>
- Beltran Vargas J. E. (2016). Modelación de la producción primaria fitoplanctónica en el Humedal Jaboque, Bogotá D.C. *Revista Tecnura*, 20(47), 85-95. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.1.a07>
- Bicudo, C. E. y Menezes, M. (2005). Géneros de algas de aguas continentais do Brasil. Clave para identificacao e descricoes. RiMa Editora. Brasil.
- Bofill, Y; García, A; Castellanos J. (2012). Estimación Cuantitativa preliminar de índices de Producción de Biomasa Microalgal a partir de la Reacción de Fotosíntesis. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. *Tecnología Química Vol. XXXII*, (1), 31. Santiago de Cuba.
- Bonanseña, M., Ledesma C., Rodríguez, C., Sánchez Delgado 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 & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 7(3), 61-71. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.847>.
- Bopp Vidal, 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]. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15276>

- Butchart, S.H., Akçakaya, H.R., Chanson, J., Baillie, J.E.M., Collen, B., Quader, S., Turner W. R., Amin R., Stuart S.N., Taylor C. H. (2007). Improvements to the Red List Index. PLoS ONE, 2(1), e140. <https://doi:10.1371/journal.pone.0000140https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-3-2-p-243.pdf>
- Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico (2016). Estimación del Precio Social del Carbono para la Evaluación Social del Carbono para la Evaluación Social de Proyectos en el Perú, por encargo de la Dirección General de Inversión Pública del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), en el Proyecto FinanCC Perú- Programa CF Ready. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/parametros_evaluacion_social/Precio_Social_Carbono.pdf
- Cepeda Arguto, 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]. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/1466>
- Cobos Ruiz, M., Castro Gómez, J. C., Del Águila Chávez, J. y Soplín, B. H. (2012). Identificación de Microalgas Oleaginosas en el Área de Concesión para la Conservación, Cuenca Alta del río Itaya. Loreto-Perú. Ciencia Amazónica (Iquitos), 2 (2),162-168. <https://dialnet.unirioja.es>
- 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 p. https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/Protocolos_muestreo_biologico_con_portada_tcm30-214764.pdf
- Consorcio de Agua SCM. (2019-2020)." Sectorización del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de la parte alta de Chorrillos-Matriz Próceres-Chorrillos". Informe de Monitoreo Ambiental trimestrales. (Informes Internos-PROHVILLA).

- Congreso de la República (2020). El Precio al Carbono. Comisión Especial de Cambio Climático del Congreso de la República. Hoja Informativa. <https://www.congreso.gob.pe>
- Costanza, R., De Groot A. R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. & Van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, 25(1), 3-15.
- 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>
- Costas E. y López V. (2011). El papel del fitoplancton en el cambio climático: ¿cuánto depende nuestro destino de unas pequeñas microalgas? Universidad Complutense de Madrid 2011.
- Cuellar Bermudez S.P., García Pérez J.S., Rittmann Bruce, 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>
- Crispin Cunya M. y Jimenez Diaz L. A. (2019). Valoración económica ambiental de los bofedales del distrito de Pilpichaca, Huancavelica, Perú. *Natura@economía* 4 (1), 1-13. <http://dx.doi.org/10.21704/ne.v4i1.1299>
- Chávez Veintemilla C., Pezo, R. y Vásquez, E. (2020). Diversidad Planctónica de los Cuerpos de agua en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Loreto-Perú. *Folia Amazónica*, 29 (2), 353-370. <https://revistas.iiap.gob.pe/index.php/foviaamazonica/article/view/536/571>
- Decreto Supremo N°003-2008-MINAM [Ministerio del Medio Ambiente]. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire. 22 de agosto de 2008.

Decreto Supremo N°085-2003-PCM [Ministerio del Ambiente]. Aprueban el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido. 21 de octubre del 2003.

Decreto Supremo N°055-2006-AG [Ministerio de Agricultura]. Disponen la categorización de la Zona Reservada Los Pantanos de Villa. 27 de diciembre del 2006.

Decreto Supremo N°003-2008-MINAM [Ministerio del Ambiente]. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire. 21 de agosto del 2008.

Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM [Ministerio del Ambiente]. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias. 7 junio del 2017.

Decreto Supremo N.°004- 2017-MINAM [Ministerio del Ambiente]. “Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias». 7 de junio del 2017.

Decreto Supremo N° 006-2021-MINAM [Ministerio del Medio Ambiente].

Aprueban las “Disposiciones generales para la gestión multisectorial y descentralizada de los humedales”. 5 de mayo del 2021.

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

- Eguren C. L. (2004). El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas. Santiago de Chile. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5620/1/S043136_es.pdf
- Fundación Peruana para la Conservación de la Naturaleza (ProNaturaleza), (2010). Humedales en la Costa Peruana. http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/humedales_de_la_costa_peruanavf.pdf
- García Cubero, R. (2014). Producción de Biomasa de Microalgas rica en carbohidratos acoplada a la eliminación fotosintética de CO₂ [Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, España]. <https://digital.csic.es/handle/10261/101928>
- Gocke K., y Hernández C. A. (1994). Determinación comparativa de la producción primaria con las técnicas de ¹⁴C y O₂ en aguas salobres con diferentes grados de Eutrofización. Boletín Investigaciones Marinas y Costeras, 23(1), 45-58.
- Gonçalves dos Reis M. and Ribeiro Aristides (2020) Conversion factors and general equations applied in agricultural and forest meteorology. Revista Agrometeoros, Passo Fundo, 27(2), 227-258. DOI: <https://dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26527>
- Glave Manuel T., y Pizarro R. (Eds.) (2001). Valoración Económica de la Diversidad Biológica y Servicios Ambientales en el Perú. IRG/BIOFOR (pp.44-70). <https://www.academia.edu>.
- Global Carbono Project (2021). Presupuesto Mundial de Carbono. <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/22/infographics.htm>
- Granados Martínez C., Rodríguez Chila J., López Salgado 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.

- Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2002). Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico V. <https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC) (2020). El Cambio Climático y la tierra. Resumen para responsables de política. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf
- Guamán, M. y González N. (2016). Catálogo de Microalgas y Cianobacterias de agua dulce del Ecuador. Corporación de Investigación Energética. Quito, Ecuador. <https://www.academia.edu>
- Guillen Aguirre, G.K. (2002). Diversidad Protozoológica de los Pantanos de Villa, Chorrillo-Lima-Perú. [Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/817>
- 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 vol.16 (2). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972006000200004
- Gutiérrez Rosas, 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”. [Tesis de Grado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. <http://repositorio.ucss.edu.pe/handle/UCSS/303>
- Guiry & 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, M. (2010). Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. Terra Latinoamericana, 28(2),139-

147. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792010000200005&script=sci_abstract

Hernández-J. C.A., y Gocke K. (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, M. y Moreno-Casasola P. (2018). Almacenes y flujos de carbono en humedales de agua dulce en México. *Revisión Bibliográfica. Madera bosques vol.24 spe Xalapa*. doi.org/10.21829/myb.2018.2401881

Hidalgo, P. C.; Espinoza P. T.; 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>

Huamán, S. V., Lucen M. E., Paredes, M. V., y Changanaqui, D. A. (2020). Evaluación de la calidad del agua de la laguna Marvilla en los Pantanos de Villa (Lima, Perú). *South Sustainability*, 1(2). DOI: 10.21142/SS-0102-2020-019.

