



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y VERTICAL DE LA DIVERSIDAD Y
ABUNDANCIA DE FITOPLANCTON EN LA BAHÍA INTERIOR Y
EXTERIOR DEL LAGO TITICACA, PUNO.**

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. DANITZA FIORELLA CÁCERES GARCÍA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y VERTICAL D
E LA DIVERSIDAD Y ABUNDANCIA DE FI
TOPLANCTON EN LA BAHÍA INTERIOR**

AUTOR

DANITZA FIORELLA CACERES GARCIA

RECuento DE PALABRAS

23785 Words

RECuento DE CARACTERES

110465 Characters

RECuento DE PÁGINAS

96 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.6MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 9, 2024 12:54 PM CST

FECHA DEL INFORME

Jul 9, 2024 12:58 PM CST

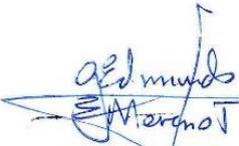
● **7% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Dr. Edmundo G. Moreno Terrazas
PROFESOR PRINCIPAL
LINA - PUNO



DEDICATORIA

A mi fortaleza, mi pilar más importante, la persona que siempre confió en mí, que me guió y me sostuvo en todo momento, mi querida madre Nilda García, a quien con mucho cariño le dedico este capítulo de mi vida.

Mis hermanos Elizabeth y Michael, quienes están siempre conmigo, apoyándome incondicionalmente en cada paso que doy; mis queridos sobrinos Immanuel y Fernanda, quienes con sus ocurrencias alegran mis días.

¡Este logro es de ustedes!

Danitza Fiorella



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas, la cual me brindó diversas herramientas para mi desarrollo profesional, experiencias y amistades que aún conservo.

A mi familia, por siempre motivarme a mejorar cada día, por darme palabras de aliento y animarme a cumplir mis metas.

A mi asesor de tesis, Dr. Edmundo Moreno, quien siempre estuvo presente en todas las etapas de desarrollo de este proyecto, gracias por asistirme ante cualquier contratiempo, por brindarme todo su apoyo y por su paciencia para poder alcanzar este objetivo.

Al Dr. Ángel Canales, por la motivación, los consejos y orientaciones brindadas durante el desarrollo de este proyecto, sobre todo agradezco la confianza que depositó en mí.

A la Blga. Carmen Villanueva, por los conocimientos que impartió en mí, por su gentil colaboración y su apoyo incondicional.

A la Blga. Margot Reyes, por brindarme toda la ayuda necesaria, por siempre estar dispuesta a darme una mano, por escucharme y aconsejarme en cada una de las etapas de este proyecto.

A Ricardo, Maritza y Gastón, por siempre creer en mí, por formar una parte importante en mi desarrollo personal y profesional, gracias por siempre estar presente.

A todas las personas que me ayudaron, agradezco por su colaboración, por su tiempo y confianza, que hicieron posible la culminación de mi proyecto de investigación.

¡Muchas gracias!

Danitza Fiorella



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 ANTECEDENTES.....	18
2.2 MARCO TEÓRICO.....	22
2.2.1 Bahía de Puno	22
2.2.2 Calidad del agua.....	23
2.2.3 Fitoplancton.....	24
2.2.3.1 Grupos taxonómicos del fitoplancton del lago Titicaca.....	25
2.2.3.1.1 Bacillariophyta	25
2.2.3.1.2 Chlorophyta.....	26
2.2.3.1.3 Charophyta	26



2.2.3.1.4	Ochrophyta.....	26
2.2.3.1.5	Miozoa	27
2.2.3.1.6	Cianobacteria	27
2.2.4	Características fisicoquímicas del agua	28
2.2.4.1	Temperatura	28
2.2.4.2	Transparencia	29
2.2.4.3	Potencial de hidrogeniones (pH).....	29
2.2.4.4	Conductividad eléctrica.....	29
2.2.4.5	Sólidos Totales Suspendidos (STD).....	30
2.2.4.6	Oxígeno disuelto del agua.....	30
2.2.5	Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA)	30
2.2.6	Eutrofización del lago Titicaca	31
2.2.7	Efectos de la contaminación sobre el fitoplancton.....	31

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	ÁREA DE ESTUDIO	33
3.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN	35
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	35
3.4	METODOLOGÍA.....	35
3.4.1	Metodología de campo	35
3.4.2	Metodología de laboratorio	38
3.4.3	Análisis estadístico.....	39
3.4.3.1	Análisis de la diversidad de fitoplancton en las tres zonas de estudio de la bahía interior y exterior del lago Titicaca.....	39



3.4.3.2	Evaluación de la abundancia y diversidad de fitoplancton en la parte superficial y profunda de la bahía interior y exterior del lago Titicaca.....	40
3.4.3.3	Determinar la relación del fitoplancton con los parámetros fisicoquímicos de la bahía interior y exterior.....	41

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	DIVERSIDAD DE FITOPLANCTON DE LA BAHÍA INTERIOR Y EXTERIOR DEL LAGO TITICACA.....	42
4.1.1	Composición de fitoplancton	42
4.1.2	Diversidad y riqueza de fitoplancton	46
4.2	ABUNDANCIA Y DIVERSIDAD DE FITOPLANCTON EN LA PARTE SUPERFICIAL Y PROFUNDA DE LA BAHÍA INTERIOR Y EXTERIOR DEL LAGO TITICACA.	50
4.2.1	Superficie	50
4.2.1.1	Abundancia de fitoplancton	50
4.2.1.2	Diversidad y riqueza de fitoplancton	54
4.2.2	Zona Profunda.....	56
4.2.2.1	Abundancia de fitoplancton	56
4.2.2.2	Diversidad y riqueza de fitoplancton	60
4.3	RELACIÓN DEL FITOPLANCTON CON LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA BAHÍA INTERIOR Y EXTERIOR DEL LAGO TITICACA.	62
4.3.1	Parámetros fisicoquímicos de la bahía interior y exterior.....	62
4.3.1.1	Temperatura, transparencia, pH y oxígeno disuelto.....	62



4.3.1.2 Conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos.....	65
4.3.2 Relación del fitoplancton con los parámetros fisicoquímicos de la bahía interior y exterior del lago Titicaca.	67
V. CONCLUSIONES.....	70
VI. RECOMENDACIONES.....	72
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
ANEXOS.....	83

ÁREA : Ciencias Biológicas

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Calidad Ambiental

FECHA DE SUSTENTACION: 12 de julio del 2024



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Mapa del área de estudio	34
Figura 2 Muestreo de fitoplancton mediante la botella Kemmerer, febrero, 2022... 36	36
Figura 3 Medición de los parámetros fisicoquímicos, marzo, 2022.	37
Figura 4 Medición de la transparencia, marzo 2022.....	38
Figura 5 Diversidad de Shannon – Wiener (H') y riqueza de especies (S) registrados en la bahía del lago Titicaca, febrero – abril 2022.....	47
Figura 6 Coloración del agua durante la toma de muestras en la zona de San José, abril 2022.....	53
Figura 7 Diversidad de Shannon – Wiener (H') y riqueza de especies (S) registrados en la superficie de bahía del lago Titicaca, febrero – abril 2022.	55
Figura 8 Diversidad de Shannon – Wiener (H') y riqueza de especies (S) en la zona profunda de la bahía del lago Titicaca, febrero–abril 2022.....	61
Figura 9 Promedios de los valores de temperatura, transparencia, pH y oxígeno disuelto en la bahía del lago Titicaca, febrero – abril 2022.....	63
Figura 10 Promedios de los valores de conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos en la bahía del lago Titicaca, febrero – abril 2022	66
Figura 11 Fotografías de las principales especies del grupo Cyanophyta. a. <i>Microcystis sp.</i> , b. <i>Anabaena sphaerica</i> , c. <i>Chroococcus sp.</i>	91
Figura 12 Fotografías de las principales especies del grupo Chlorophyta. a. <i>Pseudopediastrum boryanum</i> , b. <i>Pediastrum dúplex</i> , c. <i>Oocystis borgei</i> . d. <i>Botryococcus sp.</i> , e. <i>Ankyra judayi</i> , f. <i>Monoraphidium sp.</i>	91



- Figura 13** Fotografías de las principales especies del grupo Bacillariophyta. a. *Navicula sp.* b. *Fragilaria crotonensis*, c. *Nitzchia sp.*, d. *Asterionella formosa*, e. *Cocconeis sp.*, f. *Amphora sp.* 91
- Figura 14** Fotografías de las principales especies del grupo Miozoa. a. *Ceratium hirundinella sp.* 91
- Figura 15** Fotografías de las principales especies del grupo Charophyta. a. *Mougeotia sp.*, b. *Klebsormidium subtile*, c. *Closterium sp.*, d. *Spirogyra sp.*..... 91



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Ubicación geográfica del área de estudio. 34
Tabla 2	Presencia y ausencia de las especies de fitoplancton registradas en zona de Chimu, febrero – abril 2022..... 43
Tabla 3	Presencia y ausencia de las especies de fitoplancton registradas en zonas de Espinar y San José, febrero – abril 2022. 45
Tabla 4	Abundancia del fitoplancton en la superficie de bahía del lago Titicaca, febrero–abril 2022. 51
Tabla 5	Abundancia del fitoplancton en la zona profunda de bahía del lago Titicaca, febrero–abril 2022. 58
Tabla 6	Análisis de correlación de Pearson para la comunidad de fitoplancton y los parámetros fisicoquímicos del agua, febrero – abril 2022..... 68
Tabla 7	Abundancia de especies (ind/L) de los grupos de fitoplancton registrados en la zona de Chimu, febrero -abril 2022. 83
Tabla 8	Abundancia de especies (ind/L) de los grupos de fitoplancton registrados en la zona de Espinar, febrero -abril 2022..... 84
Tabla 9	Abundancia de especies (ind/L) de los grupos de fitoplancton registrados en la zona de San José, febrero -abril 2022. 85
Tabla 10	Temperatura del agua (°C) registrados en las zonas de evaluación, febrero–abril 2022. 86
Tabla 11	Transparencia del agua (m) registrados en las zonas de evaluación, febrero–abril 2022. 86
Tabla 12	pH registrado en las zonas de evaluación, febrero–abril 2022..... 87



Tabla 13	Oxígeno disuelto (OD) registrados en las zonas de evaluación, febrero– abril 2022.....	88
Tabla 14	Conductividad eléctrica registrada en las zonas de evaluación, febrero– abril 2022.....	89
Tabla 15	Sólidos totales disueltos (STD) registrados en las zonas de evaluación, febrero–abril 2022.	90



ACRÓNIMOS

ECA	: Estándares de calidad ambiental
ind/L	: Individuos por litro
L	: Litros
LMP	: Límites Máximos Permisibles
MINAM	: Ministerio del Ambiente
m	: metros
ml	: mililitros
mm	: milímetros
m.s.n.m.	: metros sobre el nivel del mar
OD	: Oxígeno disuelto
OMS	: Organización Mundial de la Salud
pH	: Potencial de Hidrogeniones
ppm	: Partes por millón
STD	: Sólidos Totales Disueltos
°C	: Grados Celsius



RESUMEN

La evaluación de la comunidad de fitoplancton de la bahía del lago Titicaca en la ciudad de Puno es importante ya que se encuentra en proceso de eutrofización. Los objetivos fueron: a) Analizar la diversidad de fitoplancton en las zonas de estudio (Chimu, Espinar y San José), b) Evaluar la abundancia y diversidad de fitoplancton en la superficie y parte profunda, c) Determinar su relación con los parámetros fisicoquímicos. En un periodo de tres meses, se colectaron muestras de fitoplancton de dos profundidades con una botella Kemmerer de tres litros, asimismo, se registraron parámetros fisicoquímicos mediante un multiparámetro y la transparencia mediante un disco Secchi. El análisis se realizó mediante un microscopio compuesto y una cámara de Sedgewick-Rafter. La comunidad de fitoplancton, estuvo distribuida en 6 grupos: Cyanophyta, Chlorophyta, Charophyta, Bacillariophyta, Miozoa y Ochrophyta, la zona de Chimu (33 especies y 2.28 bits.ind⁻¹) fue mayor que en las zonas Espinar (20 especies y 1.86 bits.ind⁻¹) y San José (20 especies y 1.81 bits.ind⁻¹); además, la mayor abundancia de fitoplancton se registró en la parte profunda de Chimu (125604 ind/L) siendo el grupo más abundante Bacillariophyta (44.93%) y el Espinar (357133 ind/L) con Chlorophyta (66.90%) ; a diferencia de San José, donde la mayor abundancia se presentó en la superficie con 282444 ind/L, con el grupo Chlorophyta (68.25%), por otra parte, la correlación indica que el fitoplancton se vio influenciado por la transparencia ($r = - 0.57$), OD ($r = - 0.73$), conductividad eléctrica ($r=0.63$) y los STD en el agua ($r=0.62$). Concluyéndose que el fitoplancton se simplifica a medida que incrementa el nivel eutrófico del agua, asimismo las especies registradas son propias de este tipo de ambientes, además los parámetros fisicoquímicos también indican un proceso de eutrofización.

Palabras clave: Eutrofización, Fitoplancton, Parámetros fisicoquímicos.



ABSTRACT

The evaluation of the phytoplankton community in the bay of Lake Titicaca in the city of Puno is important since it is in the process of eutrophication. The objectives were: a) Analyze the diversity of phytoplankton in the study areas (Chimu, Espinar and San José), b) Evaluate the abundance and diversity of phytoplankton in the surface and deep part, c) Determine its relationship with the physicochemical parameters. Over a period of three months, phytoplankton samples were collected from two depths with a three-liter Kemmerer bottle; physicochemical parameters were also recorded using a multiparameter and transparency using a Secchi disk. Analysis was performed using a compound microscope and a Sedgewick-Rafter camera. The phytoplankton community was distributed in 6 groups: Cyanophyta, Chlorophyta, Charophyta, Bacillariophyta, Miozoa and Ochrophyta, the Chimu zone (33 species and 2.28 bits.ind-1) was greater than in the Espinar zones (20 species and 1.86 bits.ind-1) and San José (20 species and 1.81 bits.ind-1); Furthermore, the highest abundance of phytoplankton was recorded in the deep part of Chimu (125604 ind/L) with the most abundant group being Bacillariophyta (44.93%) and Espinar (357133 ind/L) with Chlorophyta (66.90%); Unlike San José, where the highest abundance occurred on the surface with 282444 ind/L, with the Chlorophyta group (68.25%), on the other hand, the correlation indicates that phytoplankton was influenced by transparency ($r = -0.57$), OD ($r = -0.73$), electrical conductivity ($r = 0.63$) and the STD in water ($r = 0.62$). Concluding that phytoplankton is simplified as the eutrophic level of the water increases, likewise the species recorded are typical of this type of environments, in addition the physicochemical parameters also indicate a eutrophication process.

Keywords: Eutrophication, Phytoplankton, Physicochemical parameters.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los lagos son ecosistemas de gran interés científico, los cuales atraen a un sinnúmero de investigadores debido a que se consideran muy productivos por albergar una amplia diversidad de flora y fauna. El Perú cuenta con una cantidad importante de lagos y lagunas en diversas partes del país, llegan a encontrarse a una altitud mayor a los 3500 m.s.n.m. los cuales se consideran como altoandinos. Siendo el lago Titicaca uno de estos ecosistemas altoandinos más importantes, debido a las características que presenta es considerado el lago navegable más alto del mundo, además de ser un sitio Ramsar por ser un humedal interés internacional. Sin embargo, durante las últimas décadas la calidad del ecosistema ha sufrido impactos negativos debido a la problemática ambiental existente.

La principal causa de la contaminación de este importante lago es el desembocamiento de las aguas servidas sin previo tratamiento al ecosistema, así como el ineficiente tratamiento de aguas residuales en la laguna de estabilización en donde descargan gran parte de desagües provenientes de la ciudad de Puno, la misma que día a día se incrementa ya sea por turismo, migración o diferentes motivos, ocasionando que este problema se agudice. En el lado peruano, el mayor impacto negativo se encuentra en la bahía de Puno, la cual se caracteriza por presentar altas temperaturas, baja transparencia, sobresaturación de OD en aguas superficiales, alta DBO y altas concentraciones de nutrientes N y P (Northcote *et al*, 1991; Pouilly *et al.*, 2014; Lazzaro *et al.*, 2016), características que producen debido al incremento de materia orgánica en el cuerpo de agua a causa del ingreso de aguas residuales al ecosistema.

Estos aportes de materia orgánica, incrementan el deterioro ambiental debido a que ocasiona pérdida de diversidad de la productividad primaria y generando la



dominancia de ciertas especies que son tolerantes a diferentes cambios que presente el ecosistema, motivo por el cual la comunidad de fitoplancton es considerada como indicadores biológicos de la calidad de agua, ya que son sensibles a los diferentes cambios que ocurre en el ecosistema.

Esta investigación da a conocer la diversidad y abundancia del fitoplancton de la bahía de Puno en zonas que son consideradas contaminadas por las aguas residuales. Así mismo, se proporciona información sobre el estado actual en el que se encuentran las aguas de la bahía de Puno, brindar información para un plan de vigilancia y control en caso sea necesario.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la distribución espacial y vertical de la diversidad y abundancia de fitoplancton de la bahía interior y exterior del lago Titicaca- Puno.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la diversidad de fitoplancton, en las tres zonas de estudio (Chimu, Espinar y San José) de la bahía interior y exterior del lago Titicaca-Puno.
- Evaluar la abundancia y diversidad de fitoplancton en la parte superficial y profunda de las tres zonas de estudio (Chimu, Espinar y San José) de la bahía interior y exterior del lago Titicaca - Puno.
- Determinar la relación del fitoplancton con los parámetros fisicoquímicos de la bahía de Puno del lago Titicaca.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

El lago Titicaca cuenta con la superficie navegable de 8300 km², conocido como el lago más alto y navegable del mundo, ubicado a 3809 m. s. n. m. (Dejoux & Iltis, 1991), y con más de novecientos mil millones de metros cúbicos de agua, ubicado a gran altura debido a la cordillera de los Andes, esto hace que el ecosistema esté sujeto a condiciones climáticas alpinas (Pouilly *et al.*, 2014), sin embargo sus aguas no se congelan, ya que se encuentra en una zona tropical (Richerson *et al.*, 1977).

No obstante, las aguas del lago Titicaca tanto la cuenca como sus efluentes vienen siendo gravemente afectadas debido a la presencia de diversos tipos de contaminantes (Ministerio el Ambiente, 2014a), intensificándose con el aumento de las poblaciones ribereñas y de sus actividades productivas (Lazzaro *et al.*, 2016; Huamán, 2019), ocasionando que su calidad ambiental este siendo impactada negativamente, poniéndose en riesgo el ecosistema, los recursos como la flora y fauna silvestre, los recursos hidrobiológicos y además la salud pública de las personas (Callata, 2015; Plan Maestro RNT, 2003).

La bahía interior de Puno, representa aproximadamente el 2.1% del lago, sin embargo, es considerada una de las áreas más vulnerables de todo el lago (Costantini *et al.*, 2004), y probablemente sea la zona más contaminada orgánica y bacteriológicamente, ya que en este cuerpo de agua principalmente desembocan aguas residuales generadas por la población de esta ciudad (Callata, 2015).



La zona de la bahía interior de Puno, en ocasiones presenta altas temperaturas, baja transparencia, altas concentraciones de nutrientes N y P, sobresaturación de oxígeno disuelto en aguas superficiales y una elevada demanda biológica de oxígeno (Northcote *et al.*, 1991), estas características indicarían que se encuentra en un proceso de eutrofización, esto debido a la gran carga de materia orgánica que ingresa, procedentes de la red de alcantarillado. así como los desagües de esta ciudad (Beltrán *et al.*, 2015).

El área que se encuentra próxima a Espinar es probablemente la que ocasiona una mayor contaminación (Callata, 2015), ya que en esa zona se encuentran las lagunas de estabilización que son usadas con la finalidad de que las aguas residuales que genera la ciudad de Puno, tengan un tratamiento y así mitigar el impacto que estas puedan causar, en la actualidad estas lagunas ya no resultan ser eficientes (Beltrán *et al.*, 2015), generando problemas como malos olores, exceso de nutrientes y sobresaturación de agentes patógenos, en ocasiones sobrepasando los L.M.P., que establece el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (Empresa Municipal de Saneamiento Basico Puno, 2011).

Las altas concentraciones de nutrientes, producen un aumento acelerado de la productividad primaria (Fontúrbel *et al.*, 2006; Margalef, 1982; Rodriguez *et al.*, 2008; Hooker, 1996). Donde el fitoplancton ejerce un papel importante, como base de la cadena alimenticia de ecosistemas acuáticos ya que se caracterizan por ser autótrofos y sostenedores, sirviendo como el alimento principal en la dieta de los organismos secundarios (Arteaga & Perdomo, 2016; Torres, 2017). Asi mismo, son organismos considerados como indicadores de calidad de agua (Oliva-Martínez *et al.*, 2014), que se encuentran suspendidos a lo largo de la columna de agua (Torres, 2017; RIAA, 2013).



La dinámica poblacional (composición y abundancia) de estos microorganismos depende de algunos parámetros: físicos (luz, temperatura, entre otros), químicos (nutrientes, materia orgánica, pH, entre otros) y los factores biológicos como la depredación por parte del zooplancton y peces y competencia (MINAM, 2015). En medios eutróficos puede existir una baja diversidad de fitoplancton y una alta dominancia de algunos grupos fitoplanctónicos como las cianofitas, siendo altamente competitivos y desplazan a otros grupos (RIAA, 2013; Fontúrbel, 2005).

El fitoplancton presenta ciclos anuales previsible (Oliva-Martínez *et al.*, 2014), sin embargo, en ocasiones, cuando las condiciones ambientales son adecuadas, algunos grupos algales proliferan generando floraciones (Reguera *et al.*, 2011), las mismas que pueden llegar a causar impactos negativos en los ecosistemas acuáticos, provocando un olor y sabor desagradable en el agua (Carranza & Hernández, 2016), además de producir pérdidas económicas en la acuicultura y el turismo, así como daños en la salud pública por riesgos de toxicidad (Torres, 2017; Reguera *et al.*, 2011). Es por este motivo, que es importante realizar estudios de la comunidad fitoplanctónica para poder entender mejor su comportamiento y así tener un control sobre sus poblaciones, sobre todo en zonas eutrofizadas (Lazzaro *et al.*, 2016).

En un estudio realizado en Tuxtla, México, se determinó la composición del fitoplancton y sus relaciones especies – área de cinco sistemas lacustres; donde destaca el valor de conocer el funcionamiento y la estructura de esta comunidad (Mora, 2015). Además, se encontró que las aguas continentales en México están representadas por las clases Bacillariophyceae, Cyanophyceae y Chlorophyceae (Oliva-Martínez *et al.*, 2014). Así mismo, en Argentina se realizó el estudio de las comunidades algales, haciendo un levantamiento del estado trófico, así como el análisis de la calidad de agua que presentaba



la laguna Luan Lauquen, reflejando el estado eutrófico de la laguna, debido a que presentaba aguas con pH alcalino, además de registrar alta salinidad (Oriani, 2014).

En Cuba, en el embalse Abreus se evaluó la comunidad de fitoplancton donde se determinó su diversidad y abundancia, para evaluar la variación temporal y la relación con variables abióticas, encontrándose que el aumento de altas temperaturas promueve la abundancia de fitoplancton (Peraza, 2017). En Brasil, se analizó en un perfil vertical en la región central del lago Paranoá, la estructura, dinámica e importancia del fitoplancton, clasificando a este lago como un reservorio oligotrófico (Dias & Medeiros, 2018).

En Argentina, se analizó las variaciones espacio-temporales del fitoplancton en el embalse Escaba, respecto a variables fisicoquímicas para caracterizando la calidad del agua como deficiente (Martínez *et al.*, 2018). En Argentina y Uruguay, las floraciones algales se convirtieron en un problema de gran importancia (Sar *et al.*, 2002). Estos casos expuestos toman relevancia, para ejercer un plan de control y vigilancia de las floraciones algales en los cuerpos de agua (Laura *et al.*, 2018).

Las comunidades fitoplanctónicas también ha motivado la atención en cuerpos de agua a nivel nacional, es por eso que se evaluó la calidad de agua de acuerdo al análisis de los índices de abundancia, riqueza y diversidad de la comunidad microalgas y los parámetros fisicoquímicos de 5 lagunas altoandinas en Pasco, Perú (Baylón *et al.*, 2018), así mismo, se evaluó la laguna La Viuda en la ciudad de Lima (Laura *et al.*, 2018), en ambos casos, el índice de Shannon-Wiener (H') fue un herramienta fundamental para determinar la diversidad. En Chorrillos - Lima, se examinó la variabilidad de la comunidad del fitoplancton en diferentes zonas, así como en diferentes épocas del año, registrándose floraciones algales (Baylón *et al.*, 2019). Se ha propuesto además, que estos



cambios de biodiversidad en algunas especies estarían relacionados con el cambio climático (Bejarano, 2018).

En un ámbito más regional, en el lago Titicaca se han realizado diferentes estudios en el fitoplancton. Por ejemplo, un estudio donde se encontró que en cuatro zonas del sector boliviano, se incrementó la eutrofización, y pérdida de biodiversidad de macrofitas y fitoplancton (Fontúrbel, 2005). También, se evidencia que a mayor grado de eutrofización, las comunidades fitoplanctónicas se simplifican, dominando algunos géneros como *Oscillatoria*, *Closterium* y *Mougeotia* (Fontúrbel *et al.*, 2006). En el 2009, al caracterizar la zona litoral del lago Titicaca, el grupo más representativo fueron las Chlorophytas, destacando los géneros *Ulothrix* y *Mougeotia* (Instituto del Mar del Perú, 2009).

En el año 2011, la evaluación de fitoplancton en la bahía de Puno y del lago mayor, fue de 69 géneros y 89 especies, distribuidos en 6 grupos: Cyanophyta, Chlorophyta, Chrysophyta, Bacillariophyta, Pyrrhophyta y Cryptophyta (Turpo & Sanga, 2013). En julio del 2014, al evaluar recursos pesqueros y limnológicos del Titicaca, se registraron 77 géneros, en 5 grupos taxonómicos (Casas & Puntaca, 2014), sin embargo, en la zona de la reserva nacional del Titicaca se registró 7 grupos algales (Romero, 2018).

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Bahía de Puno

La bahía de Puno está conformada por dos áreas:

- **Bahía interior de Puno**, está situada al norte de la ciudad de Puno. Según Loza *et al.* (2016), cuenta con una extensión de 15.9 km² y con 39 millones de m³ de volumen, así mismo, indican que al 2012, el volumen de



sedimentos acumulado fue de 887352.02 m³. Es un ecosistema que va desde los 0.5 m hasta los 6.70 m, se caracteriza por ser somera y de poco flujo (Beltrán *et al.*, 2015).

Las aguas de la bahía interior de Puno, registraron altas temperaturas, baja transparencia, altas concentraciones de nutrientes y sobresaturación de oxígeno disuelto en la superficie del ecosistema, indicando una elevada producción de fitoplancton, así mismo, en algunas zonas se registró bajos niveles de oxígeno disuelto lo cual indicaría que existe descomposición bacteriana (Northcote *et al.* 1991).

- **Bahía exterior de Puno**, se encuentra conectado mediante un canal con la bahía interior de Puno, cuenta con una transparencia de 4 a 7 metros de profundidad aproximadamente (Morales *et al.*, 1991), además en la bahía exterior y en el lago mayor la biomasa de algas planctónicas es mucho más baja que en la bahía interior (Northcote *et al.* 1991).

2.2.2 Calidad del agua

La determinación de la calidad del agua es fundamental para la descripción del medio hídrico, para la caracterización ambiental, así como para la planificación y gestión hidrológica, sin embargo, esta se puede ver alterada por diversos factores naturales o externos. La OMS (2003), indica que la evaluación de la calidad de este recurso hídrico es un estudio que determina las características organolépticas, fisicoquímicas y biológicas del agua.

La eutrofización del agua dulce se considera como un problema de calidad, por el deterioro del cuerpo de agua y sus impactos. En la actualidad, el uso de indicadores biológicos son considerados como una herramienta para determinar



el estado en el que se encuentra una fuente de agua (Vázquez *et al.*, 2006), muchos autores indican que el fitoplancton es un buen indicador respecto a los cambios que se producen en el ecosistema, alterando la calidad de agua. Investigadores como Pinilla (2000) indican que es recomendable contrastar las poblaciones del fitoplancton con parámetros físicos y químicos para determinar el estado del ecosistema y el papel que desempeñan las especies. Los indicadores de calidad ambiental mediante el fitoplancton consiste en la evaluación de la biomasa, composición, abundancia y el biovolumen registrados en el cuerpo de agua (Baylón *et al.*, 2018).

2.2.3 Fitoplancton

Conocidos como la comunidad de microorganismos fotosintetizadores, que se mantienen suspendidos en lagos, ríos y océanos (Graham & Wilcox, 2000; MMA, 2015). Estas algas microscópicas son importantes en los ecosistemas como productores primarios ya que son base de la cadena trófica (Arteaga & Perdomo, 2016), además contribuyen a mantener los ciclos de carbono, oxígeno y nitrógeno (Peleato, 2011). Actualmente, el fitoplancton a través de la fotosíntesis se encarga de la producción de cerca de la mitad del oxígeno atmosférico (Graham & Wilcox, 2000).

Esta comunidad está en constante interrelación entre los factores bióticos y abióticos del ecosistema, las cuales influyen sobre su desarrollo (Peraza, 2017), entre los principales factores abióticos se encuentran los parámetros físicos como la luz, temperatura, salinidad, entre otros (MMA, 2015); factores químicos como los nutrientes (Oriani, 2014), pH y materia orgánica; y factores biológicos como la competencia con otras especies y la depredación de organismos superiores en



la cadena alimenticia (Peraza, 2017). Las variaciones de estas condiciones pueden ser detectadas anticipadamente mediante la evaluación de las microalgas a través de la determinación de su composición y abundancia (Vázquez *et al.*, 2006).

Debido a su alto grado de sensibilidad a los cambios fisicoquímicos del ambiente en el que se encuentran (Brettum & Andersen, 2005), además encargarse de la productividad primaria del ecosistema y su gran distribución en diferentes ecosistemas acuáticos (Oriani, 2014), son considerados como bioindicadores naturales de las variaciones en la calidad de agua (Ekwu & Sikoki, 2006) y así determinar el grado de contaminación del ecosistema (Baylón *et al.*, 2018) a través de diversos métodos ecológicos (Oriani, 2014).

2.2.3.1 Grupos taxonómicos del fitoplancton del lago Titicaca

2.2.3.1.1 Bacillariophyta

Son comúnmente conocidos como diatomeas y su comportamiento puede reflejar el estado actual de la superficie del ecosistema frente a impactos que presenta (Cox, 1991), se diferencia de otros grupos por poseer una estructura impregnada en sílice (Graham & Wilcox, 2000). Pueden desarrollarse en aguas poco profundas en ecosistemas acuáticos lóticos y lénticos (Peraza, 2017; Graham & Wilcox, 2000). Las especies de este grupo son considerados como bioindicadores de la productividad primaria, del proceso de eutrofización en el que se encuentra, la acidificación de las aguas del medio acuático y en muchos casos la contaminación por metales pesados (Baylón *et al.*, 2018), por lo que, muchos investigadores especialistas elaboraron índices biológicos que usan a las diatomeas como indicador.



2.2.3.1.2 Chlorophyta

Constituye el grupo algal más diverso, los cuales se denominan comúnmente algas verdes (RIAA, 2013) por su pigmentación muy parecida al de las plantas superiores (Acleto & Zúñiga, 1998). Son capaces de colonizar hábitats muy variados (RIAA, 2013), sin embargo se encuentran mayormente en ecosistemas dulceacuícolas (Graham & Wilcox, 2000).

2.2.3.1.3 Charophyta

Este grupo de algas verdes pueden ser macroscópicas, regularmente son agrupados con las macrofitas, ecológicamente su importancia consiste en ayudar a controlar los ciclos del nitrógeno y del fósforo, mejoran la transparencia del agua y también cumplen la función de indicadores biológicos para determinar el estado de los ecosistemas (Barbosa *et al.*, 2021); así como también pueden ser microscópicas, que incluye a las algas filamentosas (Graham & Wilcox, 2000), estas se pueden encontrar en hábitats de agua dulce (estanques, lagos, lagunas, arroyos, ríos y otros ecosistemas pobres en nutrientes) y en menor cantidad en aguas salobres (Graham *et al.*, 1995).

2.2.3.1.4 Ochrophyta

Son conocidas como algas pardas, se caracterizan por la morfología que presentan que las asemejan estructuralmente a las plantas embriofitas, además son conocidas por su abundancia y distribución que presentan en las costas (García-García *et al.*, 2021). Estas algas son pluricelulares, en

su mayoría se desarrollan en agua salada y abundan en zonas costeras templadas, y también en agua fría.

2.2.3.1.5 Miozoa

También conocidos como dinoflagelados (Graham *et al.*, 2016), tecados o armados debido a que presentan una placa conformada por un compuesto químico orgánico denominado celulosa, y las atecadas o desnudas que no cuentan con esta estructura (Gómez *et al.*, 2011), en su mayoría son organismos eucariotas unicelulares (González, 1988), algunas especies cuentan con una forma de espinas largas o de cuernos como es el caso del género *Ceratium* (González, 1988). Las especies del grupo Miozoa tienen una gran importancia ecológica ya que presentan el mayor número de especies que causan daños en la salud pública y ambiental (Taylor, 1993).

2.2.3.1.6 Cianobacteria

Son organismos procariotas, pueden presentar formas unicelulares, coloniales o filamentosas (Graham & Wilcox, 2000), debido a la coloración que presentan, es que se conocen vulgarmente como algas verde azuladas (Peleato, 2011). Su distribución es muy amplia podemos encontrarlas en diversos cuerpos de aguas continentales o marinas (Acleto y Zúñiga, 1998), así como en diversos ecosistemas extremos con aguas que presentan el pH alcalino o ácido, e incluso en otros que presenten altas temperaturas (Graham & Wilcox, 2000), también se pueden encontrar en suelos húmedos o áridos, aguas termales, charcos, desagües, cisternas, entre otros (Peleato, 2011).



Las cianobacterias cumplen un rol importante en la productividad de los lagos debido a su capacidad de fijar nitrógeno, lo cual es significativo para la productividad de los lagos (Graham & Wilcox, 2000), las especies de este grupo son conocidas por ser indicadores de eutrofización en estos ecosistemas (Reynolds, 1984), ya que el incremento de su densidad poblacional se debe al incremento de nutrientes en el agua (Baylón *et al.*, 2018). Sin embargo, el crecimiento masivo de sus poblaciones puede causar alteraciones en la calidad de agua y en muchos casos puede llegar a ocasionar daños en la salud de las personas, así como, de organismos acuáticos (Graham & Wilcox, 2000), este incremento poblacional se conoce como floración o bloom algal, en donde son capaces de producir metabolitos secundarios llamados cianotoxinas, los cuales son tóxicos para organismos eucariotas (Peleato, 2011).

2.2.4 Características fisicoquímicas del agua

2.2.4.1 Temperatura

Es un factor abiótico que se encarga de moderar los procesos vitales de los organismos vivos, sin embargo, su variación también afecta a las propiedades químicas y físicas en un ecosistema. En el lago mayor se registró una temperatura media anual de 13.0°C, donde los valores mínimos registrados a finales del mes de julio con 10.9°C y los máximos valores fueron de 17.0°C durante el mes de febrero; datos muy similares fueron registrados en el lago menor, donde las temperaturas encontradas fluctuaron entre los 8.5°C en junio y 18.5°C en febrero (Dejoux & Iltis, 1991).



2.2.4.2 Transparencia

En algunos casos este parámetro depende de la concentración de fitoplancton, de la proximidad del fondo y las partículas en suspensión (Lazzaro, 1981 en Dejoux & Iltis, 1991). La medición de la transparencia registrada mediante el disco Secchi, se presenta de mejor manera en el lago mayor debido a la profundidad que presenta, registrando valores que varían de 4.5 a 10.5 metros de transparencia (Richerson *et al.*, 1977 en Dejoux & Iltis, 1991).

2.2.4.3 Potencial de hidrogeniones (pH)

Este parámetro es una medida del nivel de acidez o alcalinidad de una solución, esta se representa a través de una escala que va de 0 a 14, donde la mitad es considerada un punto neutro, así mismo, se considera una solución ácida cuando el valor del pH es inferior a 7, y una solución básica o alcalina cuando presenta un valor de pH mayor a 7 (Northcote, 1991). Este parámetro es importante para diagnosticar la calidad del agua ya que su concentración determina la existencia de la mayoría individuos en el ecosistema.

2.2.4.4 Conductividad eléctrica

Este parámetro, es una manera indirecta de medir los electrolitos en el agua (Wetzel, 1981), se encuentra relacionado directamente con los cambios que presenta la temperatura de tal forma que cada grado de aumento de temperatura aumenta aproximadamente un 2% la conductividad, de la misma que se relaciona con la concentración de las



sales disueltas (Seoánez, 1999), además en ecosistemas de agua dulce, se encuentra principalmente vinculado con la geología del área.

2.2.4.5 Sólidos Totales Suspendidos (STD)

Los sólidos suspendidos, engloban a todas las sustancias que se encuentran flotando o en suspensión en el agua y que no sedimentan naturalmente, se componen de minerales, metales y sales disueltas de diversa procedencia, pero aproximadamente del 55 al 80% del total son materias orgánicas degradables. Estos pueden tener un efecto negativo en la calidad del agua acrecentando su turbidez, lo cual genera que se reduzca el paso de la luz solar (Roldán & Ramírez, 2008).

2.2.4.6 Oxígeno disuelto del agua

Este parámetro indica el nivel de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua, desempeña un papel importante sobre los organismos acuáticos que tienen una respiración de tipo aerobio (Wetzel, 1981). Este parámetro se encuentra regulado por la presión atmosférica y la temperatura (Dejoux & Iltis, 1991), por lo que a medida que la temperatura aumenta, la concentración de OD disminuye, esta baja disponibilidad de OD en un ecosistema, da lugar a procesos anaeróbicos, ocasionando la descomposición de la materia orgánica, generando la presencia de malos olores.

2.2.5 Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA)

De acuerdo a la Ley N° 28611, denominada “Ley General del Ambiente”, refiere que los ECA son valores numéricos que indican el grado de los elementos,



sustancias o parámetros presentes en el ambiente (Ministerio el Ambiente, 2005). Los estándares de calidad ambiental para agua, fueron aprobados de acuerdo al D. S. N° 004-2017 - MINAM, 2017, donde indica que los ECAs son considerados como instrumentos de gestión ambiental y tienen la función de ejercer un plan de monitoreo y vigilancia de la calidad de agua.

2.2.6 Eutrofización del lago Titicaca

La eutrofización de ecosistemas acuáticos que contienen agua dulce como lagos y lagunas se considera como un problema de calidad de agua (Baylón *et al.*, 2018), una de las causas más frecuentes es debido al incremento de nutrientes (Peleato, 2011), este proceso genera que se aceleren las interacciones cíclicas de los ecosistemas acuáticos enriquecidos por N y P (Margalef, 1977; Wetzel, 1981), causando daños en el medio acuático, así como impactos en el consumo de agua.

Northcote *et al.* (1991) indican que la contaminación del lago Titicaca está focalizada en algunas áreas estratégicas, como la bahía interior de Puno, que se caracteriza por presentar aguas con altas cantidades de N y P, así mismo los niveles de oxígeno que se registran son bajos en la parte profunda y en la parte superficial se encuentra una alta sobresaturación, además la DBO₅ es muy elevada, lo cual indicaría el ingreso de una gran cantidad de materia orgánica. El nivel trófico de la bahía interior de Puno, por las características ambientales que presenta y por efectos de la contaminación por aguas residuales y otros, ha sido modificado desde un estado oligotrófico hasta un nivel hipertrófico (Ocola, 2017).

2.2.7 Efectos de la contaminación sobre el fitoplancton

En ecosistemas acuáticos, el fitoplancton es usado como indicador biológico del estado trófico, de las presiones hidromorfológicas, así como de la



variación de las características fisicoquímicas, las cuales están directamente relacionadas con la eutrofización debido a las concentraciones de nitrógeno y fósforo, contaminación térmica, contaminación orgánica (MMA, 2015). Se considera indicador biológico debido a que presenta una respuesta rápida ante los cambios ambientales que puede presentar un ecosistema, esto debido a que se caracterizan por presentar ciclos de vida cortos, así mismo, en algunos casos tienen una amplia distribución, así como poseen diferentes preferencias ambientales, por lo que también se encuentran en aguas que presentan una fuerte contaminación, siendo tolerante a ciertos componentes químicos o bioquímicos que se encuentren presentes en el cuerpo de agua (Vázquez *et al.*, 2006).