Huber-Pestalozzi, P., Komarek, Trebon. J., Fott Praha, B. (1983). *Das Phytoplankton des Sübwassers*. Printed in Germany.

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>

Instituto Nacional de Recursos Naturales (1998). Plan maestro Pantanos de Villa. Refugio de vida silvestre. Ministerio de Agricultura. Lima. 83 pp. https://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/biblioteca/publicaciones/ZR_Pantanos_de_Villa/Plan_maestro_1998-2003_RVSPantanosdeVilla.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2019a) "Compendio Estadístico Provincia de Lima 2019".

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib_1714/Libro.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2019b). Perú: Estructura empresarial. <https://www.inei.gob.pe/buscador/?tbusqueda=empresarial>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2020a). Planos Estratificados de Lima Metropolitana a nivel de Manzanas 2020. <https://www.inei.gob.pe/buscador/?tbusqueda=Plano+estratificados+de+Lima+a+nivel+de+manzanas>.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2020b). Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2020. <https://www.inei.gob.pe/buscador/?tbusqueda=ANUARIO+2020>

Ita Vejarano D. C. (2017). "Capacidad de absorción de fosfato del Jacinto de agua *Eichornia crassipes* para la mejora de la calidad de las aguas de los Pantanos de Villa, Chorrillos, 2017" [Tesis de Grado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/10352>

Kandus, P.; Morandeira, N.; y Schivo, F. (Eds.). (2010). Bienes y Servicios Ecosistémicos de los Humedales del Delta del Paraná. Fundación Humedales/Wetlands International. Buenos Aires, Argentina. https://produccion-animal.com.ar/regiones_ganaderas/27-Ecosist_del_Delta-2010.pdf

Lee, R. E., (2008). Phycology. fourth edition. <http://deskuenviis.nic.in/pdf/PhycologyLee.pdf>

León B.; Cano A.; y Young, K. (1995). La Flora Vasculare de los Pantanos de Villa, Lima, Perú: Adiciones y guía para las especies comunes. Publicaciones del Museo de Historia Natural Universidad Nacional Mayor de San Marcos (B), 38,1-39. https://museohn.unmsm.edu.pe/pub_bot.html

Lizarzaburu J. (1992). Plano del área ecológica de la laguna de Villa: Zona de Vida Natural. Boletín de Lima, Lima, 83: 65-70.

- López German, C.A. V. (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]. <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. Doi: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1430>.
- López y Vela (2011). Densidad y diversidad del fitoplancton de la cocha Llanchara, en los periodos hidrológicos de creciente y media vaciante, Loreto, Perú. *Conocimiento Amazónico*, 2(2), 157-166. <https://revistas.unapikitos.edu.pe>
- Manzur, Y., y Alva, M. (2013). Bonos de Carbono: Una oportunidad para el Perú. [Tesis Grado, Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/4662>
- Maltby, E. & 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. (1986). *Ecología*. Barcelona, España. Editorial Omega.
- Margalef, R. (2002). *Teoría de los sistemas ecológicos*. Alfa Omega Grupo Editor. Universitat-Barcelona. México.
- Martínez Romero A., y Leyva Galán, 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>
- Mendoza, Carbajal L.H. (2015). Diversidad algal excepto (Bacillariophyceae) asociadas a macrófitas en la laguna El Oconal, Villa Rica, Oxapampa, Pasco, durante la época de transición vaciante-creciente [Tesis Grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/4014>

- 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. p.11-17. <https://www.minam.gob.pe>
- Ministerio de Agricultura (1996). Zona Reservada Los Pantanos de Villa. Ficha Técnica. http://aplicaciones.cientifica.edu.pe/repositorio/catalogo/_data/85.pdf
- Ministerio del Medio Ambiente (2015a). Manual de Valoración Económica del Patrimonio Natural. <https://www.minam.gob.pe>
- Ministerio del Medio Ambiente (2015b). Estrategia Nacional de Humedales. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2574-estrategia-nacional-de-humedales>
- Ministerio del Medio Ambiente (2016). Guía de Valoración Económica del Patrimonio Natural. 2da Edición. <https://www.minam.gob.pe>
- Ministerio del Medio Ambiente (2019). Humedales y Cambio Climático. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2019/03/Humedales-y-Cambio-Climatico.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente (2021). Resumen Ejecutivo de INGEI (2016). <https://infocarbono.minam.gob.pe/annios-inventarios-nacionales-|gei/ingei2016/>
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005). Ecosystems and Human Well-Being. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.353.aspx.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 Anexo 3-RD006-2021EF630.pdf
- Montoya, H. T. (1974). Estudio Preliminar de las algas de la zona de Pucallpa.

Revista Peruana de Biología, (1),17-30.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/8398>

Montoya, H. T. (1984). Algas de la laguna de Villa (Lima). Cyanophytas, Chlorophytas y Crysophytas (Xantophyceae). Boletín de Lima, 31(6), 75-89.

Moya B. V., Hernández A. E. y Borrell, H. E. (2005). Los Humedales ante el Cambio Climático. Investigaciones Geográficas, 37,127-132.

Doi:10.14198/INGEO2005.37.07

Municipalidad de Chorrillos, (2016). Plan Estratégico Concertado 2017-2021.
http://www.munichorrillos.gob.pe/transparencia/PDCL/PDLC_CHORRILLOS_2017-2021.pdf

Municipalidad de Lima, (2021). Plan Local de Cambio Climático de la Provincia de Lima 2021-2030. <https://smia.munlima.gob.pe/>

Municipalidad de Lima (2022). Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de desastres de la Zona de Reglamentación Especial de los Pantanos de Villa. Periodo 2022-2024. <https://drive.google.com/file/d/1b36e8xB-IT8ENw0wXBbIDDi-ZfpgN1Z-/view>

Murray W. N. (2006). Introducción a la Botánica. Madrid. Editorial Pearson.
<https://bibliotecaia.ism.edu.ec/Varios/IntroduccionBotanica.pdf>

McCartney, M., Morardet, S., Rebelo, LM., Finlayson, CM y Masiyandima, M., (2011). Un estudio de Hidrología de Humedales y prestación de Servicios ecosistémicos Humedal GaMampa, Sur África. Revista de Ciencias Hidrológicas, 56, (8), 1452-1466.

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.

[http://www.untumbes.edu.pe/vcs/biblioteca/document/varioslibros/1028.%20E colog%C3%ADa.%20Odum.pdf](http://www.untumbes.edu.pe/vcs/biblioteca/document/varioslibros/1028.%20E%20colog%C3%ADa.%20Odum.pdf)

Ordenanza N°2264 [Municipalidad Metropolitana de Lima]. Zona de Reglamentación Especial de los Pantanos de Villa (ZRE PV), Lima 29 de Julio del 2020. <http://prohvilla.munlima.gob.pe/baselegal.html>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2010). Mercado de carbono: qué tipos existen y cómo funcionan. <http://www.fao.org/3/i1632s/i1632s02.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2016). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. <http://www.fao.org/3/i4793s/i4793s.pdf>

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]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/800?show=full>

Parsons, T., Takahashi, M., y Hargrave, B. (1984). Biological oceanographic processes. Londres. Editorial Pergamon press.

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>

Pizarro, R. (2021) "Sistemas de instrumentos de fijación de precios del carbono en América Latina y jurisdicciones de las Américas relevantes", Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/41), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46765/4/S2100035_es.pdf

- Pulido V. (2003). Influencia de la pérdida de hábitats en la conservación de las aves de los Pantanos de Villa. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Pulido López P.C. (2015). Fitoplancton en la Determinación del Estado Trópico del Humedal el Salitre (Bogotá D.C., Colombia) en épocas Climáticas Contrastantes. [Tesis de Maestría, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano].
<https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/1765>
- Pulido V. (2018). Ciento quince años de registros de aves en Pantanos de Villa, Revista peruana de biología 25(3), 291 – 306 doi:
<http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v25i3.15212>
- Pulido Capurro V.M. y Bermúdez Díaz L. (2018). Estado actual de la conservación de los hábitats de los Pantanos de Villa, Lima, Perú. Araldoa, 25 (2), 679-702.doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25219.
- Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) (2019). El Informe de la Evaluación Mundial sobre la Diversidad Biológica y los Servicios de los Ecosistemas.https://ipbes.net/sites/default/files/2020-02/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers_es.pdf
- Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las naciones unidas sobre el Cambio Climático (1998).
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- 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].
<http://repositorio.ucss.edu.pe/discover>
- Ramírez Dámaso W., y Cano Asunción (2010). Estado de la diversidad de la flora vascular de los Pantanos de Villa (Lima - Perú). Revista Peruana Biología, 17(1), 111- 114.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/58>

- Ramsar (2006). Manual de la Convención de Ramsar. Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971) 4ª. Edición. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf
- Ramsar (2018a). Perspectiva Mundial sobre los Humedales. Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas. <https://www.ramsar.org/resources/global-wetland-outlook>
- Ramsar (2018b). The List of Wetlands of International Importance. <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/sitelist.pdf>
- Resolución Presidencial N°169-2016-SERNANP [Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado]. Plan Maestro del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos Villa 2016-2020. 5 de Julio del 2016.
- Reynolds, C. S. (1984). The ecology of phytoplankton. Cambridge Univ. Press. [https://www. books.google.com](https://www.books.google.com)
- Reynolds, C.S. (2006). The Ecology of Phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542145>
- Roldan Pérez, G. y Ramírez Retrepo, J.J. (2008). Fundamentos de la Limnología Neotropical. 2da. Edición. Editorial Universidad de Antioquia. <https://books.google.com.pe/books>
- 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]. <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/41428>
- Rodríguez, Gómez C. F., y Aké, Castillo 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/dcbs/hidro/2016v26n2/Ake>

- Samanez, I., y Zambrano, F. (1995). Observaciones sobre la diversidad y algunas características Ecológicas del Plancton en el Departamento de Madre de Dios Perú. Publicaciones Museo Historia natural. UNMSM (A) 50,1-10. https://museohn.unmsm.edu.pe/pub_bot.html
- Salgado, H., De la Puente S., González C., y Sueiro J.C. (2015). Valoración Económica Total (VET) de los bienes y servicios ecosistémicos del Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt (GEMCH). Consultoría elaborada para el Proyecto GEF-PNUD: Hacia un manejo con enfoque ecosistémico de Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt. Talca, Chile / Lima, Perú. http://humboldt.iwlearn.org/es/copy_of_Valorizacion
- Skjanes K., Lindblad P., 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>
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2016) Prevención, Tratamiento y Monitoreo de Conflictos Socioambientales en Áreas Naturales Protegidas de Administración Nacional. Sernanp-SPDA. Lima. https://spda.org.pe/?wpfb_dl=3747
- 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). DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.756>
- Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets (TSVCM) (2021). Final Report. https://www.iif.com/Portals/1/Files/TSVCM_Report.pdf
- 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. 571-638.

- Ttimp, Choque, E. (2012). Estimación de la captura de Dióxido de Carbono (CO₂) en totorales de la Reserva Nacional del Titicaca–Puno. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/discover>
- Uma Devi K., Swapnaa G., Suman K. (2013). Biosequestration of carbon dioxide – potential and challenges. *Energy Procedia* 00 (2013) 000–000. <https://www.researchgate.net/publication/272510032>
- Vásquez Perales, C. (2020). Efectividad de la Convención de Ramsar para la conservación de humedales en el Caribe. [Tesis de Maestría, Université de Sherbrooke]. <https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1017/2151>
- Vieira, J. A., Bastos, B. C., Reinaldo, C., Duarte, T., Renato, L., Greque M. (2019). Biorefinería de microalgas a partir de CO₂ y los efectos bajo la economía azul. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 99:58–65.
- Wehr, Jhon D., Sheath, Robert G., Kociolek, Patrick J., (Edit). (2003) *Freshwater Algae of North America Ecology and Classification*. Revista Elsevier. Editorial Book Aid International. <http://store.elsevier.com/>.
- Zubkov M. V. (2014). Faster growth of the major prokaryotic versus eukaryotic CO₂ fixers in the oligotrophic ocean. *Article Nature Communications* DOI:10.1038/ncomms4776. <https://www.nature.com/articles/ncomms4776.pdf>

ANEXOS

Anexo 1: Pruebas de normalidad: Shapiro-Wilk

Parámetros	Estratos	Estadístico	gl	Sig.
Biomasa Húmeda	Superficial	,958	7	,799
	30 cm profundidad	,944	7	,675
Biomasa Seca	Superficial	,912	7	,407
	30 cm profundidad	,960	7	,816
Carbono	Superficial	,912	7	,407
	30 cm profundidad	,960	7	,816
CO ₂ Capturado	Superficial	,912	7	,407
	30 cm profundidad	,960	7	,816
Valor Económico	Superficial	,912	7	,407
	30 cm profundidad	,960	7	,816