La eutrofización está directamente asociada con el incremento de las densidades de fitoplancton (Peleato, 2011), se presume que la eutrofización ocasiona la pérdida de diversidad de especies y el incremento de la abundancia de ciertos grupos algales que son indicadores de calidad de agua (Peraza, 2017), ocasionando florecimientos algales.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio fue realizada la bahía de Puno, la cual comprende dos zonas: la bahía interior y la bahía exterior. Está ubicada al noreste del lago Titicaca, presenta 700 mm de precipitación al año y una temperatura promedio de 12°C, lo cual hace que presente un clima frío y semiseco, con veranos lluviosos e inviernos secos con fuertes heladas (ALT, 2020). La bahía de Puno, muestra un impacto negativo de origen antrópico, por las descargas de agua servidas provenientes de la ciudad de Puno, ocasionando un incremento de biomasa algal, aceleramiento del proceso de eutrofización y anoxia en el cuerpo de agua (Northcote *et al*, 1991).

El área de estudio, se ubicó en 3 zonas (Figura 1 y Tabla 1), las cuales son descritas de la siguiente manera:

Zona de muestreo 1 (Z-1): Se ubicó en la bahía exterior de Puno, cerca de una comunidad llamada Chimu, donde se encuentra la zona de captación de agua potable que abastece a la ciudad de Puno. Esta zona servirá como control en relación a las otras zonas de muestreo.

Zona de muestreo 2 (Z-2): Se ubicó en la bahía interior de Puno, frente al efluente de la laguna de estabilización, localizado al extremo derecho de la isla Espinar. Esta laguna se caracteriza por recibir y dar tratamiento a las aguas residuales que provienen de la población de Puno, y que en la actualidad ya no trabaja de acuerdo al propósito establecido.

Zona de muestreo 3 (Z-3): Se ubicó en la bahía interior de Puno, frente al barrio San José, donde se vierten aguas residuales directamente y sin ningún tratamiento, estas provienen de la Universidad Nacional del Altiplano - UNA Puno y de viviendas aledañas.

Figura 1

Mapa del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

Tabla 1

Ubicación geográfica del área de estudio.

Zona de muestreo	Código	Coordenadas		
		x	y	
Bahía exterior	Chimu	Z - 1	-69.96078	-15.84973
Bahía interior	Espinar	Z - 2	-69.99612	-15.85109
	San José	Z - 3	-70.00741	-15.829611

Fuente: Elaboración propia



3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de carácter descriptivo, debido a que pretende mostrar el impacto que produce la contaminación por aguas residuales en la comunidad de fitoplancton, en relación a la diversidad y abundancia, además de la descripción de la relación que presenta con los parámetros físicos y químicos del agua en la bahía del lago Titicaca, Puno.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población de este estudio está compuesta por el fitoplancton que se encuentra presente en la bahía exterior del lago Titicaca, donde se encuentra la captación de agua potable que abastece a la ciudad de Puno; y en la bahía interior, en la zona que se encuentra próxima a la laguna de estabilización el Espinar y en San José que presenta antecedentes de desemboques de aguas residuales domesticas sin previo tratamiento.

Las muestras de fitoplancton y los datos fisicoquímicos del agua, se obtuvieron en monitoreos quincenales, durante los meses de febrero, marzo y abril, en las zonas anteriormente mencionadas. Se colectaron muestras de la parte superficial y del fondo, con dos repeticiones cada una, obteniendo 24 muestras mensuales y un total de 72 muestras colectadas para la realización de la investigación. Así mismo, el horario de muestreo fue en horas de la mañana.

3.4 METODOLOGÍA

3.4.1 Metodología de campo

La obtención de muestras se realizó mediante una botella muestreadora de tipo Kemmerer de 3 L de capacidad (Figura 2), en dos estratos: superficial (0.5 m) y profundo (10 metros de profundidad en Chimu y 3 metros de profundidad en

Espinar y San José), con dos repeticiones en cada punto de muestreo. El contenido de la botella fue vertido en frascos de tapa ancha de 250 ml de capacidad y llenado hasta el 90% de su capacidad (MINAM, 2014; MMA, 2015).

Las muestras obtenidas se preservaron con la solución Lugol al 1% utilizando una cantidad de 0.5 ml por cada 100 ml de muestra y homogenizadas suavemente para evitar el enquistamiento de algunos organismos. Los frascos se etiquetaron con rotuladores resistentes al agua, registrando los siguientes datos: fecha, estación de colecta, repetición y profundidad (Ministerio el Ambiente, 2014b), posteriormente se almacenaron en cajas de Tecnopor para protegerlas de la luz y colocadas en un lugar fresco (MMA, 2015).

Figura 2

Muestreo de fitoplancton mediante la botella Kemmerer, febrero, 2022.



Fuente: Elaboración propia

Así mismo, para caracterizar el ambiente acuático donde se encuentra la comunidad de fitoplancton, se midieron in-situ las siguientes variables ambientales:

- **Temperatura, conductividad eléctrica, pH, STD y OD del agua.** Estos parámetros se midieron mediante un multiparámetro de marca AZ-86031, su medición fue directa de las muestras de agua (Figura 3).

Figura 3

Medición de los parámetros fisicoquímicos, marzo, 2022.



Fuente: Elaboración propia

- **Transparencia del agua:** se empleó un disco Secchi, el cual se encontraba atado a un cabo previamente marcado metro a metro (Figura 4).

Figura 4

Medición de la transparencia, marzo 2022.



Fuente: Elaboración propia

Estos parámetros fisicoquímicos, fueron evaluados en cada una de las zonas de muestreo y el registro se realizó cada 15 días con 5 repeticiones de cada parámetro.

3.4.2 Metodología de laboratorio

El análisis de muestras de fitoplancton se llevó a cabo en el Laboratorio de Ecología Acuática de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNA Puno, la identificación de especies de fitoplancton se realizó a través de las claves taxonómicas de Parra *et al.* (1982a, 1982b, 1982c, 1982d, 1982e) así como los trabajos de MAGRAMA (2012), RIAA (2013) y MINAM (2014b),

Además, la cuantificación de fitoplancton se realizó con un microscopio compuesto a través de una cámara de Sedgewick– Rafter a un aumento de 20x, el procedimiento se realizó de acuerdo a la guía propuesta por Reguera *et al.* (2011), el mismo que consistió en concentrar 15 ml de muestra y la submuestra fue vertida

en la cámara anteriormente mencionada, debido a la densidad de la submuestra, se contabilizaron las células presentes en 5 filas de la placa de conteo.

3.4.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico empleado en esta investigación, se describe de acuerdo a los objetivos planteados:

3.4.3.1 Análisis de la diversidad de fitoplancton en las tres zonas de estudio de la bahía interior y exterior del lago Titicaca.

- Para determinar la diversidad de la comunidad del fitoplancton, se usó el índice de Shannon - Wiener, el mismo que se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \cdot \log_2(p_i)$$

Donde: S = Número de especies.

p_i = Proporción de los individuos de cada especie en la comunidad.

Este índice presenta resultados que varían de 1 a 5 (Margalef, 1972). La determinación de este índice fue procesada mediante el programa estadístico Past Versión 3.13.

- Para determinar diferencias entre las áreas de estudio, se aplicó la prueba estadística Kruskal Wallis, la cual se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$



Donde: n = Número total de observaciones.

R_i = Comparación entre el rango observado y el rango esperado.

n_i = Número de observaciones por muestra.

Para los valores de probabilidad que son mayores a 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0), por ende, se rechaza la hipótesis alterna (H_a). El análisis estadístico Kruskal Wallis, se realizó mediante el programa INFOSTAT (2020).

3.4.3.2 Evaluación de la abundancia y diversidad de fitoplancton en la parte superficial y profunda de la bahía interior y exterior del lago Titicaca.

- La diversidad de fitoplancton presente en las zonas de estudio, se halló mediante el índice de Shannon, el cual fue procesado mediante el programa estadístico PAST Versión 3.13.
- La abundancia de fitoplancton fue expresada en litros, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{ind/L} = \left(\frac{\text{n}^\circ \text{ cel. contadas}}{\text{n}^\circ \text{ cuadrillos barridos}} \times \frac{1000 \text{ cuadrillos}}{1 \text{ mL}} \right) \times 1000$$

Donde: ind/L = individuos/litro

- La abundancia relativa será representada como el porcentaje de fitoplancton presente, donde el 100% es el número total de organismos en el área. Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Abundancia relativa} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de ind. por especie}}{\text{N}^\circ \text{ total de ind.}} \times 100$$

La determinación la abundancia será procesada mediante el programa Excel.

- Para determinar la diferencia estadística entre las profundidades y las áreas evaluadas, se aplicó la prueba estadística no paramétrica Kruskal Wallis, utilizando el programa de INFOSTAT 2020.

3.4.3.3 Determinar la relación del fitoplancton con los parámetros fisicoquímicos de la bahía interior y exterior.

- Para la determinación de la relación del fitoplancton y los parámetros fisicoquímicos del agua de las zonas evaluadas, se aplicó la correlación de Pearson. El coeficiente de correlación mide el nivel de covariación entre diferentes variables, presenta valores que van de -1 y 1, se determinó mediante el siguiente modelo matemático:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i * \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

Donde: r = Coeficiente de correlación.

n = Número de pares ordenados.

x = Variable independiente (parámetros fisicoquímicos).

y = Variable dependiente (abundancia).

El análisis de datos se realizó mediante el paquete estadístico, InfoStat versión 2020.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DIVERSIDAD DE FITOPLANCTON DE LA BAHÍA INTERIOR Y EXTERIOR DEL LAGO TITICACA.

4.1.1 Composición de fitoplancton

En la bahía exterior del lago Titicaca, en la zona de Chimu, se registró un total de 48 géneros y 51 especies de fitoplancton, los cuales están distribuidos en 6 grupos taxonómicos: 23 especies de Chlorophyta, 12 especies de Bacillariophyta, 8 especies de Charophyta, 5 especies de Cyanophyta, 2 especies de Miozoa y 1 especie de Ochrophyta (Tabla 2, Anexo: Tabla 7).

Tabla 2

Presencia y ausencia de las especies de fitoplancton registradas en zona de Chimú, febrero – abril 2022.

División	Zona Mes	B. exterior		
		Chimu		
		F	M	A
Cyanophyta	<i>Gomphosphaeria</i> sp.	x	x	-
	<i>Microcystis</i> sp.	x	x	x
	<i>Dolichospermum spiroides</i>	-	x	-
	<i>Limnoraphis robusta</i>	-	x	-
	<i>Oscillatoria</i> sp.	-	x	-
Chlorophyta	<i>Chlorococcum</i> sp.	x	x	x
	<i>Chlamydocapsa</i> sp.	x	x	x
	<i>Eudorina</i> sp.	x	x	x
	<i>Pandorina</i> sp.	x	x	-
	<i>Sphaerocystis</i> sp.	x	x	x
	<i>Monactinus simplex</i>	x	x	x
	<i>Tetraedron</i> sp.	-	x	-
	<i>Pediastrum duplex</i>	x	x	x
	<i>Pseudopediastrum boryanum</i>	x	x	x
	<i>Coelastrum</i> sp.	x	x	x
	<i>Desmodesmus quadricaudata</i>	x	x	x
	<i>Scenedesmus ecornis</i>	-	x	-
	<i>Schroederia</i> sp.	x	x	x
	<i>Monoraphidium</i> sp.	x	x	x
	<i>Pseudoquadrigula</i> sp.	x	-	-
	<i>Ankyra judayi</i>	-	-	x
	<i>Mucidosphaerium pulchellum</i>	x	x	x
	<i>Neglectella solitaria</i>	x	x	x
	<i>Nephrocitium agardhianum</i>	-	x	-
	<i>Oocystis borgei</i>	x	x	x
<i>Oocystis lacustris</i>	x	x	x	
<i>Botryococcus</i> sp.	-	x	x	
<i>Paradoxia multisetata</i>	x	-	x	
Charophyta	<i>Elakatothrix</i> sp.	x	x	x
	<i>Klebsormidium subtile</i>	x	x	x
	<i>Closterium aciculare</i>	-	-	x
	<i>Closterium</i> sp.	x	x	-
	<i>Cosmarium</i> sp.	x	x	-
	<i>Staurastrum gracile</i>	x	x	x
	<i>Gonatozygon</i> sp.	-	-	x
Bacillariophyta	<i>Mougeotia</i> sp.	x	x	x
	<i>Cocconeis</i> sp.	x	x	x
	<i>Nitzschia linearis</i>	-	x	-
	<i>Nitzschia</i> sp.	x	x	x
	<i>Rhoicosphenia</i> sp.	x	x	x
	<i>Fragilaria capucina</i>	x	-	-
	<i>Fragilaria crotonensis</i>	x	x	x
	<i>Navicula</i> sp.	x	x	x
	<i>Pinnularia</i> sp.	x	x	-
	<i>Asterionella formosa</i>	x	x	x
Miozoa	<i>Epithemia</i> sp.	x	x	x
	<i>Amphora</i> sp.	x	x	x
	<i>Discostella</i> sp.	x	x	x
	<i>Peridinium</i> sp.	x	x	x
Ochrophyta	<i>Ceratium hirundinella</i>	x	x	x
	<i>Tribonema</i> sp.	x	x	x

x = Presencia - = Ausencia F = febrero M = marzo A = abril

Fuente: Elaboración propia



En la bahía interior del lago Titicaca, en la zona de Espinar, se registró un total de 37 géneros y 40 especies de fitoplancton, los cuales están distribuidos en 6 grupos taxonómicos: 15 especies de Chlorophyta, 9 especies de Charophyta, 8 especies de Bacillariophyta, 5 especies de Cyanophyta, 2 especies de Miozoa y 1 especie de Ochrophyta (Tabla 3, Anexo: Tabla 8).

Así mismo, en la zona de San José, se registró un total de 36 géneros y 38 especies de fitoplancton, los cuales están distribuidos en 6 grupos taxonómicos: 18 especies de Chlorophyta, 7 especies de Charophyta, 6 especies de Bacillariophyta, 5 especies de Cyanophyta, 1 especie de Miozoa y 1 especie de Ochrophyta (Tabla 3, Anexo: Tabla 9).

Tabla 3

Presencia y ausencia de las especies de fitoplancton registradas en zonas de Espinar y San José, febrero – abril 2022.

División	Zona Mes Género /Especie	B. interior					
		Espinar			San José		
		F	M	A	F	M	A
Cyanophyta	<i>Chroococcus</i> sp.	x	-	x	-	x	-
	<i>Gomphosphaeria</i> sp.	x	-	-	-	x	-
	<i>Aphanothece</i> sp.	-	-	-	-	-	x
	<i>Microcystis</i> sp.	x	x	x	x	x	x
	<i>Anabaena sphaerica</i>	x	-	-	x	-	-
	<i>Oscillatoria</i> sp.	-	-	x	-	-	-
Chlorophyta	<i>Chlorococcum</i> sp.	x	x	x	x	x	x
	<i>Chlamydocapsa</i> sp.	x	x	x	x	x	x
	<i>Eudorina</i> sp.	x	-	x	-	-	-
	<i>Pandorina</i> sp.	-	x	-	x	-	-
	<i>Sphaerocystis</i> sp.	x	x	x	-	x	x
	<i>Monactinus simplex</i>	-	-	-	-	x	x
	<i>Tetraedron</i> sp.	x	x	-	x	-	-
	<i>Pediastrum duplex</i>	x	x	x	x	x	x
	<i>Pseudopediastrum boryanum</i>	x	x	x	x	x	x
	<i>Coelastrum</i> sp.	x	x	-	x	x	x
	<i>Desmodesmus quadricaudata</i>	-	x	x	-	-	x
	<i>Schroederia</i> sp.	-	-	x	x	-	x
	<i>Monoraphidium</i> sp.	-	-	x	-	x	x
	<i>Ankyra judayi</i>	-	-	-	-	-	x
	<i>Mucidosphaerium pulchellum</i>	-	-	-	-	-	x
	<i>Neglectella solitaria</i>	x	x	x	x	x	x
	<i>Oocystis borgei</i>	x	x	x	x	x	x
	<i>Oocystis lacustris</i>	x	x	x	x	x	x
	<i>Botryococcus</i> sp.	-	-	-	x	-	x
	Charophyta	<i>Elakatothrix</i> sp.	x	-	x	-	x
<i>Klebsormidium subtile</i>		x	x	x	x	x	x
<i>Closterium aciculare</i>		-	x	x	-	x	x
<i>Closterium ehrenbergii</i>		x	-	-	-	-	-
<i>Closterium</i> sp.		x	x	-	x	x	-
<i>Cosmarium</i> sp.		x	-	-	x	-	-
<i>Staurastrum gracile</i>		x	x	x	x	x	x
<i>Spirogyra</i> sp.		x	-	-	-	-	-
<i>Mougeotia</i> sp.		-	x	x	-	x	x
<i>Cocconeis</i> sp.		x	-	-	x	-	-
Bacillariophyta	<i>Nitzschia</i> sp.	x	x	x	x	x	x
	<i>Rhoicosphenia</i> sp.	x	-	-	-	-	-
	<i>Fragilaria crotonensis</i>	x	x	x	x	x	x
	<i>Navicula</i> sp.	x	x	x	x	x	x
	<i>Pinnularia</i> sp.	x	x	-	x	-	-
	<i>Stauroneis</i> sp.	x	-	-	-	-	-
	<i>Epithemia</i> sp.	x	-	-	-	-	-
	<i>Discostella</i> sp.	-	-	-	-	x	-
Miozoa	<i>Peridinium</i> sp.	-	-	x	-	-	-
	<i>Ceratium hirundinella</i>	-	x	x	-	x	x
Ochrophyta	<i>Tribonema</i> sp.	-	-	x	-	x	-

x = Presencia - = Ausencia F = febrero M =marzo A = abril

Fuente: Elaboración propia



En su investigación, Belón (2002) registró 42 géneros de fitoplancton en la bahía interior de Puno, los mismos se encuentran agrupados en 4 divisiones: Chlorophyta, Chrysophyta, Cyanophyta y Euglenophyta. De la misma manera, Dominguez (2022) que en su investigación durante la época húmeda registró un total de 59 especies, sin embargo, en la época seca se identificó un total de 42 especies, en ambos casos, estas especies se encontraron asociadas en 5 grupos: Bacillariophyta, Chlorophyta, Charophyta, Cyanophyta y Miozoa, donde el grupo Bacillariophyta constituyó el grupo con mayor riqueza de especies.

Durante el año 1982 -1983, en el sector Ojerani ubicado cerca de Chimu en la bahía exterior del lago Titicaca, se determinó la presencia de 41 géneros y 48 especies las mismas que estuvieron agrupadas en 3 grupos: Chlorophyta, Chrysophyta y Cyanophyta (Arévalo, 1984). Sin embargo, durante el año 2011 en la bahía exterior se reportó la presencia de 73 especies representados en 6 grupos: Cyanophyta, Chlorophyta, Chrysophyta, Bacillariophyta, Pyrrophyta y Cryptophyta (Turpo y Sanga, 2013), asimismo en el 2015 se registraron 69 especies Chlorophyta, Pyrrophyta, Bacillariophyta, Cyanophyta y Chrysophyta (Instituto del Mar del Perú, 2015). Actualmente, en la bahía exterior (Chimu) se registró 48 géneros y 51 especies de fitoplancton, los cuales están distribuidos en 6 divisiones Cyanophyta, Chlorophyta, Charophyta, Bacillariophyta, Miozoa y Ochrophyta.