Anexo 2: Prueba de Levene de Homogeneidad de Varianzas

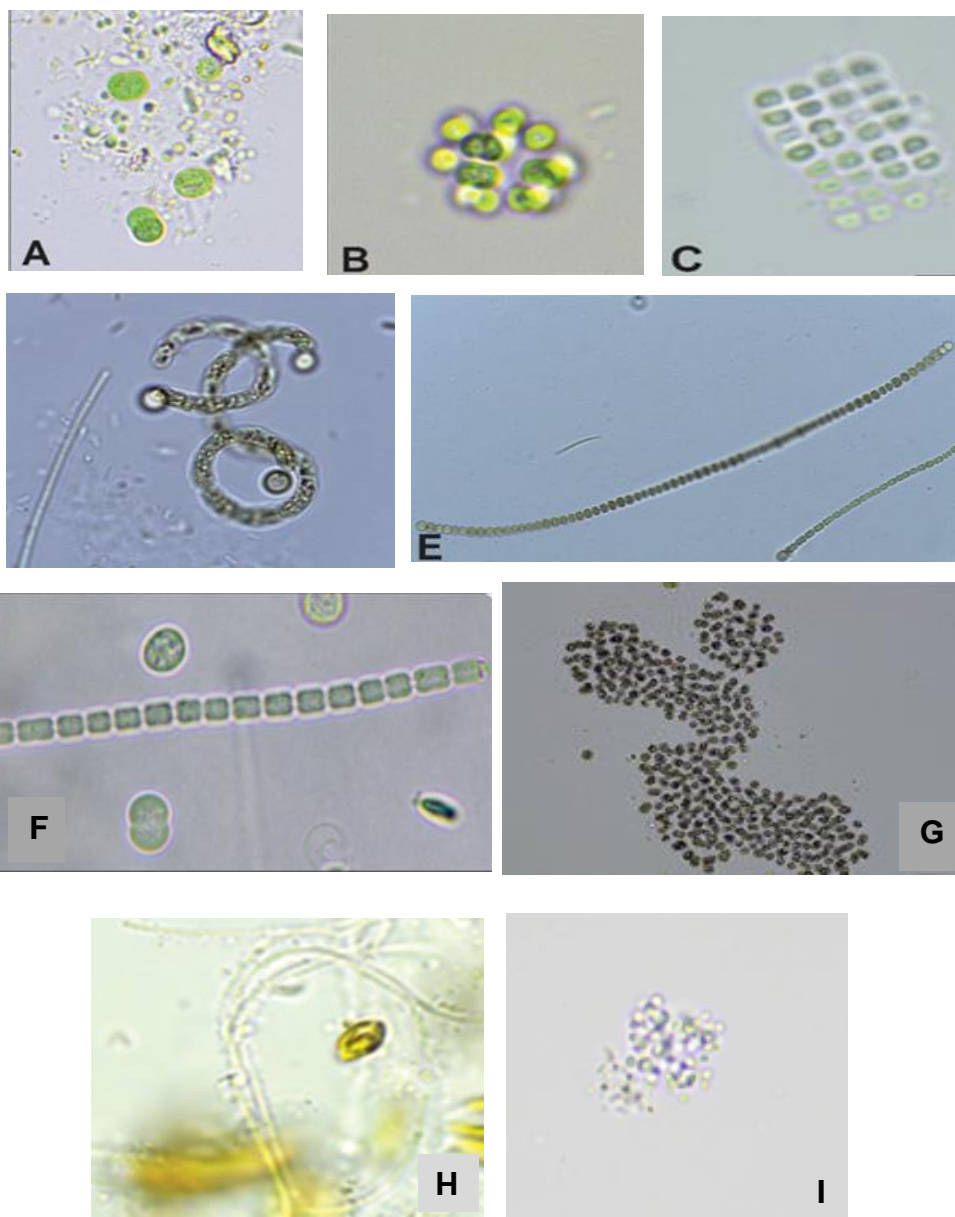
Variable dependiente	F	df1	df2	Sig.
Biomasa Húmeda	2,316	1	12	0,154
Biomasa Seca	0,996	1	12	0,338
Carbono	0,996	1	12	0,338
CO ₂ capturado	0,996	1	12	0,338
Valor Económico	0,997	1	12	0,338

Nota. El F-test, $p > 0.05$ presento varianza homogénea

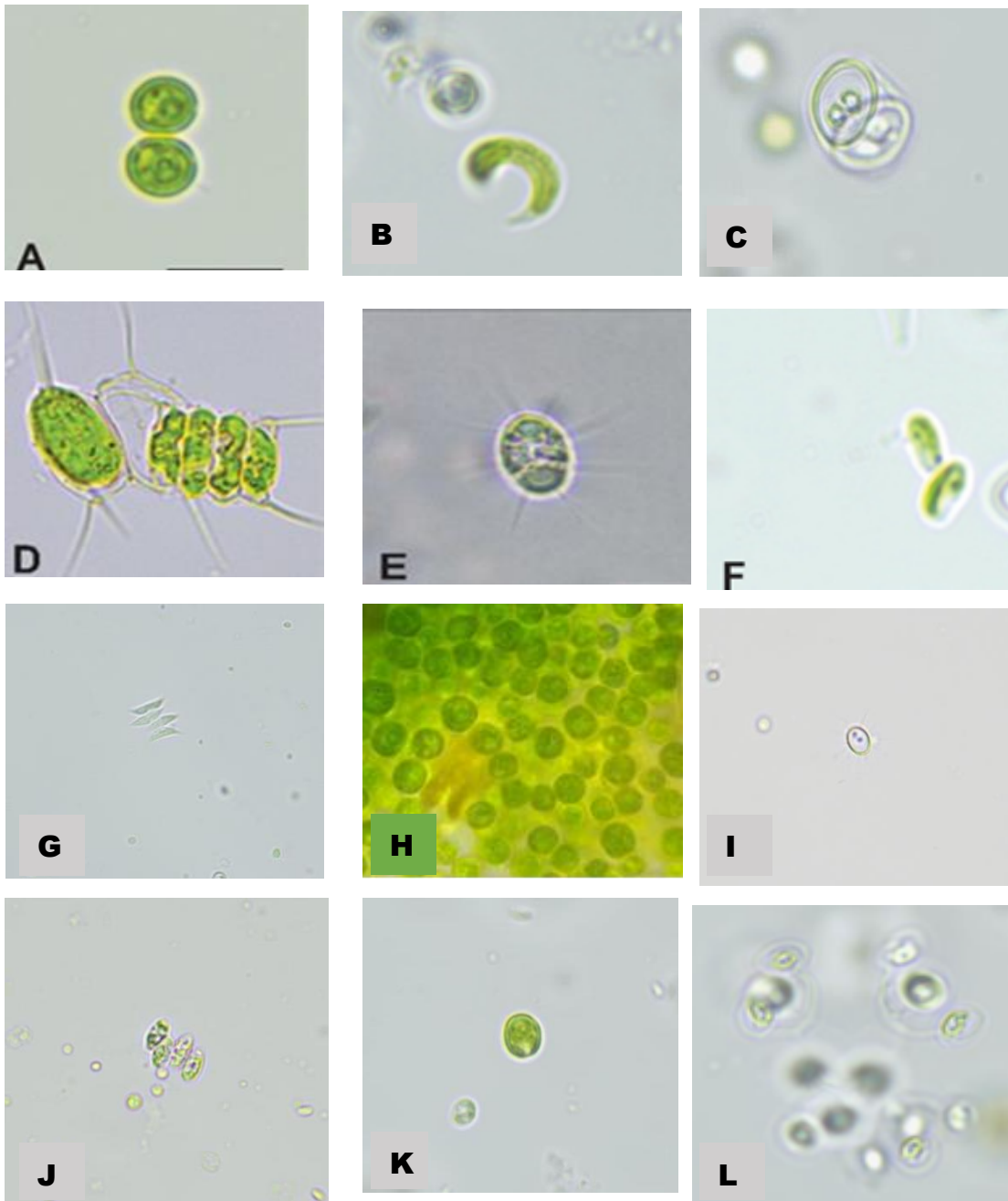
Anexo 3: Resumen de los parámetros estimados en ambos métodos

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	0.019
t/verano	824.270	91.030
Contenido de carbono		
g/m ²	8.387	52.67*
t/día	4.361	27.388
t/ha	0.084	0.527
t/verano	394.470	2477.287
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	1439.193	9038.195
Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton		
\$/día	135.294	849.651
\$/ha	2.602	16.339
\$/verano	12176.435	76468.555

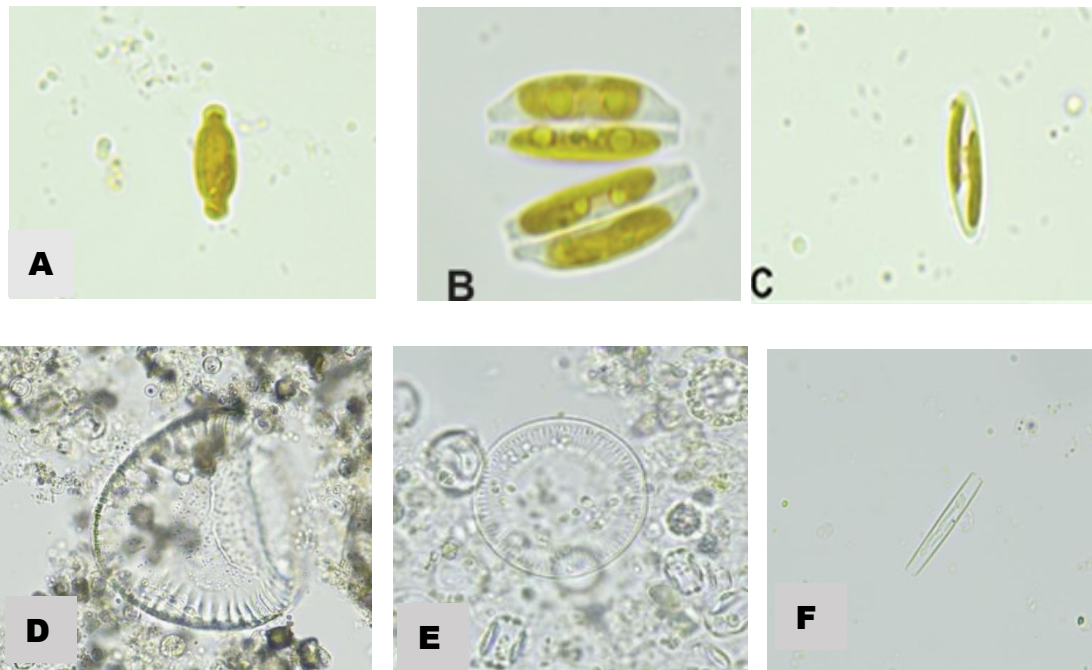
Anexo 4: Principales especies de fitoplancton de la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa



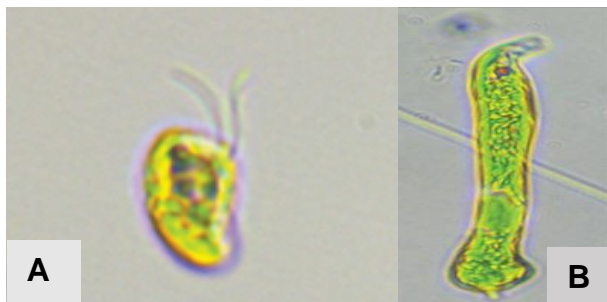
Nota. Especies de Cianobacterias. **A:** *Synechococcus* sp., **B:** *Coelomonon* sp., **C:** *Merismopedia* sp. (Aumento: 1000X), **D:** *Anabaenopsis* sp., **E:** *Anabaena* sp., **F:** *Pseudanabaena* sp. **G:** *Microcystis* sp., **H:** *Leptolyngbya* sp. (Aumento: 1000X), **I:** *Aphanocapsa* sp. (Aumento: 400X).



Nota. Especies de Chlorophytas. A: *Chlorococcum* sp., B: *Monoraphidium* sp., C: *Oocystis* sp. (Aumento: 1000X), D: *Desmodesmus communis* E: *Franceia* sp., F: *Stichococcus* sp. G: *Acutodesmus dimorphus*, H: *Chlorella* sp. (Aumento: 1000X), I: *Franceia* sp. (Aumento: 400X), J: *Scenedesmus ovalternus* (Aumento: 400X), K: *Dunaliella* cf. *Salina* (Aumento: 1000X), *Dytiosphaerium pulchellum* (Aumento: 1000X).



Nota. Especies de Bacillariophyta: A: *Sellaphora* sp. (Aumento: 1000X), B: *Cymbella* sp., C: *Navicula* sp. D: *Campylodiscus* sp. (Aumento: 400X), E: *Cyclotella* sp. (Aumento: 1000X), F: *Ulnaria* sp. (Aumento: 400X).



Nota. Especies Cryptophyta: A: *Cryptomonas* sp., Euglenophyta B: *Euglena* sp.

Anexo 5: Parámetros fisicoquímicos del agua en el primer muestreo en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa

Estación Muestreo	COORDENADAS (UTM)			ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO									Observación
	Este	Norte	T (°C)	pH	O ₂ (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Transp. (cm)	CE (uS/cm)	TDS (ppm)	Prof. (cm)	Residuos sólidos	
E-1	283360	8649459	24.8	6.5	9.1	3.73	0.78	20	7320	1	100	NO	Presencia de totora en floración, presencia de Gaviotas Frankling, Cormoranes en manadas
E-2	283318	8649586	23.7	7.2	9.4	5.4	0.7	20	7420	1	150	NO	Color del agua fue verde claro y olor a materia orgánica descompuesta.
E-3	283243	8649844	24.2	7.4	10.2	4.64	0.76	20	7220	1	140	NO	
E-4	283188	8644803	25.2	7.4	9.1	1.4	1.05	20	7390	1	45	NO	Presencia de garza cuca, gallinazo de cabeza negra y totora.
E-5	282933	8649980	29	7.5	10.5	0.3	1	20	7430	1	60	NO	
E-6	282653	8650264	27.9	8.1	7	1.6	1	20	6980	1	65	NO	Presencia de gallinazo de cabeza negra
E-7	282783	8649640	26.8	8.2	10.1	0.6	0.78	20	7450	1	90	SI	Presencia de botella y bolsa plástica.
		Promedio	25.9	7.5	9.3	2.52	0.87	20	7315.7	1	92.9		
		Desv. Stand	2	0.6	1.2	2	0.1	0	168	0	40.2		

Nota. Transparencia (Transp); Conductividad eléctrica (CE); Solido Totales Disuelto (TDS); Profundidad (Prof.)

Anexo 6: Parámetros fisicoquímicos del agua en el segundo muestreo en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa

Estación Muestreo	COORDENADAS (UTM)			ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO								Residuos sólidos	Observación
	Este	Norte	T (°C)	pH	O ₂ (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Transp. (cm)	CE (uS/cm)	TDS (ppm)	Prof. (cm)		
E-1	283338	8649459	23.8	7.6	7.6	3.71	0.74	20	7410	1	90	NO	Presencia de totora y agua color verde
E-2	283307	8649681	24.1	7.4	8.5	5.45	0.74	20	7350	1	150	NO	
E-3	283264	8649931	24.3	7.5	8	4.89	0.74	20	7390	1	90	NO	
E-4	283068	8649786	24.3	7.2	10.7	1.42	1.07	20	7520	1	46	NO	Presencia de gallinazo de cabeza negra
E-5	282934	8649981	24.6	7.8	9.8	0.32	1	20	7480	1	80	NO	
E-6	282654	8650264	26.6	7.5	9.2	1.63	0.9	20	7380	1	47	SI	Presencia de gallinazo de cabeza negra
E-7	282783	8650103	25.9	8.1	12.5	0.63	0.74	20	7460	1	40	SI	
		Promedio	24.8	7.6	9.5	2.58	0.85	20	7427.1	1	77.6		
		Desv. Stand	1.04	0.3	1.71	2.08	0.14	0	61.02	0	38.52		

Nota. Transparencia (Transp); Conductividad eléctrica (CE); Solido Totales Disuelto (TDS); Profundidad (Prof.)

Anexo 7: Parámetros fisicoquímicos del agua en el tercer muestreo en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa

Estación Muestreo	COORDENADAS (UTM)			ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO									Residuos sólidos	Observación
	Este	Norte	T (°C)	pH	O ₂ (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Transp. (cm)	CE (uS/cm)	TDS (ppm)	Prof. (cm)			
E-1	283338	8649459	25.2	7.5	7	35.44	0.06	20	7420	1	100	No	Color del agua fue verde intenso	
E-2	283307	8649681	25.5	8	9.2	35.44	0.06	20	7380	1	160	No		
E-3	283264	8649931	26.4	8	9.2	39.87	0.15	20	7390	1	70	No	Bandadas de aves cormoranes, garsa blanca.	
E-4	283068	8649786	26.9	8.1	9.4	13.29	0.06	20	7530	1	45	No		
E-5	282934	8649981	27	7.5	9	11.08	0.03	20	7540	1	90	No	Presencia de gallinazo de cabeza negra	
E-6	282654	8650264	27	7.6	7.1	19.94	0.06	20	7450	1	45	No		
E-7	282783	8650103	29	8.1	7.3	17.72	0.06	20	7420	1	60	No		
		Promedio	26.7	7.8	8.3	24.68	0.07	20	7447.1	1	81.4			
		Desv. Stan	1.24	0.28	1.11	11.89	0.04	0	64.22	0	40.49			

Nota. Transparencia (Transp); Conductividad eléctrica (CE); Solido Totales Disuelto (TDS); Profundidad (Prof.)

Anexo 8: Parámetros fisicoquímicos del agua en el cuarto muestreo en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa

Estación Muestreo	COORDENADAS (UTM)			ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO									Residuos sólidos	Observación
	Este	Norte	T (°C)	pH	O ₂ (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Transp. (cm)	CE (uS/cm)	TDS (ppm)	Prof. (cm)			
E-1	283338	8649459	27.4	7.8	7.8	37.66	0.03	20	7450	1	90	No	Color del agua verde intenso	
E-2	283307	8649681	28.6	7.8	9.6	35.44	0.06	20	7370	1	150	No		
E-3	283264	8649931	29.9	7.9	9.4	39.87	0.12	20	7310	1	75	No	Mayor Cormoranes	
E-4	283068	8649786	27	7.9	11.3	8.86	0.03	20	7570	1	30	No		
E-5	282934	8649981	27.3	8.2	11.5	8.86	0.02	20	7530	1	80	No	Presencia de gallinazo de cabeza negra	
E-6	282654	8650264	28.1	7.6	9.8	17.72	0.06	20	7460	1	22	No		
E-7	282783	8650103	29.1	8.3	12.9	17.72	0.06	20	7410	1	23	No		
		Promedio	28.2	7.9	10.3	23.73	0.05	20	7442.9	1	67.1			
		Desv. Stan	1.06	0.24	1.68	13.58	0.03	0	89.58	0	46.51			

Nota. Transparencia (Transp); Conductividad eléctrica (CE); Solido Totales Disuelto (TDS); Profundidad (Prof.)

Anexo 9: Concentración de clorofila "a" a nivel superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal

Pantanos de Villa

Estación de Muestreo	I		II		III		IV		Promedio (mg/L)
	Chl-a S (mg/L)	Chl-a a 30 cm (mg/L)	Chl-a S (mg/L)	Chl-a a 30 cm (mg/L)	Chl-a S (mg/L)	Chl-a a 30 cm (mg/L)	Chl-a S (mg/L)	Chl-a a 30 cm (mg/L)	
E-1	5.37	4.38	9.74	7.71	20.1	5.81	7.77	9.27	8.77
E-2	12.99	7.21	11.68	5.61	8.6	11.41	4.2	4.48	8.27
E-3	11.43	11.12	7.59	7.84	8.13	7.44	4.87	4.72	7.89
E-4	12.97	7.44	16.17	12.72	11.27	5.31	5.93	3.54	9.42
E-5	15.96	19.2	18.71	11.04	15.27	9.85	5.83	7.26	12.89
E-6	13.68	15.07	11.87	16.31	8.37	11.75	4.12	2.51	10.46
E-7	9.31	10.87	19.96	14.78	11.31	7.13	5.33	4.34	10.38
	11.67	10.75	13.67	10.86	11.86	8.39	5.44	5.16	9.73

Anexo 10: Biomasa húmeda del fitoplancton a nivel superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal

Pantanos de Villa

Estación de Muestreo	I		II		III		IV		Promedio general (g/L)
	BHS (g/L)	BH-30 cm (g/L)	BHS (g/L)	BH-30 cm (g/L)	BHS (g/L)	BH-30 cm (g/L)	BHS (g/L)	BH-30 cm (g/L)	
E-1	1.753	1.793	1.777	1.677	2.147	2.117	2.067	2.197	1.941
E-2	1.607	1.86	1.75	1.467	2.057	2.207	2.09	2.08	1.89
E-3	1.767	2.333	1.77	1.693	1.253	2.05	2.173	1.94	1.873
E-4	1.62	2.01	1.803	1.647	1.727	2.057	2.2	2.013	1.885
E-5	1.86	1.763	1.793	1.88	1.607	2.097	2.223	2.023	1.906
E-6	1.987	2.017	1.907	1.973	1.923	1.927	2.207	2.17	2.014
E-7	2.433	1.613	1.82	1.937	2.233	2.35	2.137	2.403	2.116
Promedio	1.861	1.913	1.803	1.753	1.85	2.115	2.157	2.118	1.946

Nota. Numero de muestreos: I (9/12/2020); II (23/12/2020); III (12/01/2021); IV (26/01/2021)

BHS: Biomasa Húmeda a nivel de agua Superficial y BH-30 cm: Biomasa Húmeda a 30 cm de profundidad.