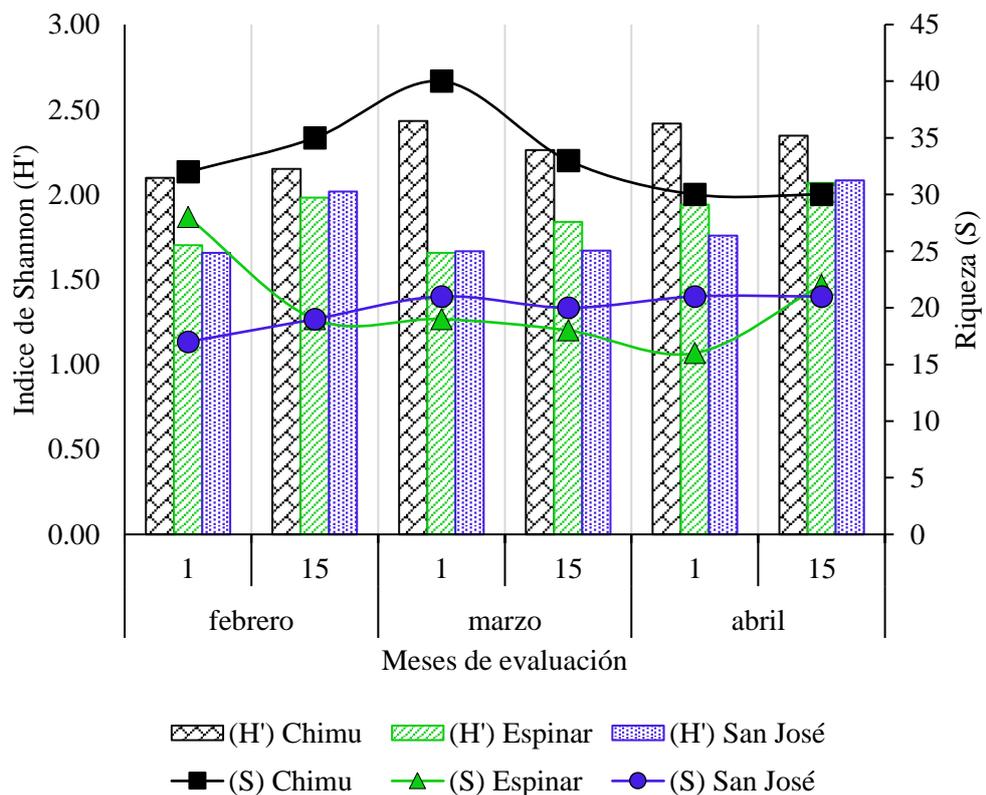
4.1.2 Diversidad y riqueza de fitoplancton

Según el índice de diversidad de Shannon en la bahía exterior en Chimu, se registraron valores que van de 2.10 a 2.43 bits.ind⁻¹, y su valor promedio es de 2.28 bits.ind⁻¹, con una riqueza de 33 especies, mostrando mayor diversidad y

riqueza respecto a las otras zonas evaluadas. Sin embargo, en la bahía interior del lago Titicaca, en la zona de Espinar los valores fluctuaron de 1.66 a 2.07 bits.ind⁻¹, con un promedio de 1.86 bits.ind⁻¹, indicando baja diversidad, asimismo la riqueza promedio de 20 especies; en San José se registraron valores de 1.66 a 2.08 bits.ind⁻¹, con un promedio de 1.81 bits.ind⁻¹, siendo la zona con diversidad más baja en el estudio y la riqueza promedio fue de 20 especies (Figura 5).

Figura 5

Diversidad de Shannon – Wiener (H') y riqueza de especies (S) registrados en la bahía del lago Titicaca, febrero – abril 2022.



Fuente: Elaboración propia



Existe diferencia significativa de la diversidad de fitoplancton en las zonas evaluadas ($H = 11.44$; g.l.= 2; $p = 0.0032$), siendo mayor en la zona de Chimu con respecto a Espinar y San José, esto para un nivel de confianza de $\alpha = 0.05$.

En el año 2011, en la bahía interior durante el mes de diciembre obtuvieron una diversidad de $3.15 \text{ bits.ind}^{-1}$, además durante el mes de junio presento un valor de $1.56 \text{ bits.ind}^{-1}$ y un promedio de $2.56 \text{ bits.ind}^{-1}$ (Turpo & Sanga, 2013), así mismo, según Dominguez (2022), en la bahía interior registró un valor promedio de $1.215 \text{ bits.ind}^{-1}$, indicando que la diversidad de especies en esta zona es baja, sin embargo, en este estudio el valor promedio registrado en la bahía interior fue de $1.85 \text{ bits.ind}^{-1}$.

Así mismo, la diversidad de especies en la bahía exterior, en un estudio realizado por IMARPE (2015), presentó una diversidad de $2.9 \text{ bits.ind}^{-1}$, además Puntaca & Casas (2015), registraron un valor de $3.68 \text{ bits.ind}^{-1}$, siendo registros mayores a los obtenidos durante este estudio que obtuvo un promedio de $2.28 \text{ bits.ind}^{-1}$ de diversidad, a diferencia de Dominguez (2022), que presentó un valor de $1.956 \text{ bits.ind}^{-1}$, siendo valores distintos a los resultados obtenidos en este estudio, con una diversidad de $2.28 \text{ bits.ind}^{-1}$.

Estos resultados reflejarían que existe una mayor diversidad de especies en la bahía exterior que en la bahía interior del lago Titicaca – Puno, esta diferencia existente entre las zonas evaluadas, se debe a las variaciones de la calidad del agua, asimismo las principales causas que determinan la diversidad del fitoplancton son la ubicación geográfica, los factores ambientales (Stomp *et al.*, 2004), la conservación del lago y las condiciones fisicoquímicas, influyen



considerablemente en la composición y distribución del fitoplancton (Vázquez-Hurtado *et al.*, 2004).

Dominguez (2022), en su estudio indica que la riqueza de especies en la bahía interior del lago Titicaca fue de 19 especies, a diferencia de la bahía exterior que registró 24 especies, mostrando de esta manera que en la bahía interior existen menos especies que en la exterior; concordando con los resultados presentados en el estudio, donde la riqueza promedio de las zonas de Espinar y San José (bahía interior) fue de 20 especies y en Chimu (bahía exterior) fue de 33 especies.

Los factores que influyeron en la bahía interior de Puno se deben a la menor profundidad y bajo flujo, además que recibe una alta carga de contaminantes de desagües provenientes de la ciudad de Puno, alterando de esta manera los factores ambientales y las características fisicoquímicas de este cuerpo de agua. (Beltrán *et al.*, 2015), a diferencia de la bahía exterior de Puno que está caracterizada por presentar aguas más claras, por ende, muestra una mayor transparencia (Morales *et al.*, 1991), también se encuentra influenciada en menor grado por la eutrofización, debido a su ubicación existen constantes intercambios con aguas exteriores (Dejoux & Iltis, 1991).

4.2 ABUNDANCIA Y DIVERSIDAD DE FITOPLANCTON EN LA PARTE SUPERFICIAL Y PROFUNDA DE LA BAHÍA INTERIOR Y EXTERIOR DEL LAGO TITICACA.

4.2.1 Superficie

4.2.1.1 Abundancia de fitoplancton

La abundancia relativa de fitoplancton en la superficie; en Chimú perteneciente a la bahía exterior, registró 6 divisiones, donde el grupo Bacillariophyta que presentó una abundancia 63188 ind/L que representa el 55.07%, donde la especie *Nitzschia* sp. fue la más dominante con 46004 ind/L; seguido el grupo Chlorophyta que presentó 27327 ind/L la cual representa un 23.82%, siendo las especies dominantes *Pediastrum dúplex* y *Oocystis borgei* con 8526 ind/L y 6923 ind/L respectivamente.

El grupo Charophyta que presentó una abundancia de 15204 ind/L el mismo que representa el 13.25%, estos valores se deberían a la dominancia de las especies *Klebsormidium subtile* con 8754 ind/L y *Mougeotia* sp. con 6052 ind/L, y en menores proporciones los grupos Miozoa que representa el 5.85%, Cyanophyta con el 1.22% y Ochrophyta con el 0.78% (Tabla 4, Anexo: Figuras 11-15).

En las zonas correspondientes a la bahía interior, el Espinar registró 6 divisiones, donde el grupo Chlorophyta presentó una abundancia de 231978 ind/L que representa el 75.20% de los grupos registrados, siendo *Oocystis borgei* la especie más abundante con 67985 ind/L; seguido por el grupo Charophyta con 60459 ind/L la cual representa el 19.60% de abundancia, siendo *Closterium* sp. la especie más abundante con 47941

ind/L; en menores proporciones los grupos Bacillariophyta que representa el 2.92%, Cyanophyta con 2.19%, Miozoa con 0.06% y Ochrophyta con 0.03%.

A diferencia del grupo San José, que registró 5 grupos algales, donde el grupo Chlorophyta registro una abundancia de 192782 ind/L, la cual representa el 68.25%, donde la especie *Oocystis borgei* fue la más abundante con 63967 ind/L; seguido del grupo Charophyta que presentó una abundancia de 61034 ind/L, la cual representa el 21.61%, donde *Closterium* sp. la más abundante con 51487 ind/L; y en menores proporciones el grupo Bacillariophyta que representa el 7.57%, Cyanophyta con 2.54% y Miozoa con 0.03% (Tabla 4).

Tabla 4

Abundancia del fitoplancton en la superficie de bahía del lago Titicaca, febrero–abril 2022.

Grupo	Bahía exterior		Bahía interior			
	Chimu		Espinar		San José	
	ind/L	%	ind/L	%	ind/L	%
Bacillariophyta	56436	44.93	32193	9.01	11733	4.15
Chlorophyta	34169	27.20	238919	66.90	203822	72.16
Charophyta	30151	24.00	79037	22.13	31556	11.17
Miozoa	3787	3.01	356	0.10	89	0.03
Ochrophyta	804	0.64	-	-	89	0.03
Cyanophyta	258	0.21	6630	1.86	4400	1.56
Total	125604	100	357133	100	251689	100

Fuente: Elaboración propia



No existe diferencia significativa de la abundancia de fitoplancton en la parte superficial de las zonas evaluadas ($H = 0.28$; $g.l.= 2$; $p = 0.8689$), esto para un nivel de confianza de $\alpha= 0.05$.

Northcote et al. (1991) mostraron que la bahía interior y exterior del lago Titicaca - Puno está principalmente representada por el grupo Chlorophyta con una abundancia total del 60%. De la misma manera, Dominguez (2022) concluyó que en la bahía de Puno, el grupo más abundante fue Chlorophyta tanto en la época húmeda como en la época seca con un 82.16% y 91.94%, siendo similares a los resultados obtenidos, donde la abundancia relativa del grupo Chlorophyta fue mayor en Espinar (75.20%) y San José (68.25%).

Según RIAA (2013), la especie *Pediastrum duplex* generalmente es más abundante entre ambientes mesotróficos y eutróficos, asimismo, MAGRAMA (2012) indica que la especie *Oocystis borgei* se encuentra de manera abundante en aguas alcalinas y ricas en nutrientes, lo cual puede ser uno de los principales motivos para que se desarrolle con mayor probabilidad esta especie en la bahía el lago Titicaca, en los cuerpos de agua ambas especies se caracterizan por causar una coloración verde en el agua, debido a que presentan la clorofila “a” y “b” como pigmentos principales (RIAA, 2013) (Figura 6).

Figura 6

Coloración del agua durante la toma de muestras en la zona de San José, abril 2022



Fuente: Elaboración propia

Las especies *Closterium* sp. y *Klesormidium subtile* correspondientes al grupo Charophyta, se encuentran principalmente en aguas ácidas y alcalinas (MAGRAMA, 2012), también suelen encontrarse en aguas donde existen procesos que van de oligotróficos a eutróficos (Pinilla, 2000). Además, el género *Mougeotia*, se encuentra en aguas turbias y en proceso de eutrofia (Pinilla, 2000), estas características se podrían considerar similares a las que presenta la bahía interior de Puno.

Respecto al grupo Bacillariophyta, durante el año 2011 se registró el 43% de abundancia relativa en el lago Titicaca (CCIFCHP & IMARPE, 2011), al igual que el año 2015, en donde este grupo fue el más abundante en el lago mayor con el 55% (Lazzaro *et al.*, 2016), concordando con los resultados presentados en Chimu con el 55.62% de abundancia relativa.



Asimismo el año 2022, el grupo Cyanophyta presentó una abundancia relativa 5.9% en la zona superficial bahía de Puno (Dominguez, 2022), coincidiendo con los resultados obtenidos en las zonas del Espinar (2.19%) y San José (2.54%).

Por otro lado, el grupo Cyanophyta no representó altos valores respecto a los otros grupos, sin embargo, los datos registrados mostraron que existe una población considerable de la especie *Microcystis* sp., en la bahía interior del lago Titicaca el género *Microcystis* presentó 288000 ind/L (Dominguez, 2022), durante esta investigación dicho genero registró valores de 6607 ind/L y 7052 ind/L en las zonas de Espinar y San José respectivamente, estos datos son relativamente elevados considerando que es un género de importancia ambiental y sanitaria (Cantoral *et al.*, 2017), se encuentran principalmente en aguas estancadas, dulces o moderadamente salinas que presentan un elevado nivel trófico (RIAA, 2013).

4.2.1.2 Diversidad y riqueza de fitoplancton

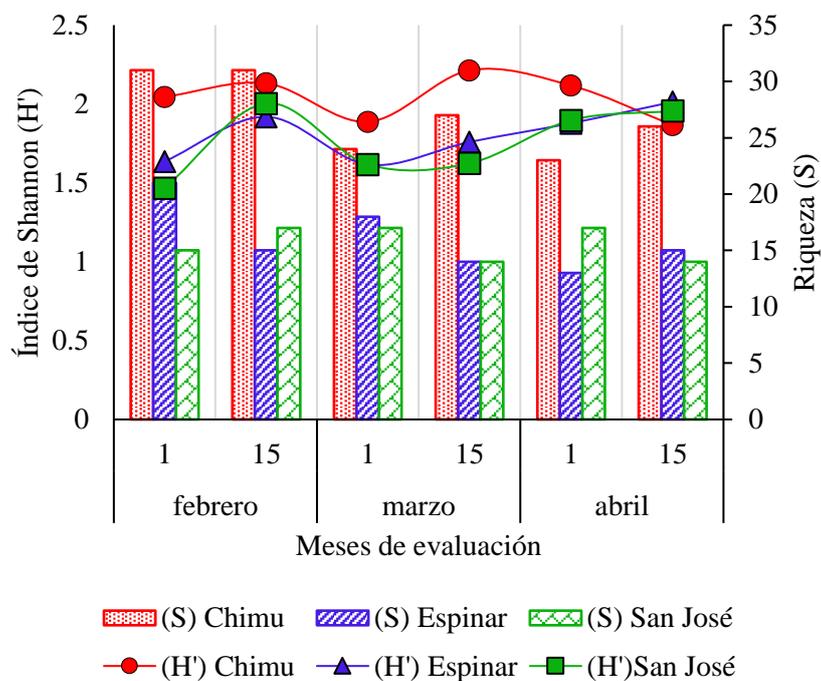
La diversidad en Chimu, el valor más elevado se fue de 2.213 bits.ind⁻¹ y la menor de 1.866 bits.ind⁻¹, el valor promedio obtenido fue de 2.043 bits.ind⁻¹, además la riqueza promedio fue de 27 especies; los valores del índice registrados en esta zona, reflejan que existe una mayor diversidad y riqueza de especies comparado con las otras zonas de estudio correspondiente a la bahía interior de Puno.

Sin embargo, en el Espinar el valor de diversidad (H') más alta fue de 2.013 bits.ind⁻¹ y el menor fue de 1.616 bits.ind⁻¹, con un promedio de

1.804 bits.ind⁻¹ indicando una diversidad moderada; además presentó una riqueza promedio de 16 especies. En San José, el valor de diversidad más elevado fue de 2.004 bits.ind⁻¹, y el menor fue de 1.468 bits.ind⁻¹, con un promedio de 1.761 bits.ind⁻¹; asimismo la riqueza promedio fue de 16 especies (Figura 7).

Figura 7

Diversidad de Shannon – Wiener (H') y riqueza de especies (S) registrados en la superficie de bahía del lago Titicaca, febrero – abril 2022.



Fuente: Elaboración propia

En la parte superficial, no existe diferencia significativa entre la diversidad de fitoplancton y las zonas evaluadas ($H = 5.51$; g.l.= 2; $p = 0.0636$), con nivel de confianza de $\alpha = 0.05$.

En la bahía de Puno el índice de Shannon alcanzó un promedio de 2.5 bits./ind/m³ en un periodo de estratificación (IMARPE, 2015), siendo



similar a los resultados obtenidos en la bahía exterior (Chimu) que obtuvo una diversidad de 2.43 bits.ind⁻¹.

Durante el año 2022, en la bahía interior la diversidad registrada fue baja con 0.88 y 0.68 bits/cel, comparado con la bahía exterior que presentó valores de 2.86 bits/cel en la superficie (Dominguez, 2022); sin embargo, los resultados obtenidos donde la diversidad fue menor en las zonas del Espinar (1.804 bits.ind⁻¹) y San José (1.761 bits.ind⁻¹) con respecto a Chimu.

Según Fontúrbel et al. (2006) indican que los bajos valores de diversidad respecto al índice de Shannon muestran un avanzado proceso de eutrofización en el ecosistema, además Dolbeth et al. (2003) mencionan que los bajos niveles de diversidad se debería al incremento de la abundancia de algunas especies, como serian *Oocystis borgei* y *Pediastrum duplex*.

4.2.2 Zona Profunda

4.2.2.1 Abundancia de fitoplancton

La abundancia relativa en la zona profunda de Chimu, registró 6 divisiones, estando principalmente representada por el grupo Bacillariophyta que presentó una abundancia de 56436 ind/L, la cual represento el 44.93%, donde *Fragilaria crotonensis* fue la especie más abundante con 35156 ind/L; seguido por el grupo Chlorophyta con 34169 ind/L que representa el 27.20%, siendo las especies abundantes *Pediastrum dúplex* (9631 ind/L) y *Oocystis borgei* (7582 ind/L)



Asimismo, el grupo Charophyta que presentó una abundancia de 30151 ind/L la cual representa una abundancia relativa del 24.00%, estos valores se deberían a la presencia de la especie *Klebsormidium subtile* que fue la más abundante con 16484 ind/L y en menores proporciones los grupos Miozoa con el 3.01%, Ochrophyta con el 0.64% y Cyanophyta con el 0.21% (Tabla 5).

En las zonas correspondientes a la bahía interior, el Espinar registró 5 divisiones, donde el grupo Chlorophyta presentó una abundancia de 238919 ind/L la cual representó el 66.90%, siendo *Pediastrum dúplex* y *Oocystis borgei* las especies más abundantes con 67333 ind/L y 66511 ind/L respectivamente,

Asimismo, el grupo Charophyta con 79037 ind/L, representando el 22.13% de abundancia relativa, siendo *Closterium* sp. la especie más abundante con 62874 ind/L, el grupo Bacillariophyta con una abundancia de 32193 ind/L que representa el 9.01%, donde la especie *Navicula* sp, fue la más abundante con 21630 ind/L; y en menores proporciones los grupos Cyanophyta con 1.86% y Miozoa con 0.10% (Tabla 5).

A diferencia del grupo San José, que registró 6 grupos algales, donde el grupo Chlorophyta registró una abundancia de 203822 ind/L que representa el 80.98%, donde las especies *Oocystis borgei* y *Pediastrum duplex* fueron las más abundantes con 64711 ind/L y 57244 ind/L respectivamente.

Seguido del grupo Charophyta que presentó 31556 ind/L de abundancia, que representa el 12.54%, siendo *Closterium* sp. la más

abundante con 24711 ind/L, y en menores proporciones los grupos Bacillariophyta con 9.01%, Cyanophyta con 1.75 %, Miozoa y Ochrophyta con 0.03% de abundancia relativa (Tabla 5).

Tabla 5

Abundancia del fitoplancton en la zona profunda de bahía del lago

Titicaca, febrero–abril 2022.

Grupo	Bahía exterior		Bahía interior			
	Chimu		Espinar		San José	
	ind/L	%	ind/L	%	ind/L	%
Bacillariophyta	56436	44.93	32193	9.01	11733	4.66
Chlorophyta	34169	27.20	238919	66.90	203822	80.98
Charophyta	30151	24.00	79037	22.13	31556	12.54
Miozoa	3787	3.01	356	0.10	89	0.04
Ochrophyta	804	0.64	-	-	89	0.04
Cyanophyta	258	0.21	6630	1.86	4400	1.75
Total	125604	100.00	357133	100.00	251689	100.00

Fuente: Elaboración propia

No existe diferencia significativa de la abundancia de fitoplancton en la parte profunda de las zonas evaluadas ($H = 1.43$; $g.l. = 2$; $p = 0.4897$), con un nivel de confianza de $\alpha = 0.05$.

El grupo Bacillariophyta refleja el estado actual del cuerpo de agua donde se encuentran (Cox, 1991), generalmente con presencia de los géneros *Nitzschia* y *Fragilaria* como indicadores en un ambiente eutrófico en algunos cuerpos de agua, lo que indica que los valores de los parámetros fisicoquímicos como los nutrientes y sólidos disueltos se encuentran



elevados. En Chimu, el grupo con mayor abundancia fue Bacillariophyta, según Peña *et al.* (2005) las poblaciones de este grupo pueden incrementarse o disminuirse en respuesta a los cambios que se presentan en la calidad de agua.

Respecto al género *Fragilaria* durante el año 2009 se presentó un valor máximo de 15853 ind/m³ (IMARPE, 2009), a diferencia de Turpo & Sanga (2013) que en el mes de junio, en la zona de Chimu – Parina la especie *Fragilaria crotonensis* presentó 4220217 ind/L, sin embargo, en los resultados obtenidos registró 35156 ind/L, de acuerdo al estudio presentado por Pinilla (2000) es indicadora de ambientes mesotróficos.

En su investigación Dominguez (2022), indicó que los géneros dominantes del grupo Chlorophyta fueron *Pseudopediastrum* (anteriormente conocido como *Pediastrum*) y *Oocystis*. Coincidiendo con los resultados obtenidos, donde las especies que presentaron mayores abundancias fueron *Pediastrum duplex* que generalmente se encuentran en lagos mesotróficos a eutróficos y se pueden desarrollar en ambientes con contaminación orgánica y por metales pesados (Pinilla, 2000) y *Oocystis borgei* que ocasionalmente se encuentran en aguas ricas en nutrientes (MAAMA, 2012).

La abundancia registrada del grupo Cyanophyta, es de importancia debido a que en altas concentraciones pueden representar problemas económicos y ecológicos en los ecosistemas acuáticos (Brabrand *et al.*, 1983), asimismo la especie representativa de este grupo fue *Microcystis* sp., la cual se desarrolla en ambientes eutróficos (MAAMA, 2012) y en



condiciones ambientales adecuadas pueden desarrollarse de tal manera que pueden ocasionar floraciones algales.

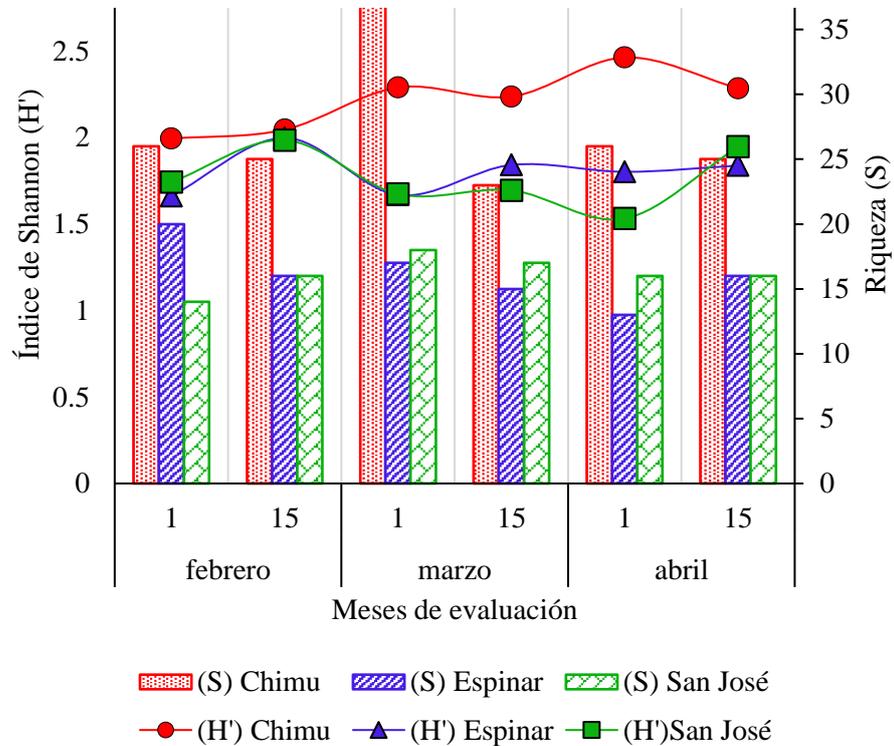
4.2.2.2 Diversidad y riqueza de fitoplancton

En la zona de Chimu, el valor más elevado que presentó la diversidad de Shannon fue de $2.463 \text{ bits.ind}^{-1}$, asimismo el menor fue de $1.994 \text{ bits.ind}^{-1}$, con un promedio de $2.219 \text{ bits.ind}^{-1}$, además la riqueza promedio obtenida fue de 27 especies; los valores del índice registrados en esta zona reflejan que existe mayor diversidad y riqueza de especies comparado con las otras zonas de estudio que pertenecen a la bahía interior de Puno (Figura 8).

Sin embargo, en el Espinar el valor de diversidad (H') más alto fue de $1.998 \text{ bits.ind}^{-1}$ y el menor fue de $1.662 \text{ bits.ind}^{-1}$, con un promedio de $1.802 \text{ bits.ind}^{-1}$; además, la riqueza promedio fue de 16 especies. Así mismo, en San José el valor de diversidad más alto fue de $1.985 \text{ bits.ind}^{-1}$ y el menor fue de $1.532 \text{ bits.ind}^{-1}$, con un promedio de $1.763 \text{ bits.ind}^{-1}$, en esta zona la riqueza promedio fue de 16 especies (Figura 8).

Figura 8

Diversidad de Shannon – Wiener (H') y riqueza de especies (S) en la zona profunda de la bahía del lago Titicaca, febrero–abril 2022.



Fuente: Elaboración propia

En la parte profunda, existe diferencia significativa entre la diversidad de fitoplancton y las zonas evaluadas ($H = 10.82$; g.l.= 2; $p = 0.0045$), con nivel de confianza de $\alpha = 0.05$.

Según Lazzaro *et al.* (2016), el valor de diversidad en la zona profunda de la bahía interior fue de $1.77 \text{ bits.ind}^{-1}$ y la riqueza promedio fue de 18 especies, a comparación de los resultados obtenidos donde en el Espinar la diversidad promedio fue de $1.802 \text{ bits.ind}^{-1}$ y una riqueza de 16 especies, al igual que en San José donde la diversidad fue de $1.763 \text{ bits.ind}^{-1}$ y una riqueza de 16 especies. Asimismo, en la bahía exterior la diversidad fue de $1.61 \text{ bits.ind}^{-1}$ y la riqueza de 17 especies (Dominguez, 2022), sin



embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos en la zona de Chimú la diversidad fue de 2.219 bits.ind⁻¹ y la riqueza promedio fue de 27 especies.

La diversidad de especies en la zona profunda, fue menor en la zona de Espinar y San José, esto se debería a que los índices de diversidad presentan una relación inversa con la abundancia total de especies, disminuyendo notoriamente durante los crecimientos algales de ciertos grupos como el caso de las clorofitas (Dasí & Miracle, 1991). Además, se ha observado que los ecosistemas dulceacuícolas que se encuentran en estado eutrófico están caracterizados por presentar baja diversidad de fitoplancton y la dominancia de algunas especies (Reynolds, 2006).

La diferencia significativa que existe entre la diversidad de especies y las zonas evaluadas estaría relacionado con las características morfológicas que presenta la bahía interior (Northcote *et al.*, 1991), además que la presencia de la totora es un factor limitante para la circulación del agua, impidiendo el intercambio de fitoplancton y las variables fisicoquímicas hacia la bahía exterior (Dejoux & Iltis, 1991).

4.3 RELACIÓN DEL FITOPLANCTON CON LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA BAHÍA INTERIOR Y EXTERIOR DEL LAGO TITICACA.

4.3.1 Parámetros fisicoquímicos de la bahía interior y exterior

4.3.1.1 Temperatura, transparencia, pH y oxígeno disuelto

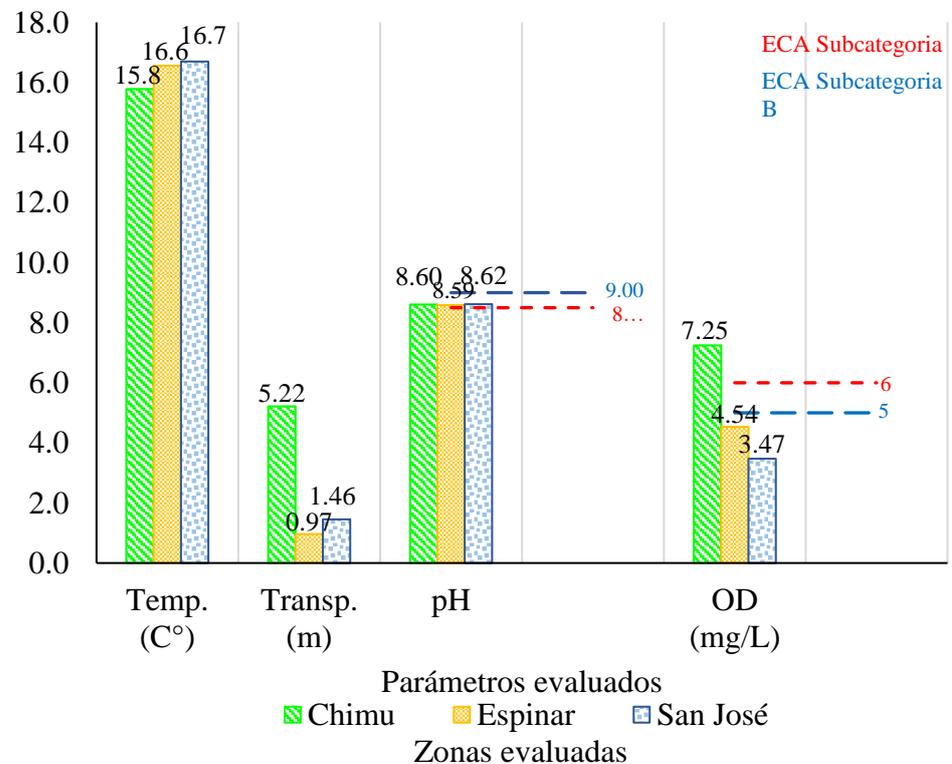
Los promedios de la temperatura reflejaron que en la zona de Chimú presentó 15.8°C, a diferencia de Espinar que registró 16.6°C y San

José 16.7°C. Respecto a la transparencia, fue mayor en Chimu ya que la profundidad de evaluación fue mayor en esta zona, sin embargo, San José mostró mayor transparencia que en Espinar (Figura 9, Anexo: Tabla 10 y 11).

Respecto al pH, en la bahía exterior en la zona de Chimu se registró un valor de 8.60, asimismo en los valores de las zonas ubicadas en la bahía interior Espinar y San José fueron 8.59 y 8.62 respectivamente. Al igual que el oxígeno disuelto, que presentó un valor de 7.25 mg/L en Chimu, 4.54 mg/L en el Espinar y 3.47 mg/L en San José (Figura 9, Anexo: Tabla 12 y 13).

Figura 9

Promedios de los valores de temperatura, transparencia, pH y oxígeno disuelto en la bahía del lago Titicaca, febrero – abril 2022.



Fuente: Elaboración propia



La temperatura registrada en las zonas de Espinar y San José fue mayor que en Chimu, esto se debería a que se encuentran ubicadas en la bahía interior de Puno, la misma que se caracteriza por presentar poco flujo de agua y la baja profundidad (Beltrán *et al.*, 2015), lo cual ocasiona que la temperatura sea más elevada en esta parte de la bahía. Concordando con Dominguez (2022), quien indicó que la temperatura más baja se registró en las estaciones ubicadas en la bahía exterior.

En cuanto a la transparencia, Turpo & Sanga (2013) en su investigación en la bahía exterior, la zona de Chimu presentó una transparencia promedio de 5.14 metros, al igual que Iquise (2017), quien en la zona de Chimu registró un promedio de 5.12 metros y en la bahía interior, en el Espinar fue de 1.04 metros; valores que fueron similares a los resultados obtenidos durante este estudio, donde Chimu presentó un promedio de 5.22 y en la bahía interior en el Espinar y San José los valores fueron de 0.97 y 1.46 respectivamente.

Respecto al pH, Turpo & Sanga (2013) indicaron que se registró un valor promedio de 8.7, asimismo Iquise (2017) indicó que el promedio obtenido en Chimu fue de 8.51 y en el Espinar fue de 8.83, sobrepasando los valores para pH establecidos por los ECAs, siendo similares a los promedios registrados durante este estudio, donde en Chimu fue de 8.60, en Espinar fue de 8.59 y San José de 8.62.

De acuerdo a los ECAs que establece el D.S. N° 004-2017 - MINAM (2017), las zonas de estudio corresponden a la Categoría 1, asimismo Chimu se encontraría en la Subcategoría A, la cual indica que la

unidad de pH va de 6.5 a 8.5, sin embargo, los resultados obtenidos en esta zona sobrepasan los límites establecidos. Además, Espinar y San José corresponden a la Subcategoría B donde se establece que las unidades de pH van de 6.0 a 9.0, no sobrepasando estos valores.

Los valores de oxígeno disuelto, según Iquise (2017) la zona de Espinar presentó un promedio de 6.53 mg/L, asimismo, en Chimu (bahía exterior) el promedio fue de 6.72 mg/L. A diferencia de Dominguez (2022), quien indica que en la bahía interior se registraron valores más altos que en la bahía exterior, obteniendo un promedio de 7.27 mg/L en la superficie. Coincidiendo con los datos obtenidos en este estudio: Chimu (7.25 mg/L), Espinar (4.54 mg/L) y San José (3.47 mg/L). De acuerdo con los ECAs establecidos en el D.S. N° 004-2017 - MINAM (2017), las zonas Espinar y San José no cumplen con los límites establecidos.

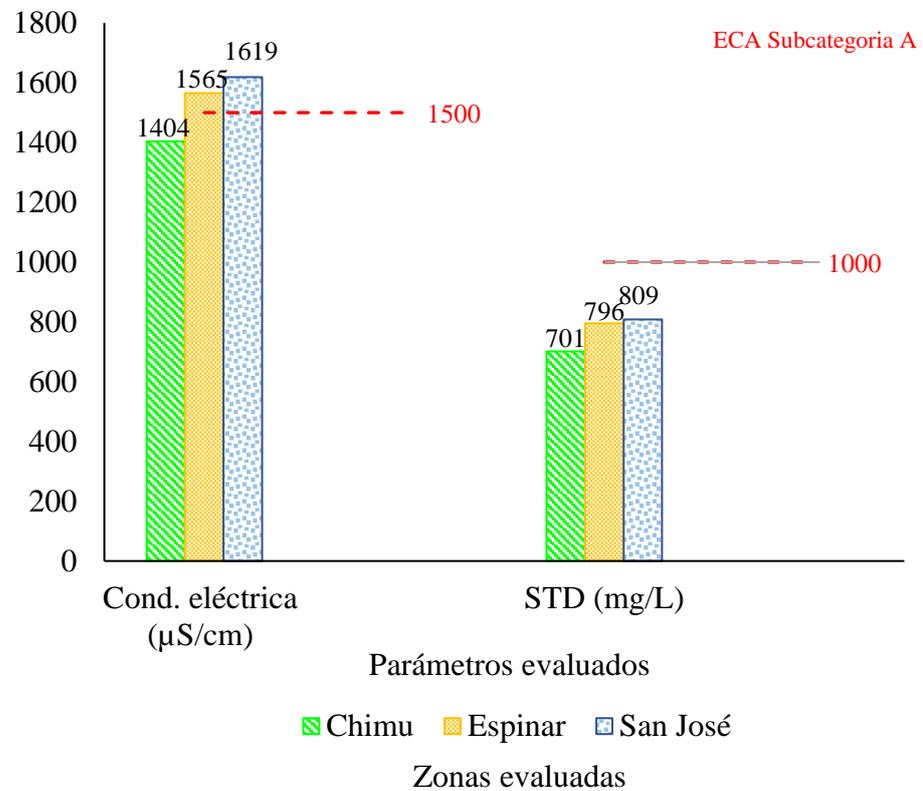
4.3.1.2 Conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos

Los promedios de la conductividad eléctrica reflejaron que, en la bahía exterior, la zona de Chimu presentó valores promedio de 1404 $\mu\text{S}/\text{cm}$, asimismo, en la bahía exterior en la zona del Espinar se registró un promedio de 1565 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en San José un promedio de 1619 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 10, Anexo: Tabla 14).

Respecto a los sólidos totales disueltos, en la bahía exterior en la zona de Chimu se registró un valor promedio de 701 mg/L, asimismo en la bahía interior, en las zonas el Espinar se registró un valor de 796 mg/L y San José un promedio de 809 mg/L (Figura 10, Anexo: Tabla 15).

Figura 10

Promedios de los valores de conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos en la bahía del lago Titicaca, febrero – abril 2022



Fuente: Elaboración propia

Para la conductividad eléctrica, Iquise (2017) la zona de Chimú presentó un valor promedio de 1508 $\mu\text{S/cm}$, asimismo en el Espinar registró un promedio de 1807 $\mu\text{S/cm}$. A diferencia de los datos obtenidos en este estudio, en donde Chimú presentó 1404 $\mu\text{S/cm}$, Espinar presentó 1565 $\mu\text{S/cm}$ y San José presentó 1619 $\mu\text{S/cm}$, siendo los valores mayores en la bahía interior, concordando de esta manera con los resultados presentados por Dominguez (2022), quien indicó que la conductividad más alta fue registrada en esta zona.



Los sólidos totales disueltos en la bahía exterior de Puno registraron un promedio de 668 ppm (IMARPE, 2009), a diferencia de los resultados obtenidos en Chimu que presentó un promedio de 701 ppm. En esta zona, los valores no superan los estándares de calidad establecidos por el D. S. N° 004-2017 - MINAM (2017), tanto para la conductividad eléctrica (1500 μ S/cm) como para los sólidos totales disueltos 1000 mg/L.

4.3.2 Relación del fitoplancton con los parámetros fisicoquímicos de la bahía interior y exterior del lago Titicaca.

Los resultados del análisis de correlación entre la comunidad de fitoplancton y los parámetros fisicoquímicos del agua, se observa que cuatro de dichos parámetros mostraron estar relacionados estadísticamente con la comunidad de fitoplancton ($p < 0.05$), los cuales fueron la transparencia, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos (Tabla 6).

La transparencia del agua se halló relacionada de forma negativa con la abundancia de fitoplancton ($r = -0.57$), indicando que al incrementarse los valores de transparencia del agua se podría esperar una disminución de la abundancia de fitoplancton. El análisis de datos de la abundancia de fitoplancton en relación al oxígeno disuelto en el agua ofrece un valor negativo ($r = -0.73$), lo cual indicaría que al incrementarse el oxígeno disuelto la abundancia de fitoplancton disminuiría, por lo que al parecer no habría una relación entre estos parámetros, esto puede explicarse debido a que el oxígeno disuelto no es un recurso fundamental para el desarrollo del fitoplancton como lo son los nutrientes.

Para la conductividad eléctrica, la relación fue de sentido positivo ($r = 0.63$) que indica que al incrementarse la misma se espera un aumento proporcional de

la comunidad de fitoplancton. De la misma manera, los sólidos totales disueltos que también presentaron una relación en sentido positivo ($r=0.62$), señalando que al incrementar los sólidos en el agua se espera un incremento de la comunidad del fitoplancton.

Tabla 6

Análisis de correlación de Pearson para la comunidad de fitoplancton y los parámetros fisicoquímicos del agua, febrero – abril 2022.

Parámetros fisicoquímicos	Abundancia de fitoplancton	
	Coefficiente de correlación	P-valor
T°	-0.10	0.6956
Transparencia	-0.57	0.0128
pH	0.38	0.1211
OD	-0.73	0.0006
CE	0.63	0.0050
STD	0.62	0.0066

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación $\alpha=0.05$

Fuente: Elaboración propia

La comunidad de fitoplancton en las zonas de muestreo se vio altamente influenciada por algunos parámetros fisicoquímicos. La transparencia, según Helcom (2017) sirve como un índice del estado trófico del agua, asimismo Northcote et al (1991), refieren que una de las características más importantes de la eutrofización es la reducción de la transparencia del agua, la cual se ve influenciada por la comunidad de fitoplancton. Afirmando de esta manera el



resultado presentado anteriormente, el cual indica que a medida que la comunidad de fitoplancton incrementa, la transparencia disminuye.