Anexo 11: Biomasa seca del fitoplancton a nivel superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa

Estación de Muestreo	I		II		III		IV		Promedio general
	BS-S (g/L)	BS-30 cm (g/L)	BS-S (g/L)	BS-30 cm (g/L)	BS-S (g/L)	BS-30 cm (g/L)	BS-S (g/L)	BS-30 cm (g/L)	
E-1	0.073	0.03	0.113	0.087	0.103	0.163	0.107	0.137	0.102
E-2	0.067	0.04	0.06	0.087	0.097	0.097	0.113	0.083	0.08
E-3	0.04	0.03	0.08	0.06	0.117	0.09	0.1	0.103	0.078
E-4	0.027	0.027	0.07	0.063	0.12	0.083	0.097	0.07	0.07
E-5	0.09	0.117	0.083	0.093	0.15	0.107	0.113	0.077	0.104
E-6	0.047	0.05	0.073	0.087	0.083	0.093	0.097	0.113	0.08
E-7	0.067	0.053	0.07	0.09	0.137	0.13	0.077	0.107	0.091
Promedio	0.059	0.05	0.079	0.081	0.115	0.109	0.1	0.099	0.086

Nota. Numero de muestreos: I (9/12/2020); II (23/12/2020); III (12/01/2021); IV (26/01/2021)

BSS: Biomasa Seca a nivel de agua Superficial y BS-30 cm: Biomasa Seca a 30 cm de profundidad.

Anexo 12: Contenido de carbono en biomasa seca del fitoplancton a nivel superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método gravimétrico

Estación de Muestreo	I		II		III		IV		Promedio general
	CB-S (g/L)	CB-30 cm (g/L)	CB-S (g/L)	CB-30 cm (g/L)	CB-S (g/L)	CB-30 cm (g/L)	CB-S (g/L)	CB-30 cm (g/L)	
E-1	0.037	0.015	0.057	0.043	0.052	0.082	0.053	0.068	0.051
E-2	0.033	0.02	0.03	0.043	0.048	0.048	0.057	0.042	0.04
E-3	0.02	0.015	0.04	0.03	0.058	0.045	0.05	0.052	0.039
E-4	0.013	0.013	0.035	0.032	0.06	0.042	0.048	0.035	0.035
E-5	0.045	0.058	0.042	0.047	0.075	0.053	0.057	0.038	0.052
E-6	0.023	0.025	0.037	0.043	0.042	0.047	0.048	0.057	0.04
E-7	0.033	0.027	0.035	0.045	0.068	0.065	0.038	0.053	0.046
Promedio	0.029	0.025	0.039	0.04	0.058	0.055	0.05	0.049	0.043

Nota. Numero de muestreos: I (9/12/2020); II (23/12/2020); III (12/01/2021); IV (26/01/2021)

CB-S: Contenido de Carbono en Biomasa de fitoplancton a nivel de agua Superficial y CB-30 cm: Contenido de Carbono en Biomasa de Fitoplancton a 30 cm de profundidad.

Anexo 13: Contenido de carbono en la biomasa del fitoplancton a nivel superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método espectrofotométrico (Razón C:Cl-a=27.08)

Estación de Muestreo	I		II		III		IV		Promedio general
	CB-S (g/L)	CB- 30 cm (g/L)	CB-S (g/L)	CB- 30 cm (g/L)	CB-S (g/L)	CB- 30 cm (g/L)	CB-S (g/L)	CB- 30 cm (g/L)	
E-1	0.145	0.119	0.264	0.209	0.544	0.157	0.21	0.251	0.237
E-2	0.352	0.195	0.316	0.152	0.233	0.309	0.114	0.121	0.224
E-3	0.31	0.301	0.206	0.212	0.22	0.201	0.132	0.128	0.214
E-4	0.351	0.201	0.438	0.345	0.305	0.144	0.161	0.096	0.255
E-5	0.432	0.52	0.507	0.299	0.413	0.267	0.158	0.196	0.349
E-6	0.37	0.408	0.321	0.442	0.227	0.318	0.112	0.068	0.283
E-7	0.252	0.294	0.54	0.4	0.306	0.193	0.144	0.118	0.281
Promedio	0.316	0.291	0.37	0.294	0.321	0.227	0.147	0.14	0.263

Nota. Numero de muestreos: I (9/12/2020); II (23/12/2020); III (12/01/2021); IV (26/01/2021)

CB-S: Contenido de Carbono en Biomasa de fitoplancton a partir de Clorofila-a a nivel de agua Superficial y CB-30 cm: Contenido de Carbono en Biomasa de fitoplancton a partir de Clorofila-a a 30 cm de profundidad.

Anexo 14: Dióxido capturado por fitoplancton a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método gravimétrico

Estación de Muestreo	I		II		III		IV		Promedio general
	CCO ₂ -S (g/L)	CCO ₂ - 30 cm (g/L)	CCO ₂ -S (g/L)	CCO ₂ - 30 cm (g/L)	CCO ₂ -S (g/L)	CCO ₂ - 30 cm (g/L)	CCO ₂ -S (g/L)	CCO ₂ - 30 cm (g/L)	
E-1	0.134	0.055	0.208	0.159	0.189	0.299	0.196	0.251	0.186
E-2	0.122	0.073	0.11	0.159	0.177	0.177	0.208	0.153	0.147
E-3	0.073	0.055	0.147	0.11	0.214	0.165	0.183	0.189	0.142
E-4	0.049	0.049	0.128	0.116	0.22	0.153	0.177	0.128	0.128
E-5	0.165	0.214	0.153	0.171	0.275	0.196	0.208	0.141	0.19
E-6	0.086	0.092	0.134	0.159	0.153	0.171	0.177	0.208	0.147
E-7	0.122	0.098	0.128	0.165	0.251	0.238	0.141	0.196	0.167
Promedio	0.107	0.091	0.144	0.148	0.211	0.2	0.184	0.181	0.158

Nota. Numero de muestreos: I (9/12/2020); II (23/12/2020); III (12/01/2021); IV (26/01/2021)

CCO₂-S: CO₂ capturado por fitoplancton a nivel de agua superficial y CCO₂-30 cm: CO₂ capturado por fitoplancton a 30 cm de profundidad.

Anexo 15: Dióxido de carbono capturado por fitoplancton a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método espectrofotométrico

Estación de Muestreo	I		II		III		IV		Promedio general
	CCO ₂ -S (g/L)	CCO ₂ - 30 cm (g/L)	CCO ₂ -S (g/L)	CCO ₂ - 30 cm (g/L)	CCO ₂ -S (g/L)	CCO ₂ - 30 cm (g/L)	CCO ₂ -S (g/L)	CCO ₂ - 30 cm (g/L)	
E-1	0.533	0.435	0.967	0.765	1.996	0.577	0.772	0.92	0.871
E-2	1.29	0.716	1.16	0.557	0.854	1.133	0.417	0.445	0.821
E-3	1.135	1.104	0.754	0.778	0.807	0.739	0.484	0.469	0.784
E-4	1.288	0.738	1.605	1.263	1.119	0.527	0.589	0.352	0.935
E-5	1.585	1.906	1.857	1.096	1.516	0.977	0.578	0.72	1.28
E-6	1.358	1.496	1.178	1.619	0.831	1.166	0.409	0.249	1.038
E-7	0.924	1.079	1.982	1.468	1.123	0.708	0.529	0.431	1.03
Promedio	1.159	1.068	1.358	1.078	1.178	0.833	0.54	0.512	0.966

Nota. Numero de muestreos: I (9/12/2020); II (23/12/2020); III (12/01/2021); IV (26/01/2021)

CCO₂-S: CO₂ capturado por fitoplancton a nivel de agua superficial y CCO₂-30 cm: CO₂ capturado por fitoplancton a 30 cm de profundidad.

Anexo 16: Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método gravimétrico

Estación de Muestreo	I		II		III		IV		Promedio general
	\$CO ₂ -S (\$X10 ⁻⁷ /L)	\$CO ₂ - 30 cm (\$X10 ⁻⁷ /L)	\$CO ₂ -S (\$X10 ⁻⁷ /L)	\$CO ₂ - 30 cm (\$X10 ⁻⁷ /L)	\$CO ₂ -S (\$X10 ⁻⁷ /L)	\$CO ₂ - 30 cm (\$X10 ⁻⁷ /L)	\$CO ₂ -S (\$X10 ⁻⁷ /L)	\$CO ₂ - 30 cm (\$X10 ⁻⁷ /L)	
E-1	11.375	4.653	17.579	13.443	16.028	25.335	16.545	21.199	15.77
E-2	10.341	6.204	9.307	13.443	14.994	14.994	17.579	12.926	12.474
E-3	6.204	4.653	12.409	9.307	18.096	13.96	15.511	16.028	12.021
E-4	4.136	4.136	10.858	9.824	18.613	12.926	14.994	10.858	10.793
E-5	13.96	18.096	12.926	14.477	23.267	16.545	17.579	11.892	16.093
E-6	7.239	7.756	11.375	13.443	12.926	14.477	14.994	17.579	12.474
E-7	10.341	8.273	10.858	13.96	21.199	20.164	11.892	16.545	14.154
Promedio	9.085	7.682	12.187	12.557	17.875	16.914	15.585	15.29	13.397

Nota. Numero de muestreos: I (9/12/2020); II (23/12/2020); III (12/01/2021); IV (26/01/2021)

\$CO₂-S: Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton a nivel de agua superficial y \$CO₂-30 cm: Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton a 30 cm de profundidad.

Anexo 17: Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton a nivel de agua superficial y a 30 cm de profundidad en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa, según el método espectrofotométrico

Estación de Muestreo	I		II		III		IV		Promedio general
	\$CO ₂ -S (\$X10 ⁻⁷ /L)	\$CO ₂ - 30 cm (\$X10 ⁻⁷ /L)	\$CO ₂ -S (\$X10 ⁻⁷ /L)	\$CO ₂ - 30 cm (\$X10 ⁻⁷ /L)	\$CO ₂ -S (\$X10 ⁻⁷ /L)	\$CO ₂ - 30 cm (\$X10 ⁻⁷ /L)	\$CO ₂ -S (\$X10 ⁻⁷ /L)	\$CO ₂ - 30 cm (\$X10 ⁻⁷ /L)	
E-1	45.135	36.81	81.803	64.742	168.872	48.823	65.296	77.88	73.67
E-2	109.129	60.541	98.116	47.092	72.235	95.84	35.281	37.625	69.482
E-3	96.05	93.37	63.784	65.834	68.27	62.507	40.935	39.641	66.299
E-4	108.978	62.457	135.817	106.886	94.68	44.614	49.848	29.771	79.131
E-5	134.086	161.262	157.145	92.748	128.265	82.701	48.932	60.953	108.262
E-6	114.917	126.551	99.67	137.01	70.294	98.687	34.601	21.093	87.853
E-7	78.199	91.287	167.663	124.191	94.991	59.911	44.765	36.458	87.183
Promedio	98.071	90.325	114.857	91.215	99.658	70.441	45.666	43.346	81.697

Nota. Numero de muestreos: I (9/12/2020); II (23/12/2020); III (12/01/2021); IV (26/01/2021)

\$CO₂-S: Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton a nivel de agua superficial y \$CO₂-30 cm: Valor económico del CO₂ capturado por fitoplancton a 30 cm de profundidad

Anexo 18: Clasificación taxonómica del fitoplancton en la laguna mayor del humedal Pantanos de Villa

Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Especie
Chlorophyta					
	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Chlorellaceae	Chlorella	<i>Chlorella sp.</i>
	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Chlorellaceae	Dictyosphaerium	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>
	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Oocystaceae	Franceia	<i>Franceia sp.</i>
	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Oocystaceae	Oocystis	<i>Oocystis sp.</i>
	Trebouxiophyceae	Prasiolales	Stichococcaceae	Stichococcus	<i>Stichococcus sp.</i>
	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Acutodesmus	<i>Acutodesmus dimorphus</i>
	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Desmodesmus	<i>Desmodesmus communis</i>
	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Desmodesmus	<i>Desmodesmus brasiliensis</i>
	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Scenedesmus	<i>Scenedesmus ovalternus</i>
	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Scenedesmus	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Scenedesmus	<i>Scenedesmus opoliensis</i>
	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Selenastraceae	Monoraphidium	<i>Monoraphidium circinale</i>
	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Selenastraceae	Monoraphidium	<i>Monoraphidium contortum</i>
	Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Dunaliellaceae	Dunaliella	<i>Dunaliella cf. salina</i>
	Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Chlorococcaceae	Chlorococcum	<i>Chlorococcum sp.</i>

Cyanobacteria

Cyanophyceae	Synechococcales	Leptolyngbyaceae	Leptolyngbya	<i>Leptolyngbya sp.</i>
Cyanophyceae	Synechococcales	Merismopediaceae	Merismopedia	<i>Merismopedia sp.</i>
Cyanophyceae	Synechococcales	Merismopediaceae	Aphanocapsa	<i>Aphanocapsa sp.</i>
Cyanophyceae	Synechococcales	Merismopediaceae	Limnococcus	<i>Limnococcus sp.</i>
Cyanophyceae	Synechococcales	Synechococcaceae	Synechococcus	<i>Synechococcus sp.</i>
Cyanophyceae	Synechococcales	Coelosphaeriaceae	Coelomoron	<i>Coelomoron sp.</i>
Cyanophyceae	Synechococcales	Pseudanabaenaceae	Pseudanabaena	<i>Pseudanabaena sp.</i>
Cyanophyceae	Chroococcales	Microcystaceae	Microcystis	<i>Microcystis sp.</i>
Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae	Anabaena sp	<i>Anabaena sp.</i>

Bacillariophyta

Bacillariophyceae	Cymbellales	Cymbellaceae	Cymbella	<i>Cymbella sp.</i>
Bacillariophyceae	Naviculales	Sellaphoraceae	Sellaphora	<i>Sellaphora sp.</i>
Bacillariophyceae	Naviculales	Naviculaceae	Navicula	<i>Navicula sp.</i>
Mediophyceae	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	Cyclotella	<i>Cyclotella sp.</i>
Bacillariophyceae	Surirellales	Surirellaceae	Campylodiscus	<i>Campylodiscus sp.</i>
Bacillariophyceae	Licmophorales	Ulnariaceae	Ulnaria	<i>Ulnaria sp.</i>

Euglenozoa

Euglenophyceae	Euglenida	Euglenidae	Euglena	<i>Euglena sp.</i>
Euglenophyceae	Euglenida	Euglenidae	Trachelomonas	<i>Trachelomonas cilindrica</i>

Cryptophyta

Cryptophyceae	Cryptomonadales	Cryptomonadaceae	Cryptomonas	<i>Cryptomonas sp.</i>
---------------	-----------------	------------------	-------------	------------------------