La cantidad de sólidos totales disueltos presentes en el estudio, se deberían al deficiente manejo de las descargas de aguas residuales en los cuerpos de agua (Suzuki *et al.*, 2018), esto limitaría la penetración de la intensidad de la luz en el agua, afectando la variación de la composición de fitoplancton, por ende, el proceso de la fotosíntesis (Hooker, 1996), ocasionando la disminución de la producción de oxígeno disuelto en el agua (Argota *et al.*, 2020), además Cui *et al.* (2016) manifiestan que los bajos niveles de oxígeno disuelto se debe a la presencia de los sólidos totales disueltos en el agua, como se presenta en la bahía interior.

MINAM (2014a), indica que la conductividad eléctrica tiene la capacidad de conducir la corriente eléctrica en el agua y se encuentra relacionado positivamente con la cantidad de sólidos disueltos; según Celis *et al.* (2008) mencionado por Baylón *et al.* (2018) la conductividad eléctrica influye en la distribución, composición, biomasa y abundancia del fitoplancton, corroborando los resultados presentados durante este estudio que indica que al incrementarse los valores de la conductividad eléctrica se espera un aumento proporcional de la abundancia de fitoplancton, al igual que la relación con los sólidos totales disueltos.



V. CONCLUSIONES

- La diversidad de fitoplancton en la bahía de Puno, estuvo distribuida en 6 grupos taxonómicos: Cyanophyta, Chlorophyta, Charophyta, Bacillariophyta, Miozoa y Ochrophyta; los resultados de riqueza y diversidad de fitoplancton indican que la zona de Chimu (33 especies y 2.28 bits.ind-1) fue mayor que en las zonas Espinar (20 especies y 1.86 bits.ind-1) y San José (20 especies y 1.81 bits.ind-1) las cuales se encuentran ubicadas en áreas donde se presenta mayor contaminación por aguas residuales, concluyendo que a medida que se incrementa el nivel eutrófico del ecosistema la comunidad de fitoplancton se simplifica.
- La mayor abundancia de fitoplancton se registró en la parte profunda de las zonas: Chimu (125604 ind/L), donde el grupo Bacillariophyta (44.93%) se registró en mayor cantidad con la especie representativa *Fragilaria crotonensis* y en el Espinar (357133 ind/L) donde el grupo más abundante fue Chlorophyta (66.90%) con las especies *Pediastrum duplex* y *Oocystis borgei*. Sin embargo, en San José la mayor abundancia fue registrada en la parte superficial con 282444 ind/L, donde el grupo Chlorophyta (68.25%) se registró en mayor cantidad y la especie *Oocystis borgei* como la más característica de esta zona. La predominancia de estos géneros de fitoplancton es característica de aguas alcalinas o ácidas, propios de ambientes mesotróficos a eutróficos, también se encuentran presentes en aguas estancadas y/o ricas en nutrientes.
- El coeficiente de correlación de Pearson, muestra que la abundancia de fitoplancton se vio altamente influenciada por 4 parámetros fisicoquímicos evaluados: transparencia ($r = - 0.57$), oxígeno disuelto ($r = - 0.73$), conductividad eléctrica ($r = 0.63$) y los sólidos totales disueltos ($r = 0.62$). La baja transparencia registrada



indica un proceso de eutrofización, además la conductividad eléctrica se encuentra relacionada con la cantidad de STD cuyos elevados valores impiden la penetración de la luz ocasionando una disminución en la producción de oxígeno disuelto en el agua, todo esto debido al deficiente manejo de aguas residuales en la bahía de Puno.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar evaluaciones mensuales tanto en los puntos evaluados como en zonas aledañas como el barrio Uros Chulluni, muelle Puno, muelle Bancharo Rossi, entre otros, que también presentan las mismas características de las zonas evaluadas durante este trabajo de investigación, de esta manera tener un conocimiento más amplio del comportamiento de la bahía interior y así poder conocer e interpretar los cambios que presenta el ecosistema.
- Desarrollar planes de control y vigilancia a los grupos Chlorophyta y Charophyta ya que fueron los grupos que registraron mayor abundancia durante el estudio. Asimismo, monitorear constantemente los parámetros fisicoquímicos evaluados durante el estudio, así como los nutrientes (nitrógeno y fosforo) ya que son un factor limitante para el desarrollo del fitoplancton en el ecosistema-
- Llevar a cabo monitoreos eventuales al grupo Cyanophyta, especialmente a la especie *Microcystis* sp. en caso de que se produzca un eventual incremento de su población y pueda representar un problema en la salud pública y ambiental, ya que, durante el estudio se registró una población pequeña, pero de gran importancia.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acleto C, Zuñiga R. (1998). Introducción a Las Algas. Edit. Escuela Nueva S.A. Lima. Perú.
- Arévalo CH., J. (1984). Determinación de fitoplancton en aguas claras de la bahía de Puno sector Ojerani del lago Titicaca. Tesis para Optar el Título Profesional de Licenciado en Biología, Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Altiplano Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú.
- Argota, G., Escobar, F., & Moreno, E. (2020). Calidad estacionaria del agua ante el costo ambiental sostenible relativo con agregación de biomarcadores: Bahía de Puno, lago Titicaca, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(2), 146–154. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.602>
- Arteaga, E., & Perdomo, L. (2016). Distribución, frecuencia y abundancia del fitoplancton potencialmente tóxico en la cuenca pacífica Colombiana. In *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 45(1). <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2016.45.1.635>
- Autoridad Binacional Autónoma del Lago Titicaca. (2020). Recuperación de la calidad ambiental de la Bahía Interior de Puno - Lago Titicaca, distrito, provincia y departamento de Puno. *Autoridad Binacional Autónoma Del Lago Titicaca*, 265.
- Barbosa, M., Berthold, D. E., Lefler, F. W., & Laughinghouse, D. (2021). La ecología de las algas carofíceas (Charales). *IFAS Extension*, 13. <https://doi.org/doi.org/10.32473/edis-ag452-2021>
- Baylón, M., Advíncula, O., Loyola, O., Norabuena, Á., & Hernández, D. (2019). Variación espacial y temporal del fitoplancton con énfasis en las floraciones algales frente a la playa de pescadores artesanales de Chorrillos/Lima/Perú. *Ecología Aplicada*, 18(2), 133–143. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21704/rea.v18i2.1332>
- Baylón, M., Roa, K., Libio, T., Tapia, L., Jara, E., Macedo, D., Salvatierra, A., & Dextre, A. (2018). Evaluación de la diversidad de algas fitoplanctónicas como indicadores de la calidad en lagunas altoandinas del departamento de Pasco (Perú). *Ecología*



Aplicada, 17(1). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i1.1180>

- Bejarano, J. (2018). Variabilidad temporal de los volúmenes y diversidad de plancton frente a la costa peruana durante el periodo 2010 - 2015. Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú. 35 p.
- Belón S. (2002). Determinación espacial de la comunidad de fitoplancton en la Bahía de Puno. Tesis para Optar el Título Profesional de Licenciado en Biología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú. 119 p.
- Beltrán, D., Palomino, R., Moreno, E., Peralta, C., & Montesinos, D. (2015). Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011. Revista Peruana de Biología, 22(3), 335–340. <https://doi.org/10.15381/rpb.v22i3.11440>
- Brabrand, Å., Faafeng, B. A., Källqvist, T., & Nilssen, J. P. (1983). Biological control of undesirable cyanobacteria in culturally eutrophic lakes. *Oecologia*, 60(1), 1–5. <https://doi.org/10.1007/BF00379311>
- Brettum P. & Andersen T. (2005). The use of phytoplankton as indicators of water quality. NIVA Report, 197p.
- Callata, F. (2015). Monitoreo y evaluación del cuerpo de agua de la Bahía Interior de Puno - Lago Titicaca. Universidad Nacional del Altiplano. Puno - Peru.
- Cantoral, E., Asencio, A., & Aboal, M. (2017). Cianotoxinas : efectos ambientales y sanitarios . Medidas de prevención. *Hidrobiológica*, 27(2), 241–251.
- Carranza, J., & Hernández, A. (2016). Composición del fitoplancton en el embalse los Laureles, Francisco Morazán, Honduras. *Revista Portal de La Ciencia*, 11, 90–104. <https://doi.org/10.5377/pc.v11i0.4268>
- Casas, C., & Puntaca, L. (2014). Estudio del fitoplancton en el Lago Titicaca CRUCERO 2014, BIC PELT. In PELT.
- Convenio de Cooperación Interinstitucional entre el Fondo de Cooperación Hispano Peruano, & Instituto del Mar del Perú. (2011). Informe final 2010 - 2011.
- Costantini, M., Sabetta, L., Mancinelli, G., & Rossi, L. (2004). Spatial variability of the decomposition rate of *Schoenoplectus tatora* in a polluted area of Lake Titicaca.



Journal of Tropical Ecology, 20, 325–335.
<https://doi.org/10.1017/S0266467403001214>

- Cox E. (1991). What in the basis for using diatoms as monitors of river quality? En: Whitton BA, Rott E, Friedrich G, editors. Use of algae for monitoring rivers. Innsbruck: Institut für Botanik, Universität Innsbruck;. p. 33-40.
- Cui, B., He, Q., Gu, B., Bai, J., & Liu, X. (2016). China's Coastal Wetlands: Understanding Environmental Changes and Human Impacts for Management and Conservation. *Wetlands*, 36, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s13157-016-0737-8>
- Dasí, M. J., & Miracle, M. R. (1991). Distribución vertical y variación estacional del fitoplancton de una laguna cárstica meromítica, la Laguna de la Cruz (Cuenca, España). *Limnetica*, 7(1), 37–59. <https://doi.org/10.23818/limn.07.04>
- Decreto Supremo N° 004-2017 - MINAM. (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. El Peruano, 10–19. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-estandares-de-calidad-ambiental-eca-para-agua-y-e-decreto-supremo-n-004-2017-minam-1529835-2/>
- Dejoux, C., & Iltis, A. (1991). El lago Titicaca, síntesis del conocimiento limnológico actual.
- Dias, B., & Medeiros, B. (2018). Fitoplâncton da região central do Lago Paranoá (DF): uma abordagem ecológica e sanitária. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23(2), 229–241. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018169124>
- Dolbeth, M., Pardal, M. A., Lillebø, A. I., Azeiteiro, U., & Marques, J. C. (2003). Short- and long-term effects of eutrophication on the secondary production of an intertidal macrobenthic community. *Marine Biology*, 143(6), 1229–1238. <https://doi.org/10.1007/s00227-003-1133-5>
- Dominguez, A. (2022). Variabilidad espacial y temporal del fitoplancton en la Bahía de Puno- Lago Titicaca. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ekwu, A., & Sikoki, F. (2006). Phytoplankton diversity in the Cross River Estuary of Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 10(1), 89–95. <https://doi.org/10.4314/jasem.v10i1.17296>



- Empresa Municipal de Saneamiento Basico Puno. (2011). Resumen descriptivo descriptivo del sistema de tratamiento de agua residual en la ciudad de Puno - Perú.
- Fontúrbel, F. (2005). Indicadores Físicoquímicos Y Biológicos Del Proceso De Eutrofización Del Lago Titikaka (Bolivia). *Ecología Aplicada*, 4(1.2), 135–141. <https://doi.org/10.21704/rea.v4i1-2.308>
- Fontúrbel, F., Molina, C., & Richard, E. (2006). Evaluación rápida de la diversidad de fitoplancton en aguas eutróficas del lago Titikaka (Bolivia) y su uso como indicador del grado de contaminación. *Ciencia Abierta Internacional*, 29, 12.
- García-García, A., Cabrera-Becerril, E., Núñez-Resendiz, M., Dreckmann, K., & Senties, A. (2021). Actualización taxonómica de las algas pardas (Phaeophyceae, Ochrophyta) marinas bentónicas del Atlántico mexicano. *Acta Botanica Mexicana*, 128, 1–93. <https://doi.org/https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1968>
- Graham, J., Lemhi, C., Adrian, H., & Spencer, D. (1995). Physiological responses to temperature and irradiance in *Spirogyra* (Zygnematales, Charophyceae)'. *Journal of Phycology*, 31, 531–540. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1995.tb02546.x>
- Graham, L. E., Wilcox, L. W. y Graham, J. (2016). *Algae*. (3rd ed.), San Francisco: Pearson Education Inc., Pearson Benjamin Cummings. Guiry,
- Graham, L., & Wilcox, L. (2000). *Algae*.
- Helcom. (2017). Guidelines for monitoring of water transparency (Secchi depth). HELCOM, 3–6. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.25607/OBP-1798>
- Hooker, E. (1996). Efecto de las aguas residuales domesticas e industriales sobre la comunidad planctonica del lago Cocibolca.
- Huamán, M. (2019). Contaminantes del ecosistema del lago titicaca de la región puno y la gestión ambiental del turismo. In Repositorio Académico USMP. Universidad San Martin de Porres.
- Instituto del Mar del Perú. (2009). Mejora de la competitividad de la mediana y pequeña acuicultura. In Programa de Apoyo a la Pesca Artesanal, la Acuicultura y el



Manejo

[http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/1/jer/PROPESCA_OTRO/difusion-publicaciones/materiales-elaborados-imarpe/1.3.2009a_IMARPE_Crucero_de_caracterización bio-ecologica completo.pdf](http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/1/jer/PROPESCA_OTRO/difusion-publicaciones/materiales-elaborados-imarpe/1.3.2009a_IMARPE_Crucero_de_caracterización_bio-ecologica_completo.pdf)

Instituto del Mar del Perú. (2015). Variabilidad limnológica en el lago Titicaca. In Anuario científico tecnologico IMARPE.

Instituto del Mar del Perú. (2023). Informe de Evaluación de Implementación Anual. Ministerio de La Produccion.

Iquise, S. (2017). Variación espacial del zooplancton en tres épocas en relación a factores fisicoquímicos del agua en la bahía interior y exterior del Lago Titicaca, Puno. 110.

http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7062/Iquise_Apaza_Sonia_Roxana.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Laura, J., Montoya, H., Castellanos, P., & Quiroz, R. (2018). Evaluación de la diversidad del fitoplancton de la laguna La Viuda (Lima , Perú) en agosto - noviembre 2016. Revista Arnaldoa, 25(3), 1027–1040. <https://doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25314>

Lazaro, X., Alcoreza, P., Lanza, G., Flores, A., Fernandez, P., Fernandez, A., Zepita, C., Loayza, E., & Ibañez, C. (2016). Crucero binacional de evaluacion de recursos pesqueros y condiciones limnologicas del lago Titicaca- Cr.1507-08 - Jul- Ago 2015- Informe técnico del Equipo Boliviano (p. 93). E/UMSA & BOREA/IRD.

Loza, A., Gamarra, C., & Condori, N. (2016). Caracterización morfobatimétrica y estimación de sedimentos de la bahía interior de Puno, lago Titicaca, mediante tecnología SIG. Revista de Investigaciones Altoandinas, 18(2), 237–248. <https://doi.org/10.18271/ria.2016.205>

Margalef, R. (1972). Homage to E. Hutchison, or why is there an upper limit to diversity. Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences 44: 21-235.

Margalef, R. (1974). Ecología. Ed. Omega. Barcelona. 951 pp.

Martínez, S., Tracanna, B., Isasmendi, S., Alderete, M., Taboada, M., & Mirande, V.



- (2018). Evaluación del fitoplancton en el embalse Escaba (Tucumán – Argentina) para caracterizar la calidad de sus aguas. Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica, 53(4), 521–542. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v53.n4.21976>
- Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. (2012). Id- Tax. Catálogo y claves de identificación de organismos invertebrados utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico. In Gobierno de España.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2015). Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Ministerio el Ambiente. (2005). Ley general del ambiente. 168 p.
- Ministerio el Ambiente. (2014a). Estado de la calidad Ambiental de la Cuenca del lago Titicaca ambito Peruano. In D.S.N° 075-2013-PCM. <https://www.minam.gob.pe/puno/wp-content/uploads/sites/55/2014/02/estudio-del-estado-de-la-calidad-ambiental-cuenca-del-titicaca..pdf>
- Ministerio el Ambiente. (2014b). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. In Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/Métodos-de-Colecta-identificación-y-análisis-de-comunidades-biológicas.compressed.pdf>
- Mora, E. (2015). Composición del fitoplancton y relaciones especies-áreas de cinco sistemas lacustres en los Tuxtlas, Ver., México. In Centro de Investigaciones Tropicales. Universidad Veracruzana.
- Morales, Pedro, Thomas Northcote, Wilfredo Zea y M. Vásquez (1991). Efectos de la eutrofización sobre las condiciones físicas. En Contaminación en el lago Titicaca, Perú: capacitación, investigación y manejo, T. Northcote, P. Morales, D. Levy y M. Greaven (Ed.): 21 – 34. Vancouver, Canadá: Northburn Printers and Stationers Ltd.
- Northcote T., Morales P., Levy D. y Greaven M. (1991). Contaminación en el Lago Titicaca, Capacitación, Investigación y Manejo. Westwater Research centre,



Univerdidad British Columbia de Canadá. 227 p.

- Oliva-Martínez, M., Godínez-Ortega, J., & Zuñiga-Ramos, C. (2014). Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 54–61. <https://doi.org/10.7550/rmb.32706>
- Organización Mundial de la Salud (2003). Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1, Coastal and fresh waters. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42591>
- Oriani, M. (2014). Relevamiento de comunidades algales y determinacion del estado trofico y caliad en la laguna Luna Lauquen, provincia de la Pampa (Argentina). Universidad Nacional de la Pampa.
- Parra, O., González, M., Dellarossa, V., Rivera, P., & Orellana, M. (1982a). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales, con especial referencia al fitoplancton de Chile. I. Cyanophyceae. Concepción: Univ. Concepción, 1–91.
- Parra, O., González, M., Dellarossa, V., Rivera, P., & Orellana, M. (1982b). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales, con especial referencia al fitoplancton de Chile. II. Chrysophyceae-Xanthophyceae. Concepción: Univ. Concepción, 1–105.
- Parra, O., González, M., Dellarossa, V., Rivera, P., & Orellana, M. (1982c). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales, con especial referencia al fitoplancton de Chile. III. Cryptophyceae-Dinophyceae-Euglenophyceae. Concepción: Univ. Concepción, 1–136.
- Parra, O., González, M., Dellarossa, V., Rivera, P., & Orellana, M. (1982d). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales, con especial referencia al fitoplancton de Chile. IV. Balcillariophyceae. Concepción: Univ. Concepción, 1–118.
- Parra, O., Gonzales, Gonzales, M., Dellarossa, V. (1982). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile: Chlorophyceae Parte 1: Volvocales, Tetraporales, Chlorococcales y Ulothricales. 5ta ed. Parte 1. Concepción, Chile. Universidad de Concepción. 151 pp.



- Peleato, M. (2011). Las cianobacterias: cooperación versus competencia. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza, 42.
- Peña, E. J., Palacios, M. L., & Ospina-Alvarez, N. (2005). Algas como indicadoras de contaminación (Cali: univ).
- Peraza, R. (2017). Diversidad y abundancia de fitoplancton del embalse Abreus (Cienfuegos, Cuba). Universidad de La Habana.
- Pinilla, G. (2000). Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica (Centro de).
- Plan Maestro RNT. (2003). Plan Maestro Reserva Nacional de Titicaca. http://www.legislacionanp.org.pe/images/documentospdf/planesmaestros/reservas_nacionales/titicaca/plan_maestro_rnt.pdf 60.
- Pouilly, M., Lazzaro, X., Point, D., & Aguirre, M. (2014). Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos e hidrobiológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del lago Titicaca. In IRD - UICN. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-015.pdf>
- Puntaca Quispe, L. A., & Casas Yupanqui, C. (2015). Estudio del fitoplancton en el lago Titicaca crucero. Cr. 1407, BIC PELT. In IMARPE & PELT (Eds.), Crucero de evaluación de recursos pesqueros y condiciones limnológicas del lago Titicaca – Cr. 1407 (p. 66).
- Red de Información Ambiental de Andalucía. (2013). Atlas de Microorganismos Planctónicos Presentes en los Humedales Andaluces. http://personal.telefonica.terra.es/web/ayma/atlas_m.htm
- Reguera, B., Alonso, R., Moreira, Á., & Méndez, S. (2011). Guía para el diseño y puesta en marcha de un plan de seguimiento de microalgas productoras de toxinas. In UNESCO. UNESCO y OIEA.
- Reynolds C.S. (1984). The Ecology of Freshwater Phytoplankton. Cambridge University Press. Reynolds
- Reynolds, C. S. (2006). The ecology of phytoplankton. Cambridge University Press.



- Richerson, P., Widmer, C., & Kittel, T. (1977). The Limnology of lake Titicaca (Perú - Bolivia). Institute of Ecology Publication.
- Rodriguez, M., Bustamante, M., Ruibl, A., Ruiz, M., & Busso, F. (2008). Estudio del fitoplancton en el marco de monitoreo del Embalse San Roque (Cba). In Instituto Nacional del Agua.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical (2da Ed.). Universidad de Antioquia.
- Romero, C. (2018). Determinación de la relación de la comunidad fitoplanctónica con los factores físicos y químicos del sector Puno en la Reserva Nacional del Titicaca, región Puno, abril - julio 2014. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5098/BIrosack.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sáez, J. M. S., & Blázquez, L. de A. (1999). Estudio de las actividades y mejora de las condiciones de producción acuícola en el Lago Titicaca (Perú). In Informe Técnico II. Proyecto de Apoyo al Desarrollo del Sector Pesquero y Acuícola del Perú. 116 p.
- Sar, E., Ferrario, M., & Reguera, B. (2002). Floraciones algales nocivas en el Cono Sur Americano. Instituto Español de Oceanografía.
- Seoáñez Calvo, Mariano (1999). Ingeniería del medio ambiente: aplicada al medio natural continental: la contaminación del medio natural continental: aire, aguas, suelos, vegetación y fauna. 1999. México.
- Stomp, M., Huisman, J., De Jongh, F., Veraart, A. J., Gerla, D., Rijkeboer, M., Ibelings, B. W., Wollenzien, U. I. A., & Stal, L. J. (2004). Adaptive divergence in pigment composition promotes phytoplankton biodiversity. *Nature*, 432, 104–107. <https://doi.org/10.1038/nature03044>
- Suzuki, J., Imamura, M., Nakano, D., Yamamoto, R., & Fujita, M. (2018). Effects of water turbidity and different temperatures on oxidative stress in caddisfly (*Stenopsyche marmorata*) larvae. *Science of the Total Environment*, 630, 1078–1085. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.286>



- Torres, G. (2017). Evaluación del fitoplancton como un mecanismo preventivo a la ocurrencia de bloom algal frente a las costas de Esmeraldas, Manta, La Libertad y Puerto Bolívar en Ecuador 2013-2015. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/6695>
- Turpo, R. H., & Sanga, W. A. (2013). Diversidad y abundancia de la comunidad planctonica en la bahía de puno y lago grande (sector peruano) del lago Titicaca. Universidad Nacional del Altiplano.
- Vázquez, G., Castro, G., González, I., Pérez, R., & Castro, T. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *ContactoS*, 60, 41–48.
- Wetzel, R. G. (1981). *Limnología*. Ediciones Omega S.A. Barcelona – España. 679 pp.88.



ANEXOS

Tabla 7

Abundancia de especies (ind/L) de los grupos de fitoplancton registrados en la zona de Chimú, febrero -abril 2022.

Zona: Chimú																													
Muestreo	01/02/2022				15/02/2022				01/03/2022				15/03/2022				01/04/2022				15/04/2022								
	Profundidad		0.5 m		10 m		0.5 m		10 m		0.5 m		10 m		0.5 m		10 m		0.5 m		10 m		0.5 m		10 m				
Repetición	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Chlorophyta	<i>Ankrya judayi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	0	0	
	<i>Botryococcus sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Chlamydocapsa sp</i>	0	18	0	0	0	18	0	0	67	0	0	0	111	0	22	0	0	0	0	89	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Chlorococcum sp</i>	0	0	0	0	36	18	0	0	133	142	0	0	0	0	0	22	59	30	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Coelastrum sp.</i>	71	36	18	0	0	0	0	0	0	71	0	44	0	111	22	44	0	30	0	0	267	533	89	89	89	89	89	89
	<i>Desmodesmus quadricaudatus</i>	36	18	89	71	0	36	0	18	0	71	71	311	0	22	0	22	30	89	89	44	178	356	178	356	178	356	178	356
	<i>Eudorina sp.</i>	17	0	40	0	10	36	36	53	44	0	124	289	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89
	<i>Monactinus simplex</i>	0	36	0	0	0	0	0	18	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	0	0	0
	<i>Monoraphidium sp</i>	0	18	0	0	0	0	0	18	0	71	0	0	22	0	0	0	0	0	89	89	178	356	356	533	178	356	356	533
	<i>Mucidosphaerium pulchellum</i>	53	71	71	18	10	18	18	36	222	178	196	178	0	0	22	0	0	44	44	89	89	89	89	89	89	89	89	89
	<i>Neglectella solitaria</i>	33	40	30	51	33	178	409	498	444	533	480	333	111	156	15	6	89	119	59	178	311	89	267	533	178	311	89	267
	<i>Nephrocytium agardhianum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Oocystis borgei</i>	40	37	51	60	46	338	427	551	978	978	188	177	4	8	400	556	77	8	467	59	59	267	400	800	533	356	533	
	<i>Oocystis lacustris</i>	36	18	36	53	89	89	89	53	156	107	124	200	200	22	89	44	0	0	89	133	178	444	444	267	89	444	267	89
	<i>Pandorina sp</i>	36	36	0	10	16	196	53	0	22	89	89	0	0	89	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Paradoxia multisetata</i>	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	89	89	89	89	89	89
	<i>Pediastrum duplex</i>	53	60	67	51	16	213	302	267	644	853	108	120	140	126	71	956	563	652	128	151	622	444	711	978	622	444	711	978
	<i>Pseudopediastrum boryanum</i>	17	21	12	12	71	0	249	142	333	178	800	400	556	422	20	267	0	30	178	222	0	0	89	89	89	89	89	89
	<i>Pseudoquadrigula sp.</i>	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Scenedesmus ecomis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Schroederia sp.</i>	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	59	0	89	222	0	89	0	89	0	89	0	0
	<i>Sphaerocystis sp</i>	89	71	53	71	36	71	71	18	44	89	71	111	0	0	22	44	119	89	489	267	178	444	89	178	178	444	89	178
	<i>Tetraedron sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Miozoa	<i>Peridinium sp</i>	18	0	18	36	36	18	0	18	0	18	0	0	67	22	67	30	0	44	44	89	89	267	89	89	267	89	89	
	<i>Ceratium</i>	10	16	89	53	32	53	53	36	67	196	89	244	237	264	62	108	59	30	89	178	89	267	267	356	267	356	356	
	<i>hirundinella</i>	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cyanophyta	<i>Dolichospermum spiroides</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Gomphosphaeria sp.</i>	18	36	36	0	0	0	0	0	0	18	89	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Limnoraphis robusta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Microcystis sp.</i>	18	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	22	44	0	0	593	652	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Oscillatoria sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Charophyta	<i>Closterium aciculare</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	44	0	89	0	0	0	267	0	0	0	0	
	<i>Closterium sp.</i>	21	21	24	40	0	0	36	0	0	107	156	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Cosmarium sp.</i>	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Elakathrix sp.</i>	18	19	10	16	18	18	0	18	111	36	160	89	0	22	0	0	44	89	89	178	178	178	89	178	178	89	89	
	<i>Gonatozygon sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178	0	0	178	0
	<i>Klebsormidium subtile</i>	53	10	16	23	37	267	391	604	0	551	318	433	120	153	77	956	139	121	800	115	622	444	186	302	7	2	2	
	<i>Mougeotia sp.</i>	18	36	0	0	18	0	18	0	644	711	107	193	3	800	667	40	289	978	109	106	128	356	711	213	266	3	7	
	<i>Staurastrum gracile</i>	18	53	36	18	18	18	0	0	53	36	133	22	0	0	0	0	0	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Amphora sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	53	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178
	<i>Asterionella formosa</i>	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	222	289	22	22	30	30	133	178	151	106	711	142	1	7	142	2
<i>Cocconeis sp.</i>	53	36	71	53	18	18	53	0	0	178	102	2	22	0	0	0	89	119	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bacillariophyta	<i>Discostella sp.</i>	71	71	36	10	18	53	71	178	0	18	178	22	0	22	22	0	30	44	0	89	0	267	444	267	444	444	444	
	<i>Ephemia sp</i>	0	18	36	18	0	18	0	0	0	36	89	0	22	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Fragilaria capucina</i>	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Fragilaria crotonensis</i>	28	22	41	51	26	211	224	120	102	284	508	700	267	222	22	89	103	124	133	267	124	800	631	702	1	2	702	2
	<i>Navicula sp</i>	12	36	49	24	36	71	18	0	0	160	22	22	22	0	0	0	30	0	44	178	0	533	267	533	267	267	267	267
	<i>Nitzschia linearis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Nitzschia sp</i>	20	42	30	12	19	853	112	229	613	577	107	178	556	400	24	311	157	198	106	133	105	826	711	533	711	533	533	
	<i>Pinnularia sp.</i>	0	0	0	0	18	0	0	0	22	0	124	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhoicosphenia sp.</i>	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	622	22	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ochrophyta	<i>Tribonema sp</i>	71	14	21	18	89	71	36	71	133	302	89	378	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	0	0	0	0	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8

Abundancia de especies (ind/L) de los grupos de fitoplancton registrados en la zona de Espinar, febrero -abril 2022.

Zona: Espinar																								
Muestreo	01/02/2022				15/02/2022				01/03/2022				15/03/2022				01/04/2022				15/04/2022			
Profundidad	0.5 m		3 m		0.5 m		3 m		0.5 m		3 m		0.5 m		3 m		0.5 m		3 m		0.5 m		3 m	
Repetición	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Cyanophyta	Anabaena sphaerica	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Chroococcus sp.	22	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	0	0	0
	Gomphosphaeria sp.	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Microcystis sp.	0	30	44	11	9	0	0	0	0	50	56	178	28	48	66	71	106	14	97	13	11	80	11
	Oscillatoria sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89
Chlorophyta	Chlamydocapsa sp	66	7	0	0	0	50	07	0	0	17	78	0	0	0	0	44	0	0	26	7	89	44	89
	Chlorococcum sp	0	119	0	0	82	61	45	52	17	17	8	44	20	0	0	89	0	89	89	89	0	0	89
	Coelastrum sp.	44	89	67	30	11	44	0	22	10	28	689	66	40	71	88	115	6	0	0	0	0	0	0
	Desmodesmus quadricaudatus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	89
	Eudorina sp.	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0
	Monoraphidium sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	26	7
	Neglectella solitaria	30	302	47	54	94	62	12	11	30	30	182	22	80	65	67	622	2	89	89	89	35	6	0
	Oocystis borgei	44	420	50	39	26	43	46	60	##	##	112	91	87	68	##	##	89	44	4	0	89	0	0
	Oocystis lacustris	13	3	119	44	30	30	89	89	44	26	47	7	4	222	13	11	97	16	978	0	89	0	0
	Pandorina sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	8	111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pediastrum duplex	45	100	33	59	21	36	32	34	58	58	546	74	44	54	##	127	21	28	19	24	18	25	49
	Pseudopediastrum boryanum	33	15	56	56	04	44	89	67	07	37	7	89	89	67	#	11	33	44	56	00	67	78	
	Schroederia sp.	72	592	80	87	53	47	60	56	69	58	346	32	56	62	78	720	13	97	97	80	12	88	88
	Sphaerocystis sp	22	6	89	11	04	56	00	00	33	96	7	67	89	67	22	0	33	8	8	0	44	9	9
Tetraedron sp	0	0	0	17	8	0	0	0	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Charophyta	Closterium aciculare	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	89	17	8	89	26	7	0	0	
	Closterium ehrenbergii	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Closterium sp.	##	##	##	##	74	95	51	46	26	59	422	20	31	0	44	4	0	0	0	0	0	0	0
	Cosmarium sp.	22	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Elakathrix sp.	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	89
	Klebsormidium subtile	44	0	28	50	9	4	0	89	0	0	50	50	20	53	35	32	408	35	53	26	44	19	22
	Mougeotia sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	14	8	0	0	22	0	0	17	89	89	0	0	0	22	16
	Spirogyra sp	0	30	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bacillariophyta	Staurastrum gracile	22	30	42	59	3	89	89	26	7	44	0	89	44	89	0	17	8	444	0	0	0	89	26
	Cocconeis sp.	0	0	0	89	0	0	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Epithemia sp	0	0	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fragilaria crotonensis	13	3	119	44	59	89	0	44	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
	Navicula sp	68	9	237	65	74	11	11	19	35	11	23	844	57	8	0	0	89	0	13	16	0	0	71
	Nitzschia sp	22	0	0	0	0	0	44	44	23	7	0	0	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
	Pinnularia sp.	0	0	89	0	0	0	22	2	44	0	0	67	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89
	Rhoicosphenia sp.	0	0	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Miozoa	Stauroneis sp.	0	0	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Peridinium sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	
Ochrophyta	Ceratium hirundinella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	89	89	89	0	0	0	
	Tribonema sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9

Abundancia de especies (ind/L) de los grupos de fitoplancton registrados en la zona de San José, febrero -abril 2022.

Zona: San José																											
Muestreo	01/02/2022				15/02/2022				01/03/2022				15/03/2022				01/04/2022				15/04/2022						
Profundidad	0.5 m		3 m		0.5 m		3 m		0.5 m		3 m		0.5 m		3 m		0.5 m		3 m		0.5 m		3 m				
Repetición	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2			
Chlorophyta	<i>Ankyra judayi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89		
	<i>Botryococcus sp</i>	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	0	
	<i>Chlamydocapsa sp</i>	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67	0	0	0	0	89	26	7	89	0	17	89	35	6	
	<i>Chlorococcum sp</i>	0	0	0	0	27	25	38	31	89	142	267	178	0	44	44	0	0	0	0	0	17	8	0	0	0	
	<i>Coelastrum sp.</i>	44	0	44	35	44	44	0	89	504	604	489	0	0	13	17	89	89	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Desmodesmus quadricaudatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	7	0	89	0	0	0	0	
	<i>Monactinus simplex</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	17	8	0	0	0	0	0	
	<i>Monoraphidium sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	17	
	<i>Mucidosphaerium pulchellum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Neglectella solitaria</i>	631	537	56	55	48	44	48	35	174	318	333	431	48	50	43	47	89	0	89	26	7	89	0	0	89	
	<i>Oocystis borgei</i>	333	408	82	81	58	43	45	40	162	117	133	120	96	87	72	67	89	0	89	17	8	0	0	89	0	
	<i>Oocystis lacustris</i>	89	44	44	44	44	0	89	0	296	284	133	44	13	35	75	44	89	0	0	0	0	0	0	89	0	
	<i>Pandorina sp</i>	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Pediastrum duplex</i>	373	151	47	62	39	41	40	43	645	476	700	602	80	77	61	49	22	32	42	49	28	18	24	19	0	
	<i>Pseudopediastrum boryanum</i>	404	400	59	48	19	24	22	18	453	618	413	344	55	51	60	57	10	16	10	16	15	80	16	13	0	
	<i>Schroederia sp.</i>	0	89	0	0	26	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	0	17	8	0	
	<i>Sphaerocystis sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	207	302	178	0	22	26	26	13	0	35	0	89	17	8	0	0	17	
	<i>Tetraedron sp</i>	0	0	0	0	0	0	44	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Cyanophyta	<i>Anabaena sphaerica</i>	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		<i>Aphanothece sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	0
<i>Chroococcus sp.</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Gomposphaeria sp.</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Microcystis sp.</i>		0	0	0	0	88	16	44	40	207	267	89	156	26	13	48	40	88	80	26	53	10	88	62	88	9	
Charophyta	<i>Closterium aciculare</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	89	17	8	0	44	0	0	89	0		
	<i>Closterium sp.</i>	194	239	93	97	19	39	14	23	100	110	106	667	44	13	3	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Cosmarium sp.</i>	0	0	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Elakatothrix sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	44	89	17	8	0	0	0	0	89	0	
	<i>Klebsormidium subtile</i>	0	44	44	44	0	0	89	0	711	533	667	467	13	11	44	35	17	89	89	89	16	80	35	17	89	
	<i>Mougeotia sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	89	0	17	89	13	62	16	10	67	
	<i>Staurastrum gracile</i>	89	44	89	0	0	44	0	0	89	36	44	0	0	0	0	0	0	89	0	89	0	89	0	0	0	
Bacillariophyta	<i>Cocconeis sp.</i>	0	0	0	0	44	44	89	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Discostella sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Fragilaria crotonensis</i>	0	267	13	31	13	13	0	44	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	26	
	<i>Navicula sp</i>	311	356	1	8	64	53	29	28	30	18	933	115	6	0	0	44	0	53	26	62	35	14	28	0	89	
	<i>Nitzschia sp</i>	889	191	0	44	13	0	13	0	30	0	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	
<i>Pinnularia sp.</i>	0	0	0	0	44	0	44	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Miozoa	<i>Ceratium hirundinella</i>	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	89	0	0	0	0	0		
Ochrophyta	<i>Tribonema sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	0	0	0	0	0	0	0		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Temperatura del agua (°C) registrados en las zonas de evaluación, febrero–abril 2022.

Parámetro: Temperatura								
Zona	Profundidad muestreo (m)	Repetición	Periodo de muestro					
			1-Feb	15-Feb	1-Mar	15-Mar	1-Abr	15-Abr
Chimu	0.5 m	1	15.6	15.7	15.6	15.2	16.8	16.7
		2	15.3	16.1	15.9	15.7	16.9	16.1
		3	15.2	16.4	15.9	15.9	17.2	15.9
		4	15.8	16.1	16.2	16.1	17.1	15.9
		5	15.3	16.4	16.2	15.6	17.1	16.3
	10 m	1	14.9	16.2	15.4	14.8	16.3	15.8
		2	14.8	15.9	15.7	14.9	16.1	15.6
		3	14.9	16.2	15.6	14.7	16.1	15.4
		4	15.0	15.8	15.6	15.2	16.3	15.2
		5	14.8	16.1	15.4	14.7	16.1	15.3
Promedio			15.2	16.1	15.8	15.3	16.6	15.8
Espinar	0.5 m	1	14.9	16.6	19.2	14.9	18.8	17.2
		2	15.4	16.4	18.3	15.7	18.1	16.6
		3	15.7	16.8	17.8	16.1	17.7	16.1
		4	15.2	16.4	17.3	16.1	17.8	16.2
		5	15.4	16.6	17.3	15.6	17.9	16.1
	3 m	1	15.8	16.6	16.8	15.4	17.7	16.4
		2	15.6	16.8	18.3	15.8	17.6	15.8
		3	15.9	16.7	16.9	15.9	17.8	15.9
		4	15.6	16.6	16.1	15.9	17.7	16.0
		5	15.6	16.8	15.7	15.9	17.8	15.7
Promedio			15.5	16.6	17.4	15.7	17.9	16.2
San José	0.5 m	1	15.2	16.7	15.3	15.5	18.2	16.8
		2	15.9	17.2	17.1	16.3	18.6	16.2
		3	16.2	16.7	17.6	16.6	18.6	16.4
		4	15.8	16.5	17.3	16.7	18.1	16.1
		5	15.5	17.1	16.8	16.7	18.6	16.1
	3 m	1	16.8	16.2	17.6	14.8	17.9	15.6
		2	17.0	16.5	17.6	16.2	17.7	15.3
		3	16.8	16.3	17.2	16.2	18.1	15.5
		4	17.1	16.2	16.3	16.3	17.8	15.7
		5	16.9	16.5	17.5	16.2	18.0	15.7
Promedio			16.3	16.6	17.0	16.2	18.2	15.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Transparencia del agua (m) registrados en las zonas de evaluación, febrero–abril 2022.

Periodo de muestreo	Bahia Interior						Bahia Exterior		
	Espinar			San José			Chimu		
	A.	D.	P.	A.	D.	P.	A.	D.	P.
1-Feb	0.6	0.8	0.70	1.2	1.5	1.35	4.8	5	4.90
15-Feb	0.7	0.8	0.75	1.5	1.7	1.60	4.7	5.2	4.95
1-Mar	0.8	0.8	0.78	1	1.1	1.05	3.9	4	3.95
15-Mar	0.6	0.7	0.65	0.75	0.95	0.85	3	3.1	3.05
1-Abr	1.0	1.1	1.05	1.5	1.6	1.55	9.8	10	9.90
15-Abr	1.9	1.9	1.88	2.3	2.4	2.35	4.5	4.6	4.55

A= Aparece; D= Desaparece; P= Promedio

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

pH registrado en las zonas de evaluación, febrero–abril 2022.

Parámetro: pH								
Zona	Profundidad muestreo (m)	Repetición	Periodo de muestro					
			1-Feb	15-Feb	1-Mar	15-Mar	1-Abr	15-Abr
Chimu	0.5 m	1	8.38	8.49	8.32	8.59	8.62	8.63
		2	8.66	8.70	8.63	8.71	8.44	8.51
		3	8.44	8.73	8.69	8.72	8.40	8.50
		4	8.53	8.69	8.68	8.74	8.41	8.46
		5	8.59	8.70	8.70	8.75	8.44	8.41
	10 m	1	8.71	8.70	8.62	8.73	8.49	8.53
		2	8.70	8.66	8.66	8.72	8.51	8.47
		3	8.69	8.72	8.71	8.70	8.49	8.50
		4	8.73	8.67	8.73	8.72	8.50	8.50
		5	8.70	8.70	8.71	8.71	8.48	8.46
Promedio			8.61	8.68	8.65	8.71	8.48	8.50
Espinar	0.5 m	1	8.86	8.38	8.89	8.90	8.53	8.37
		2	8.85	8.23	8.93	8.98	8.53	8.17
		3	8.84	8.22	8.91	8.98	8.54	8.12
		4	8.85	8.24	8.88	8.98	8.53	8.11
		5	8.86	8.23	8.88	8.98	8.53	8.09
	3m	1	8.79	8.23	8.71	8.98	8.54	8.17
		2	8.83	8.25	8.69	8.95	8.54	8.14
		3	8.80	8.24	8.75	8.92	8.53	8.12
		4	8.82	8.25	8.76	8.92	8.53	8.12
		5	8.77	8.23	8.77	8.95	8.53	8.13
Promedio			8.83	8.25	8.82	8.95	8.53	8.15
San José	0.5 m	1	8.78	8.04	9.10	9.13	8.69	8.25
		2	8.74	7.93	9.23	9.22	8.72	8.19
		3	8.85	7.90	9.23	9.20	8.71	8.03
		4	8.80	8.00	9.24	9.19	8.67	8.13
		5	8.78	7.90	9.24	9.18	8.79	8.18
	3 m	1	8.58	7.89	9.16	9.58	8.64	8.00
		2	8.46	7.92	9.18	9.22	8.55	7.93
		3	8.49	7.91	9.08	9.24	8.73	7.68
		4	8.52	7.89	9.14	9.21	8.54	8.02
		5	8.57	7.92	9.15	9.21	8.54	7.93
Promedio			8.66	7.93	9.18	9.24	8.66	8.03

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

Oxígeno disuelto (OD) registrados en las zonas de evaluación, febrero–abril 2022.

Parámetro: Oxígeno Disuelto (mg/L)									
Zona	Profundidad muestreo (m)	Repetición	Periodo de muestro						
			1-Feb	15-Feb	1-Mar	15-Mar	1-Abr	15-Abr	
Chimu	0.5 m	1	6.4	7.4	7.8	8.1	6.5	6.3	
		2	7.1	7.9	7.8	8.0	6.5	7.7	
		3	6.4	8.6	7.7	8.5	7.1	7.2	
		4	7.1	7.4	7.9	8.5	7.2	7.2	
		5	6.4	7.9	8.0	8.9	6.9	6.1	
	10 m	1	6.6	8.2	6.9	7.5	6.4	6.1	
		2	6.6	7.0	7.6	7.7	6.9	6.6	
		3	6.6	8.2	7.3	7.2	6.7	6.5	
		4	6.6	7.0	7.5	7.9	6.3	7.5	
		5	6.6	8.2	7.8	7.4	6.0	6.9	
	Promedio			6.6	7.8	7.6	8.0	6.7	6.8
	Espinar	0.5 m	1	1.5	4.7	1.7	4.6	4.5	4.8
			2	1.7	5.1	2.7	3.8	4.8	4.2
			3	2.2	5.2	2.9	3.6	4.2	5.6
			4	1.5	4.7	2.9	4.9	3.9	6.2
5			1.7	5.1	2.6	4.6	4.6	6.3	
3 m		1	2.1	4.6	5.6	5.6	6.5	5.8	
		2	2.6	5.3	5.9	5.9	6.4	5.7	
		3	2.8	4.6	4.8	5.3	6.3	6.4	
		4	2.3	5.3	6.2	5.2	5.5	5.8	
		5	2.9	4.6	6.5	5.8	6.4	6.6	
Promedio			2.1	4.9	4.2	4.9	5.3	5.7	
San José		0.5 m	1	1.4	3.9	3.4	3.9	3.9	3.1
			2	1.3	3.8	3.1	3.7	4.2	3.2
			3	1.6	3.2	3.7	3.0	4.1	4.2
			4	1.4	3.9	3.8	3.5	4.2	4.5
	5		1.3	3.8	3.9	3.9	4.6	4.6	
	3 m	1	1.9	3.5	3.6	3.6	3.5	5.8	
		2	2.0	3.0	3.1	3.1	3.6	5.7	
		3	1.9	3.1	3.1	3.3	3.6	5.9	
		4	2.0	3.1	3.6	3.4	3.8	5.3	
		5	1.9	2.9	3.8	3.1	3.8	6.1	
	Promedio			1.7	3.4	3.5	3.5	3.9	4.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14

Conductividad eléctrica registrada en las zonas de evaluación, febrero–abril 2022.

Parámetro: Conductividad eléctrica									
Zona	Profundidad muestreo (m)	Repetición	Periodo de muestro						
			1-Feb	15-Feb	1-Mar	15-Mar	1-Abr	15-Abr	
Chimu	0.5 m	1	1506	1481	1467	1340	1263	1239	
		2	1500	1476	1467	1355	1274	1262	
		3	1509	1472	1467	1354	1270	1257	
		4	1502	1474	1467	1349	1274	1238	
		5	1500	1478	1466	1358	1272	1248	
	10 m	1	1503	1456	1474	1413	1351	1340	
		2	1506	1459	1475	1408	1343	1346	
		3	1502	1456	1475	1414	1358	1324	
		4	1508	1457	1477	1359	1361	1359	
		5	1500	1458	1473	1400	1366	1335	
	Promedio			1504	1467	1471	1375	1313	1295
	Espinar	0.5 m	1	1633	1619	1551	1627	1473	1481
			2	1618	1612	1598	1604	1532	1558
			3	1618	1612	1615	1594	1554	1562
			4	1621	1612	1625	1592	1555	1553
5			1626	1615	1628	1602	1544	1558	
3 m		1	1619	1606	1629	1599	1552	1561	
		2	1620	1611	1593	1596	1560	1557	
		3	1621	1609	1629	1593	1553	1555	
		4	1620	1606	1660	1596	1557	1560	
		5	1619	1611	1663	1596	1551	1572	
Promedio			1622	1611	1619	1600	1543	1397	
San José		0.5 m	1	1709	1690	1654	1622	1572	1497
			2	1678	1691	1614	1601	1551	1539
			3	1668	1699	1600	1595	1573	1563
			4	1666	1691	1612	1590	1571	1550
	5		1669	1690	1620	1590	1573	1554	
	3 m	1	1692	1722	1609	1622	1561	1534	
		2	1672	1703	1604	1620	1577	1550	
		3	1684	1719	1619	1597	1549	1576	
		4	1690	1722	1627	1583	1556	1559	
		5	1688	1703	1603	1603	1564	1556	
	Promedio			1682	1703	1616	1602	1565	1548

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

Sólidos totales disueltos (STD) registrados en las zonas de evaluación, febrero–abril 2022.

Parámetro: Sólidos Totales Disueltos								
Zona	Profundidad muestreo (m)	Repetición	Periodo de muestro					
			1-Feb	15-Feb	1-Mar	15-Mar	1-Abr	15-Abr
Chimu	0.5 m	1	753	739	732	665	629	621
		2	750	734	732	674	628	632
		3	755	736	735	673	634	630
		4	751	738	733	671	639	620
		5	750	734	731	675	634	623
	10 m	1	752	726	733	702	674	673
		2	753	730	737	702	671	668
		3	751	727	736	705	679	663
		4	754	729	737	675	682	681
		5	750	730	734	695	684	668
Promedio			752	732	734	684	655	648
Espinar	0.5 m	1	817	808	779	815	741	755
		2	809	806	803	801	769	786
		3	809	804	808	796	778	777
		4	811	804	813	788	776	774
		5	813	808	812	796	772	776
	3 m	1	810	804	813	800	777	776
		2	810	807	800	797	780	778
		3	811	806	814	796	776	778
		4	810	804	827	797	778	780
		5	810	807	829	797	775	785
Promedio			811	806	810	798	772	777
San José	0.5 m	1	855	841	822	809	784	751
		2	839	845	806	800	774	771
		3	834	847	800	796	783	782
		4	833	845	805	795	784	776
		5	835	843	804	796	780	778
	3 m	1	846	858	802	804	780	767
		2	836	850	803	809	788	774
		3	842	854	810	789	776	788
		4	845	858	810	796	778	780
		5	844	850	804	800	782	779
Promedio			841	849	807	799	781	775

Fuente: Elaboración propia

Figura 11

Fotografías de las principales especies del grupo Cyanophyta. a.

Microcystis sp., b. *Anabaena sphaerica*, c. *Chroococcus* sp.



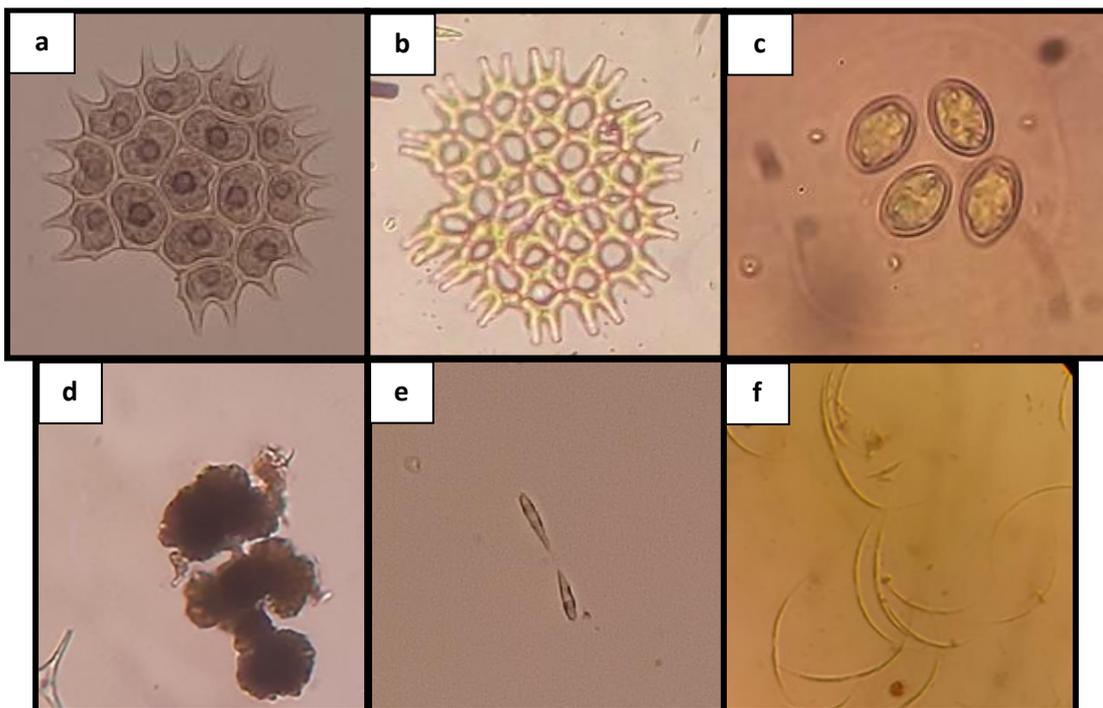
Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Fotografías de las principales especies del grupo Chlorophyta. a. *Pseudopediastrum*

boryanum, b. *Pediastrum dúplex*, c. *Oocystis borgei*. d. *Botryococcus* sp., e. *Ankyra*

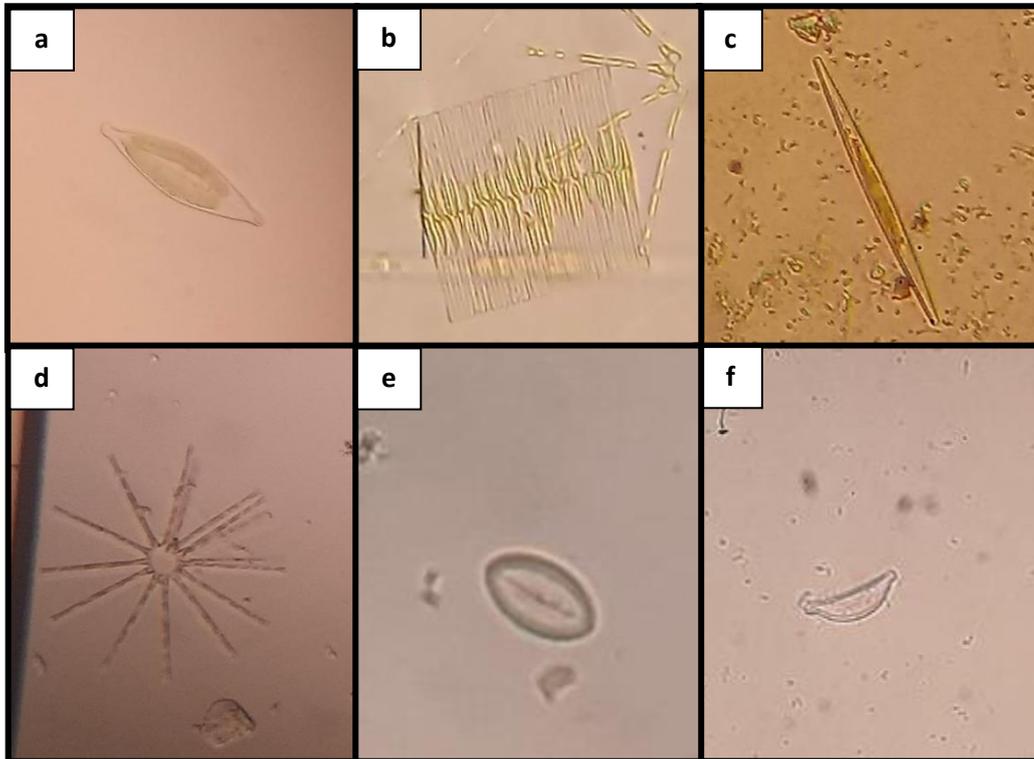
judayi, f. *Monoraphidium* sp.



Fuente: Elaboración propia

Figura 13

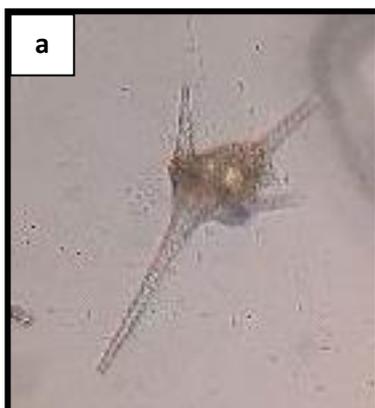
Fotografías de las principales especies del grupo Bacillariophyta. a. *Navicula* sp. b. *Fragilaria crotonensis*, c. *Nitzschia* sp., d. *Asterionella formosa*, e. *Cocconeis* sp., f. *Amphora* sp.



Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Fotografías de las principales especies del grupo Miozoa. a. *Ceratium hirundinella* sp.

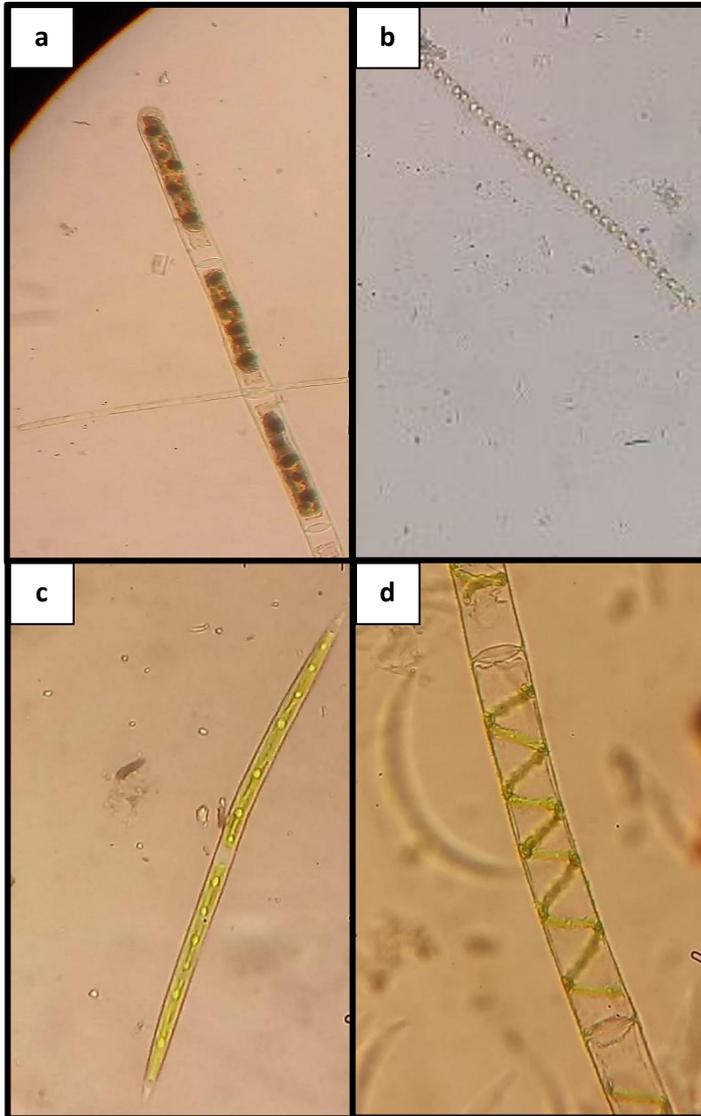


Fuente: Elaboración propia

Figura 15

Fotografías de las principales especies del grupo Charophyta. a. *Mougeotia* sp., b.

Klebsormidium subtile, c. *Closterium* sp., d. *Spirogyra* sp.



Fuente: Elaboración propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
LABORATORIO DE ECOLOGÍA ACUÁTICA

RESOLUCIÓN N° 2787-2017-R-UNA
SUNEDU N°101-2017-SUNEDU/CD



CONSTANCIA

EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL LABORATORIO DE ECOLOGÍA ACUÁTICA DE
LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
DEL ALTIPLANO PUNO.

HACE CONSTAR:

Que el Bachiller, **DANITZA FIORELLA CÁCERES GARCIA** con código de matrícula 130086, con DNI: 70318895, bachiller de la Facultad de Ciencias Biológicas, Programa de Estudios de Biología: Ecología de la Universidad Nacional del Altiplano Puno; ha realizado su trabajo de investigación en el Laboratorio de Ecología Acuática titulado “**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y VERTICAL DE LA DIVERSIDAD Y ABUNDANCIA DE FITOPLANCTON EN LA BAHÍA INTERIOR Y EXTERIOR DEL LAGO TITICACA, PUNO**”, durante los meses de febrero a setiembre del año 2022.

Se emite la presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que se estime por conveniente.

Puno, 14 de mayo del 2024

Atentamente,

Dr. ALFREDO L. LOZA DEL CARPIO
JEFE DE LABORATORIO



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Danitza Fiorella Cáceres García identificado con DNI 70318895 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
de Biología

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Distribución espacial y vertical de la diversidad y abundancia de fitoplancton en la bahía interior y exterior del lago Titicaca, Puno"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 01 de Julio del 20 24

Danitza

FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Daritzza Fiorella Cáceres García,
identificado con DNI 70318895 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
de Biología

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ Distribución espacial y vertical de la diversidad y
abundancia de Fitoplancton en la bahía interior y
exterior del lago Titicaca, Puno ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 01 de Julio del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella