



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**DOCTORADO EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO**  
**AMBIENTE**



**TESIS**

**FACTORES QUE CARACTERIZAN A LAS CIANOBACTERIAS EN LA**  
**BAHÍA DE PUNO, LAGO TITICACA**

**PRESENTADA POR:**

**RENZO HERNAN TURPO AROQUIPA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE**

**PUNO, PERÚ**

**2022**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO**  
**AMBIENTE**

**TESIS**

**FACTORES QUE CARACTERIZAN A LAS CIANOBACTERIAS EN LA**  
**BAHÍA DE PUNO, LAGO TITICACA**



**PRESENTADA POR:**

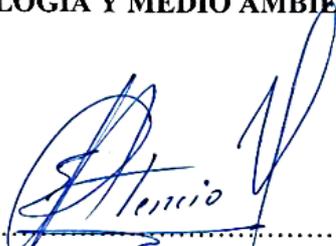
**RENZO HERNAN TURPO AROQUIPA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

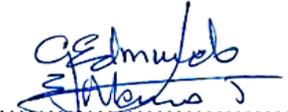
**DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE**

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

  
.....  
Ph. D. SABINO ATENCIO LIMACHI

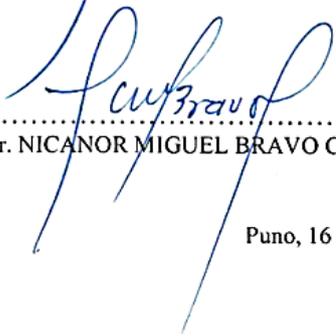
PRIMER MIEMBRO

  
.....  
Dr. EDMUNDO GERARDO MORENO TERRAZAS

SEGUNDO MIEMBRO

  
.....  
Ph. D. JUAN MARCOS ARO ARO

ASESOR DE TESIS

  
.....  
Dr. NICANOR MIGUEL BRAVO CHOQUE

Puno, 16 de Diciembre de 2020

**ÁREA:** Ciencia Tecnología y Medio Ambiente  
**TEMA:** Cianobacterias  
**LÍNEA:** Recursos Naturales y Medio Ambiente



## DEDICATORIA

Con gratitud a mis padres:

Valeriano Turpo Asillo

Raimunda María Aroquipa Humpiri (†)

Por todo el apoyo y la motivación, durante  
mi vida.

En especial a mi madre que desde un principio de mi  
vida siempre tuvo las palabras de aliento para poder  
seguir, aun en el fracaso y el dolor; supo convertir lo  
poco en esperanzas para continuar en el día a día. A  
ti, te la dedico esta investigación...

Que en tus últimos días me seguiste enseñando a  
vivir y aun en tu ausencia sigues haciéndolo ...

Gracias mami, por todo lo que me diste.



## AGRADECIMIENTOS

- No hace mucho tiempo, llegar a esta etapa de mi formación profesional y lograr culminarla era una meta muy lejana de alcanzar. Sin embargo, ahora como resultado de un gran esfuerzo personal cumplo esta meta que en algún momento fue solo una ilusión.
- Por lo que este logro no hubiese sido posible sin la colaboración de diversas personas quienes con sus contribuciones enriquecieron y dieron forma a esta tesis. Entre ellas es hacer un especial reconocimiento al Dr. Nicanor Miguel Bravo Choque por aceptar dirigir esta investigación.
- Asimismo, al Dr. Pedro Ernesto Delgado Mamani del Instituto Nacional de Innovación Agraria por el acceso a sus instalaciones y equipos.
- Y sin dejar de lado, agradezco a mis amigos, que siempre tuvieron una palabra de aliento para motivarme a seguir y culminar esta investigación.

A todos ustedes gracias.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1

### CAPÍTULO

#### REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco Teórico	3
1.1.1. Generalidades de las cianobacterias	3
1.1.2. Estructura y organización celular de las cianobacterias	3
1.1.3. Distribución y hábitat de las cianobacterias	4
1.1.4. Ecoestrategias de las cianobacterias	5
1.1.5. Factores que regulan la proliferación de las cianobacterias	6
1.1.6. Efectos de las floraciones de cianobacterias	10
1.1.7. Efectos sobre la salud humana y animal	10
1.2. Antecedentes	11

### CAPÍTULO

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	18
2.2. Enunciados del problema	20
2.2.1. Problema general	20



2.2.2. Problemas específicos	20
2.3. Justificación	20
2.4. Objetivos	21
2.4.1. Objetivo General	21
2.4.2. Objetivos Específicos	21
2.5. Hipótesis	21
2.5.1. Hipótesis General	21
2.5.2. Hipótesis Específica	22

## **CAPÍTULO**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. Lugar de estudio	23
3.2. Población	24
3.3. Muestra	24
3.4. Método de investigación	24
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	25

## **CAPÍTULO**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1 Determinación de las variables fisicoquímicas del hábitat de las cianobacterias de la bahía de Puno	29
4.2 Identificación de las cianobacterias de la bahía de Puno	36
4.3 Determinación de las densidades de las cianobacterias de la bahía de Puno	45
4.4 Determinación de la relación de los factores fisicoquímicos en las cianobacterias de la bahía de Puno	51

CONCLUSIONES	55
--------------	----

RECOMENDACIONES	56
-----------------	----

BIBLIOGRAFÍA	57
--------------	----

ANEXOS	67
--------	----



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo	23
2. Rangos de valoración	27
3. Especies identificadas de cianobacterias en la bahía de Puno	36
4. Ubicación taxonómica de las especies identificadas de cianobacterias	37
5. Densidad de las especies de cianobacterias registradas	49
6. Coeficiente de correlación entre parámetros fisicoquímicos y densidad	51



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo	24
2. Variación mensual de la transparencia en la bahía de Puno	30
3. Variación mensual de la temperatura en la bahía de Puno	31
4. Variación mensual del pH en la bahía de Puno	32
5. Variación mensual del Oxígeno disuelto (OD) de la bahía de Puno	33
6. Variación mensual del Fosfatos (PO <sub>4</sub> ) en la bahía de Puno	34
7. Variación mensual del Nitritos (NO <sub>2</sub> ) en la bahía de Puno	34
8. Variación mensual del Nitratos (NO <sub>3</sub> ) en la bahía de Puno	35
9. Fotos de algunas especies de cianobacterias	38
10. Variación mensual de la densidad total de las cianobacterias en la bahía de Puno	50



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Georreferenciación de los puntos de muestreo	67
2. Medida de la transparencia con disco secchi	67
3. Equipos y materiales de trabajo y medición de parámetros fisicoquímicos	68
4. Análisis de laboratorio con microscopio trinocular NIKON ECLIPSE E200	68
5. Análisis cualitativo de las especies de cianobacterias	69
6. Registro y medidas de las especies de cianobacterias con el software	69
7. Valores y promedios de los parámetros fisicoquímicos de las tres estaciones en la bahía de Puno -2018	70
8. Análisis estadístico para datos no paramétricos - Kruskal-Wallis	71

## RESUMEN

Las cianobacterias, o algas verde azules, es una división que forma parte del fitoplancton, que son capaces de causar floraciones en ambientes lenticos, como embalses y lagos con presencia de nutrientes como el nitrógeno y fósforo. A la cual se evaluaron los factores del agua que caracterizan a las cianobacterias en la bahía de Puno, lago Titicaca. Se utilizó la descripción de las variables fisicoquímicas del agua y el análisis cuantitativo y cualitativo de las cianobacterias. En las aguas de la zona evaluada, la transparencia varió de 1.29 a 8.39 m, la temperatura entre 14.68 a 15.20 °C, el pH de 8.63 a 9.29, el oxígeno disuelto entre 6.53 a 9.37 mg/L, los fosfatos (PO<sub>4</sub>) entre 0.074 a 1.513 mg/L, los nitritos (NO<sub>2</sub>) de 0.009 a 0.323 mg/L y los nitratos (NO<sub>3</sub>) de 0.014 a 0.309 mg/L; además, se identificaron 13 especies de cianobacterias de carácter cosmopolitas y una endémica (*Nodularia inca*); y para estas especies sus densidades oscilaron entre 885 a 9.555 ind/L en los meses de febrero y marzo respectivamente; además se observó que la temperatura y los fosfatos (PO<sub>4</sub>) tuvieron un efecto favorable en las densidades de las cianobacterias y un efecto contrario de la transparencia. Existió una diferencia estadística entre los meses (P=0.05) y por el contrario para las zonas (P=0.639), observando que la temperatura de 18 a 19°C y los fosfatos (PO<sub>4</sub>) entre 1.762 a 2.045 mg/L tienen un efecto marcado en las densidades de *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena sphaerica*, *Oscillatoria* sp. y *Anabaena* sp., estas de importancia por su producción de cianotoxinas.

**Palabras claves:** Bahía de Puno, cianobacterias, fosfatos, lago Titicaca, temperatura, transparencia.

## ABSTRACT

Cyanobacteria, or blue green algae, is a division that is part of phytoplankton, are capable of causing blooms in lentic environments, essentially reservoirs and lakes with the presence of nutrients due to the abundance of nitrogen and phosphorus. The water factors that characterize cyanobacteria in the Bay of Puno, Lake Titicaca, were evaluated. It was used the description of the physicochemical variables of the water and the quantitative and qualitative analysis of the cyanobacteria. The waters of the studied zone, the transparency varied from 1.29 to 8.39 m, the temperature between 14.68 and 15.20 °C, the pH from 8.63 to 9.29, the dissolved oxygen between 6.53 and 9.37 mg/L, the phosphates (PO<sub>4</sub>) between 0.074 and 1.513 mg/L, the nitrites (NO<sub>2</sub>) from 0.009 to 0.323 mg/L and the nitrates (NO<sub>3</sub>) from 0.014 to 0.309 mg/L; in addition, 13 species of cosmopolitan character and one endemic (*Nodularia inca*) were identified; during the evaluation, densities between 885 and 9,555 ind/L were recorded in February and March respectively; temperature and phosphates (PO<sub>4</sub>) had a favorable effect on cyanobacterial density and an opposite effect of transparency. There was a statistical difference between the months (P=0.05) and on the contrary for the areas (P=0.639), observing that temperature from 18 to 19°C and phosphates (PO<sub>4</sub>) between 1.762 to 2.045 mg/L have a marked effect on the densities of *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena sphaerica*, *Oscillatoria* sp. and *Anabaena* sp. are important for their production of cyanotoxins.

**Keywords:** Cyanobacteria, Lake Titicaca, phosphates, Puno bay, temperature, transparency.

## INTRODUCCIÓN

Un número cada vez mayor de estudios indican que las aguas más cálidas y con concentraciones considerables de nutrientes son más sensibles al dominio de las cianobacterias, pues las propiedades óptimas para el incremento de las cianobacterias son principalmente más altas que las del fitoplancton generalmente, su dominancia amenazan los ecosistemas acuáticos y desafían la administración de los recursos hídricos (Agasild *et al.*, 2019; Walls *et al.*, 2018), en sistemas de agua dulce se poseen a los géneros de *Microcystis*, *Dolichospermum*, *Planktothrix* y *Aphanizomenon* que conforman floración habitualmente, las mismas que tienen la posibilidad de generar numerosas cianotoxinas, incluida la microcistina hepatotóxica y sus congéneres (Agasild *et al.*, 2019; Haakonsson *et al.*, 2017) y dichos compuestos tóxicos de varias especies son dañinos para la salud humana (Walls *et al.*, 2018).

Un ejemplo de esto viene de Corea, donde casi en el verano, las rápidas floraciones de algas en los principales ríos han sido reconocidas como un problema de salud pública y de agua potable; observaciones recientes de peces a lo largo del río Darling en Australia, proporcionan una ilustración de cómo el crecimiento sin precedentes de cianobacterias puede afectar nuestros ecosistemas ribereños (Kim *et al.*, 2020) y las investigaciones han demostrado que estos eventos están relacionados con la temperatura del agua y la precipitación que desempeñen un papel importante en la proliferación de cianobacterias, especialmente en ecosistemas eutróficos (Haakonsson *et al.*, 2017), la flotabilidad también brinda a los organismos una ventaja para acceder a fuentes de luz y nutrientes para optimizar la fotosíntesis y el crecimiento (Moore *et al.*, 2019).

Una gran razón para estas condiciones favorables es la urbanización descontrolada del mundo que ha creado millones de litros de aguas residuales, que contienen un exceso de nutrientes como N y P.; los principales problemas de la descarga de aguas residuales sin tratar se deben a la falta de instalaciones de tratamiento eficaces (Shankar *et al.*, 2019). La eutrofización es uno de los problemas de la actualidad, con mayor impacto en los cuerpos de agua, la continua descarga de desechos sólidos y líquidos ha provocado el desarrollo de este complejo problema en cuerpos de agua de todo el mundo, como se puede apreciar en la Bahía de Puno del lago Titicaca que tiene poca escorrentía y, combinado con un alto aporte de nutrientes del sistema de drenaje de la ciudad de Puno, da lugar a un cuerpo de agua contaminado, ya que el deterioro de la laguna facultativas

de aguas residuales hace que el tratamiento sea ineficaz y se complementa con la descarga de aguas residuales por alcantarillados ilegales (Fontúrbel, 2003; Oliva *et al.*, 2008; Beltran *et al.*, 2015). Debido a estos problemas muy potenciales y sin una solución por las autoridades, estas condiciones se extienden a una buena parte de la Bahía de Puno.

Como resultado de este fenómeno, en esta zona se presenta la producción a gran escala de cianobacterias como en *Microcystis aeruginosa*, *Limnoraphis robusta* y *Nodularia inca* (Montoya *et al.*, 2015; Peinador, 1999). Este tipo de evento puede crear impactos negativos en los recursos pesqueros y la salud humana, e incluso causar la muerte de peces y afectar el turismo. Muchos estudios han relacionado las cianobacterias con diversos estreses antropogénicos que provocan la eutrofización de los ecosistemas de agua dulce, como las cargas agrícolas y la contaminación urbana (Monteagudo & Moreno, 2016).

Siendo así, de importancia conocer y comprender los parámetros fisicoquímicos del agua que caracterizan a las cianobacterias en la bahía de Puno, las mismas que nos darán los fundamentos científicos para comprender la presencia o ausencia de estas especies durante su estacionalidad y características únicas dentro del lago Titicaca.

El trabajo de investigación se encuentra dividido en los siguientes capítulos: Capítulo I. Fundamentos teóricos de la investigación, se expone los conceptos centrales y referenciales de las cianobacterias, distribución y hábitad, ecoestrategias, aspectos fisicoquímicos del agua, factores que regulan su desarrollo y efectos sobre la salud humana y animal, a ello se acompaña los objetivos de la investigación y las hipótesis, capítulo II. El problema refiere a la contaminación del agua y los efectos que repercute en el hábitad de las cianobacterias y su efecto en su desarrollo de las especies con potencias de producción de cianotoxinas de importancia en la salud humana y animal que conlleva a la investigación seguida de la justificación, el capítulo III. Describe la metodología de la investigación, el método, diseño tipo y nivel de investigación que le dan orientación al estudio al igual que la cobertura del estudio de la muestra, las técnicas e instrumentos que han posibilitado para el recojo de la información y finalmente el capítulo IV. Resultados y discusión. Dedicado a los resultados de la investigación con aplicación de instrumentos en los diferentes cuadros estadísticos, contrastación de hipótesis, correlación de Pearson y culmina con las conclusiones, recomendaciones, bibliografía consultada y los anexos referidos.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1 Marco Teórico

##### 1.1.1. Generalidades de las cianobacterias

Las Cianobacterias forman parte del fitoplancton y son productores primarios, el carbono orgánico y la energía producida por ellas durante la fotosíntesis son transferidas a otros organismos a través de las cadenas alimentarias (Meichtry *et al.*, 2009). En cuanto a la reproducción, es asexual, generalmente por fisión binaria (Aubriot *et al.*, 2009). Estas constituyen la mayoría del fitoplancton en algunos grandes lagos oligotróficos y eutróficos, y debido a su abundancia y ubicuidad, fijan el carbono hasta el 70% en el agua (Yan *et al.*, 2019) y habitan en los sistemas lacustres de todo el mundo, tienen una larga historia evolutiva que ha dado lugar a una diversidad de estrategias y rasgos ecológicos de las adaptaciones a largo plazo (Moore *et al.*, 2019).

##### 1.1.2. Estructura y organización celular de las cianobacterias

Las células vegetativas se caracterizan por un protoplasma rodeado por una envoltura similar a las células bacterianas Gram-negativas, en ocasiones la pared celular está encerrada por una vaina o vaina mucinosa que facilita la agregación celular y las protege de la desecación y en el centro se encuentra el material genético, formado por un cromosoma de ADN circular y ribosomas (Carrasco, 2007).

Las cianobacterias se agrupan alrededor de 2400 especies, comprenden formas unicelulares, coloniales o filamentosas, provistas o no de una vaina mucilaginosa,

muchas de ellas presentan vesículas de gas o aerótopos, que son también inclusiones citoplasmáticas de manera cilíndrica que tienen la posibilidad de llenarse de gas, permitiendo a las cianobacterias modificar su densidad celular; estas les confieren una importante ventaja ecológica sobre otros elementos de la población del fitoplancton, ya que les permite modificar su posición vertical en la columna de agua (Carrasco, 2007; Madigan *et al.*, 2003; Meichtry *et al.*, 2009).

La fotosíntesis es el principal medio de obtención de energía para su metabolismo, y los pigmentos presentes como la clorofila a y b, las xantofilas, la c-ficocianina son los responsables del color azul de estos microorganismos, la c-ficoeritrina y los carotenos responsables del color rojo de algunas especies. (Echenique & Aguilera, 2009) y los carotenoides, que son pigmentos terpenoides que captan la luz, son producidos por cianobacterias como el  $\beta$ -caroteno, la astaxantina, la zeaxantina y otras (Liu *et al.*, 2021).

En los organismos filamentosos heterocistinos se pueden encontrar células transformadas: heterocistos y/o células acinetas, los heterocistos son células transformadas con variados colores refractivos y morfologías, presentan un engrosamiento extremo en las puntas de las células en contacto con las células vecinas, pueden estar envueltos o no y están relacionados con la fijación de nitrógeno en la atmósfera y los acinetos, por su parte, son células modificadas de diversas formas y tamaños y composición granular, pueden estar envueltas o no, y su función principal es la asimilación de sustancias de almacenamiento, actúa como estructura de resistencia en situaciones de estrés, en condiciones favorables, germinan dando lugar a una nueva población (Echenique & Aguilera, 2009; Madigan *et al.*, 2003).

### **1.1.3. Distribución y hábitat de las cianobacterias**

Las cianobacterias son ubicuas y se encuentran desde los polos hasta los desiertos más cálidos, se distribuyen en los más diversos hábitats, frescos, salobres o marinos; en ambientes como aguas termales, nieve o desiertos, y son capaces de prosperar en ambientes extremos crecimiento (Liu *et al.*, 2021; Meichtry *et al.*, 2009; Mur *et al.*, 1978). Además, de estos ecosistemas acuáticos, también se pueden encontrar cianobacterias adaptadas a ambientes terrestres, que se vuelven muy abundantes en suelos tropicales y en suelos saturados de agua, como en las zonas ajardinadas

donde el agua está estancada. Sorprendentemente, el rango de crecimiento de las cianobacterias suele ser mucho más bajo que el de muchas algas con las que compiten por nichos (Carrasco, 2007; Mur *et al.*, 1978). Las cianobacterias tienen adaptaciones que les permiten tolerar una amplia gama de condiciones ambientales, algunos grupos pueden fijar nitrógeno en la atmósfera y también pueden absorber y almacenar fósforo cuando esta está confinado en la epidermis (Barçante *et al.*, 2020).

Las que viven en ambientes acuáticos se pueden dividir ecológicamente en dos categorías: plancton y bentónicas, los primeros se caracterizan por vivir libremente en la superficie o en la columna de agua, mientras que los segundos viven en el fondo o en asociación con el sustrato (Carrasco, 2007). Durante las épocas más cálidas del año, las cianobacterias suelen dominar los ambientes cálidos de agua dulce, especialmente en los sistemas eutróficos (Davis *et al.*, 2009).

#### **1.1.4. Ecoestrategias de las cianobacterias**

Una característica compartida por una gran cantidad de cianobacterias es la capacidad de modular la flotabilidad con la ayuda de burbujas de aire (Moore *et al.*, 2019). Ciertas cianobacterias tienen burbujas de aire que regulan su flotabilidad, y cuando la luz se desvanece, estas burbujas se vuelven más abundantes para regular su flotabilidad, lo que les permite permanecer en las zonas con mejor luz para fomentar su crecimiento. (Barçante *et al.*, 2020; Lanzarot, 2008; Mur *et al.*, 1978). Esta capacidad le da al organismo una ventaja en la adquisición de recursos de luz y nutrientes para optimizar la fotosíntesis y el crecimiento (Moore *et al.*, 2019).

Por otro lado, debido a la acumulación de productos fotosintéticos, un aumento en la presión de inflado de las células conduce a una disminución de las vesículas de gas existentes y por lo tanto, a una disminución de la flotabilidad (Lanzarot, 2008; Mur *et al.*, 1978). Es bien conocido que la capacidad de las colonias de cianobacterias para regular su flotabilidad les permite permanecer en áreas que les proporcionen una luz óptima para su crecimiento, pero para ello, el cuerpo de agua no debe presentar turbulencias excesivas (Lanzarot, 2008).

A pesar de sus bajas tasas de crecimiento son capaces de capturar eficientemente la luz de banda ancha y se ven favorecidas bajo bajas intensidades de luz para obtener

una ventaja competitiva en lagos que presentan poblaciones de algas turbias o densas (Lanzarot, 2008).

Bajo ciertas condiciones ambientales, la densidad de cianobacterias aumenta rápidamente y su biomasa aumenta significativamente en relación con la concentración original, un fenómeno llamado floración y los factores que desencadenan las floraciones de cianobacterias planctónicas son diversos (Aubriot *et al.*, 2009).

A pesar de tener una tasa de crecimiento baja, son capaces de captar eficientemente la luz en una amplia banda de longitud de onda y en condiciones de baja intensidad lumínica, su crecimiento se ve favorecido obteniendo así una ventaja competitiva en los lagos que presentan turbidez o cuando hay densas poblaciones de algas (Lanzarot, 2008).

La cianobacterias bajo determinadas condiciones ambientales aumenta su densidad muy rápidamente, aumentando su biomasa en valores significativos con respecto a la concentración original, fenómeno conocido como floración, además los factores que desencadenan las floraciones de las cianobacterias planctónicas son diversos y actúan en forma combinada (Aubriot *et al.*, 2009). Cada floración está formada por una o unas pocas especies, que pueden producirse por periodos que van desde unas pocas horas hasta unos pocos días y desaparecen en un lapso de tiempo similar, sin embargo, algunas floraciones de cianobacterias pueden persistir durante períodos más largos, como todo el verano, todo el año o incluso de forma permanente (Aubriot *et al.*, 2009; Davis *et al.*, 2009).

#### **1.1.5. Factores que regulan la proliferación de las cianobacterias**

Su crecimiento en el medio natural depende de su capacidad para optimizar el uso de los recursos (luz y nutrientes) y minimizar las pérdidas de biomasa mediante la sedimentación hacia regiones afólicas (donde no se produce la fotosíntesis y es arrastrada por las corrientes de agua), así como interacciones de nutrientes (Aubriot *et al.*, 2009). Se encontró que diferentes especies de cianobacterias se correlacionan positivamente con diferentes parámetros de calidad del agua ( $\text{NO}_3^-$ , fósforo total, turbidez y temperatura) (Harris *et al.*, 2016).

Las características fisiológicas y ecológicas que facilitan la dominancia de las cianobacterias en los ecosistemas acuáticos están influenciado por:

#### **1.1.5.1 Disponibilidad de la luz y distribución en la columna de agua**

Su adaptabilidad a intensidades de luz bajas o extremadamente altas, las cianobacterias pueden crecer en condiciones no óptimas para el fitoplancton en general; asimismo, pueden acceder a condiciones favorables para el crecimiento por su capacidad de regular su posición en la columna de agua alterando la proporción de pigmentos accesorios (ficobilinas) para aumentar la absorción de la luz en el espectro visible (400 a 700 nm) (Aubriot *et al.*, 2009; Meichtry *et al.*, 2009).

Una condición esencial para el crecimiento continuo del fitoplancton es minimizar la tasa de hundimiento para prolongar su permanencia en la zona de excitación (Aubriot, 2009). Las cianobacterias reguladoras de la flotabilidad alcanzan una profundidad de 2 a 4 m en unas pocas horas, cuando están en profundidad, consumen elementos almacenados que actúan como lastre y reforman la bolsa de aire, cerrando el ciclo de flotabilidad (Aubriot *et al.*, 2009; Lanzarot, 2008; Meichtry *et al.*, 2009).

Aubriot *et al.* (2009) menciona que de acuerdo a las condiciones de mezcla y estabilidad de la columna de agua y la frecuencia de la estratificación y mezcla de la misma, podemos encontrar tres grupos de cianobacterias planctónicas formadoras de floraciones las acumulativas: crecen en superficie formando grumos o acúmulos visibles en condiciones de estratificación y estabilidad de la columna de agua por períodos prolongados; dispersivas: forman floraciones en condiciones de mezcla continua y Semi-acumulativas: aparecen en ambientes donde ocurre estratificación por períodos de días a semanas.

#### **1.1.5.2 Temperatura**

El aumento de la temperatura es uno de los principales factores que influyen en la proliferación de cianobacterias en aguas dulces en todo el mundo (Zhang *et al.*, 2021). El incremento de la temperatura del agua por encima de los 20°C favorece el desarrollo de las cianobacterias (tasa máxima de crecimiento entre

25 y 30°C), ya que incrementa las tasas de reproducción celular y de crecimiento (Aubriot *et al.*, 2009; De León, 2002; Roset *et al.*, 2001). Por encima del rango de temperatura óptima ocurre una disminución abrupta de la tasa de crecimiento (Aubriot *et al.*, 2009).

La presencia de cianobacterias mantiene una correlación positiva con la temperatura del agua, siendo dominantes a 24°C en todas las proporciones de Nitrógeno: Fósforo (N: P) inferiores a 20µM/L. también se ha establecido que estos organismos consiguen una mayor tasa de crecimiento con temperaturas más altas que las diatomeas y clorofíceas (Lanzarot, 2008).

Las temperaturas elevadas han exacerbado las floraciones masivas de cianobacterias en muchos ecosistemas acuáticos, favoreciendo la proliferación y el predominio de las cianobacterias, ya que las cianobacterias crecen mejor que las diatomeas o algas verdes a altas temperaturas (Zhang *et al.*, 2021). La dinámica de las floraciones de cianobacterias en los lagos pequeños y medianos de todo el mundo está cambiando más rápidamente debido a los cambios en regímenes de temperatura, incluyendo el calentamiento de las aguas superficiales y una fuerte estratificación (Wilkinson *et al.*, 2020).

### **1.1.5.3. Disponibilidad de nutrientes**

El protoplasma celular de las cianobacterias, requiere de aproximadamente 20 elementos químicos para la formación de la nueva biomasa, algunos de ellos son necesarios en grandes cantidades (H, C, O y N) y otros en cantidades relativamente pequeñas (P, S, K, Na, Ca, Mg y Cl); un conjunto de nutrientes que intervienen en el metabolismo (ej.: estructura de enzimas) son requeridos en concentraciones de traza (Si, Fe, Mn, Mo, Cu, Co, Zn, etc.) (Aubriot, 2009).

Los nutrientes claves para el desarrollo de estos organismos son el Nitrógeno (N) y el Fósforo (P) (De León, 2002). Los altos requerimientos de fosfato ( $PO_4^{3-}$ ) por el fitoplancton combinado con un suministro ambiental restringido en relación a los otros nutrientes, determina que normalmente el

P sea el principal elemento limitante del crecimiento fitoplanctónico en ambientes límnicos (Fabre *et al.*, 2010).

Se identifico al fósforo (P) como la causa principal de la proliferación de cianobacterias de agua dulce, mientras que los estudios más recientes se han centrado en la función del nitrógeno (N) y han demostrado que el N desempeña un papel igual que el P para limitar el crecimiento de estas algas, además el crecimiento de la floración responde con mayor frecuencia a la adición de N que a P (Zhang *et al.*, 2021).

El crecimiento del fitoplancton requiere la incorporación de una cantidad de nutrientes inorgánicos del ambiente (relación Nitrógeno:Fósforo inferior a 20  $\mu\text{M/L}$ ), en la misma proporción que porcentaje en la célula; las necesidades de las células están relacionadas con su composición atómica (Fabre *et al.*, 2010; Lanzarot, 2008).

La relación estequiométrica es C:N:P=106:16:1, conocido como relación de Redfield (1958). Cuando el suministro de nutrientes del medio ambiente se desvía de esta proporción, se producen deficiencias y restricciones del crecimiento celular. Una relación baja (p. ej.,  $N/P < 10 > 20$ ) indica una posible limitación de fósforo; cuando no se cumplen estas condiciones, la proliferación desaparece y da lugar a otros organismos (Aubriot, 2009; De León, 2002). Todas las especies se correlacionan positivamente con los niveles de  $\text{NO}_3$  y TP. En general, se sabe que los niveles más altos de fósforo (P) favorecen a las cianobacterias las que presentan una tendencia positiva en su desarrollo (Davis *et al.*, 2009; Harris *et al.*, 2016).

Se ha demostrado que los niveles más altos de fósforo producen un mayor contenido de microcistina por célula en algunas cianobacterias, sin embargo, el nitrógeno (N) puede ser igualmente importante en la aparición de floraciones de cianobacterias tóxicas que no fijan N, como *Microcystis* sp.; ningún estudio de campo ha examinado la forma en que los nutrientes afectan directamente el crecimiento de las cepas tóxicas y no tóxicas de las cianobacterias dentro de las poblaciones silvestres (Davis *et al.*, 2009).

#### 1.1.5.4. pH

De León (2002) destaca que las aguas duras (pH alcalino) como una de las causas que favorecen y controlan el desarrollo de las floraciones de cianobacterias Al igual Roset *et al.* (2001) mencionan que dichos organismos tienen una mayor facilidad del crecimiento en ambientes dulceacuícolas, cuando las aguas son alcalinas o neutras con pH entre 6 y 9. *Oscillatoria* un género que está fuertemente correlacionada positivamente con el pH (Harris *et al.*, 2016). Además este desarrollo de cianobacterias influye drásticamente en la calidad del agua y aumenta notablemente la turbidez del agua y altera el equilibrio ácido-base (Zhang *et al.*, 2021).

#### 1.1.6. Efectos de las floraciones de cianobacterias

Un aspecto muy importante es la presencia de metabolitos secundarios en muchos de los taxones que, en algunas ocasiones, pueden ser tóxicos para los otros organismos de los ecosistemas, incluyendo los humanos; estos metabolitos secundarios tóxicos se denominan genéricamente cianotoxinas y se clasifican por los efectos que producen en los organismos como: inhibición de las proteínas-fosfatasa hepáticas (hepatotoxinas) y la transmisión nerviosa (neurotoxinas) (Bonilla, 2009; Cirés & Quesada, 2011). Consideran que entre el 50% y el 75% de las proliferaciones que se producen son tóxicas, además, una misma especie puede tener cepas productoras y no productoras de toxinas (Lanzarot, 2008).

Se ha comprobado que la producción de toxinas varía con el ciclo de vida del organismo: poblaciones senescentes (ej.: con 30 días de cultivo) producen entre 8 y 15 veces más toxinas que las poblaciones de un día; en muchos casos, condiciones ambientales de estrés pueden estimular la producción de toxinas (Bonilla, 2009).

Las cianotoxinas están presentes en el interior de la célula, siendo liberadas al medio en situaciones de lisis o ruptura celular, lo que ocurre en el proceso de senescencia natural o por acción de factores ambientales (Bonilla, 2009; Roset *et al.*, 2001).

#### 1.1.7. Efectos sobre la salud humana y animal

En el hombre las cianotoxinas pueden causar desde ligeros malestares digestivos hasta muerte por asfixia y deshidratación; algunas de estas toxinas, son promotoras

de tumores o probables carcinogénicos y de hecho existe una fuerte correlación entre cáncer primario de hígado y la contaminación con cianobacterias de las fuentes de agua dulce que utiliza la población, siendo las principales rutas de exposición a cianobacterias y sus toxinas el contacto directo con las partes expuestas del cuerpo, incluyendo partes sensibles como oídos, ojos, mucosas, etc.; ingesta de agua, inhalación de agua, en áreas recreacionales, ingesta de alimentos contaminados con cianotoxinas y pastillas dietéticas a base de cianobacterias tales como *Aphanizomenon* sp. o *Spirulina* sp. contaminadas con cianotoxinas (Andrinolo & Caneo, 2009).

## 1.2. Antecedentes

Montoya *et al.* (2015) en su estudio de las especies cianobacteriales, formadoras potenciales de floraciones en el lago Titicaca (Perú); se describió la situación en la bahía de Puno del lago Titicaca, afines del verano del 2013 y 2014. La consecuencia de la eutroficación es la presencia de una alta producción cianobacterial macroscópica de floraciones en la bahía. La especie *Microcystis aeruginosa* que es de distribución común y productora de toxinas está muy desarrollada y otras especies potenciales de floraciones está dado por las especies *Limnographis robusta* y *Nodularia inca* que ocurren en las comunidades litorales, esta parece ser especial y característico solo para el lago Titicaca.

Lozano *et al.* (2008) Cianoalerta: estrategia para predecir el desarrollo de cianobacterias; se desarrolló métodos para la pronta detección de blooms específicos de cianobacterias. El análisis de la evolución estacional de zeaxantina y beta-caroteno presenta una dinámica muy similar a la evolución de las poblaciones de las cianobacterias *Oscillatoria* sp, *Anabaena* sp. y formas cocoides de cianobacterias, y diferente a la evolución de *Microcystis* sp. los valores más altos de clorofilas y carotenoides totales se obtuvieron en el periodo de junio a octubre, meses en los que la radiación lumínica es óptima. La dinámica en la evolución de los carotenoides totales fue muy similar a la de clorofila total. Así, para el pantano Choça Queimada se vio un bloom de *Oscillatoria* sp. En este período se observaron concentraciones de nitrato bajas, en coherencia con el mayor consumo debido al crecimiento de microalgas. La mayor irradiancia lumínica y las temperaturas elevadas en superficie son factores que pueden provocar fotoinhibición, y una ralentización o inhibición del crecimiento, que, unido a la capacidad de las cianobacterias

de formar vesículas de gas para disponerse a la altura adecuada en la columna de agua, hace que se encuentren sus poblaciones a mayores profundidades durante estos periodos.

Quirós (2004) en su reporte sobre las cianobacterias en lagos y embalses de Argentina: década del 80; presenta un panorama sobre la distribución de cianobacterias en la zona pelágica de lagos y embalses. La información utilizada corresponde al pico de la estación de crecimiento, para el período 1984–1987. Este estudio fue la primera información extensiva de 98 lagos y embalses, abarcando prácticamente todo el territorio de Argentina. Siendo la abundancia de cianobacterias significativamente mayor en los lagos y embalses poco profundos. Demás la abundancia de cianobacterias estuvo directamente con la biomasa algal, las concentraciones de nutrientes totales, la alcalinidad total del agua y la abundancia de peces planctívoros visuales. Mientras tanto, su relación fue inversa y significativa con la transparencia del agua y la profundidad de los ambientes.

Loreto *et al.* (2004) reportaron la influencia del nitrato sobre la producción de biomasa, pigmentos y proteínas de la cianobacteria *Anabaena* sp. PCC 7120; Se determinó el efecto de la concentración de nitrato sobre el crecimiento, contenido de pigmentos, proteínas y peso seco de la cianobacteria *Anabaena* sp PCC 7120. Se obtuvo que, a 8 mM de nitrato, se produjeron los máximos valores de densidad celular, clorofila a, ficocianina y proteínas con  $202.4 \pm 3 \times 10^6$  cel/mL,  $17.41 \pm 1.20$ ;  $174.28 \pm 16.19$  y  $563.8 \pm 2.74$   $\mu$ g/mL respectivamente, con diferencia significativa ( $P > 0.05$ ). Es decir, el crecimiento, contenido de ficocianina, clorofila a y de proteínas obtenido a 8mM fue de 3.3; 1.6; 2.0 y 1.6 veces superior a los cultivos iniciados con 2 mM. Estos resultados demostraron también que, *Anabaena* sp PCC 7120 puede crecer sin nitrógeno y que la producción de biomasa, peso seco, ficocinainia, clorofila a y proteínas es estimulada con la concentración de nitrato en el medio de cultivo con el siguiente orden ascendente:  $0 < 1 < 2 < 4 < 8$  mM.

Sarmiento (1984) reporto los nutrientes: nitrógeno y fosforo en la Bahía de Puno, durante el año de 1982, para la zona de Ojerani, en donde los nitratos se registraron con valores de 0.034 mg/L y los fosfatos de 0.031 mg/L.

Belon (2002) evaluó la bahía interior de Puno, durante los meses de mayo - agosto del 2001, reportando para la zona limpia ubicada al frente de chimú; un promedio de la transparencia de 5 metros, la temperatura de 12.2 °C, el oxígeno disuelto de 7.01 mg/L, el pH de 8.5, los nitritos de 0.011 mg/L y los fosfatos de 0.103 mg/L.

Turpo y Sanga (2013) en su estudio en la bahía de Puno del lago Titicaca durante el 2011, registro variaciones de la transparencia de 4.50 a 5.75 metros, la temperatura de 13.4 a 15.6 °C, el oxígeno disuelto de 6.3 a 7.24 mg/L, el pH de 8.2 a 8.9, los nitritos de 0.008 a 0.017 mg/L, los nitratos de 0.060 a 0.162 mg/L y los fosfatos de 0.063 a 0.161 mg/L.

Paredes (2013) en su estudio realizada durante los meses de setiembre del 2012 a enero del 2013, para la zona de Chimu, registro una temperatura de 14 a 18 °C, el pH de 8.03 a 8.85, los nitritos de 0.006 a 0.036 mg/L y los nitratos de 0.78 a 6.30 mg/L.

Turpo (2015) en su investigación de la calidad del agua de la bahía de Puno del lago Titicaca, para la zona entre Chimu a Parina del 2013. Describió valores promedios de una transparencia de 4.90 metros, una temperatura de 15.1 °C, con oxígeno disuelto de 7.63 mg/L, un pH de 8.6, con nitritos de 0.006 mg/L, con nitratos de 0.058 mg/L y con fosfatos de 0.069 mg/L; en cual le otorga un calificativo de polución moderada del agua para dicha zona.

Beltrán *et al.* (2015) evaluaron la calidad acuática de la bahía interior de Puno, durante diciembre del 2010 a abril del 2011. Reportaron que la transparencia promedio superficial del agua fue de 1.43 m (variando desde 0.37 hasta 2.5m), una temperatura entre 17.4 a 14.6, el promedio de la concentración de oxígeno disuelto en el agua fue de 6.62 mg/L, los valores de pH fue de 9.43, las concentraciones de nitratos fueron menores a 0.13 mg/L, las concentraciones de nitritos fueron menores a 0.18 mg/L y el promedio del valor del fosfato registrado fue de 1.04 mg/L.

Quispe (2016) evaluó el comportamiento del oxígeno disuelto y los parámetros fisicoquímicos en la Bahía Interior de Puno durante julio a noviembre del 2014; registrando la concentración de oxígeno se encontró sobresaturado de 7.63 a 11.19 mg/L, a temperaturas del agua de 19 a 22 °C y dentro de un pH de 8.37.

Callata (2015) evaluó el estado actual de la calidad ambiental del cuerpo de agua de la Bahía Interior de Puno, reportando que, la temperatura del agua oscilo entre 13 y 15.60 °C, la transparencia llegó hasta 0.81 m, el pH del agua en la superficie entre 8.86 a 9.63, el oxígeno disuelto presentó valores de 2.10 a 3.28 mg/l, para los nitratos 2.085 mg/l y fosfatos 0.333 mg/l; las mismas que corresponden a zonas cercanas a la isla Espinar y Muelle de Puno.

Iquise (2017) su evaluación de la Bahía Exterior (Chimu) y Bahía Interior (Isla Espinar), durante enero a junio del 2016, determino para la zona de la Bahía Exterior (Chimu), que la transparencia promedio del agua fue de 5.12 m, la temperatura con un rango de 12 a 18.9 °C, el oxígeno disuelto con un promedio de 6.53 mg/L, el pH vario de 7.99 a 8.92 a diferencia de los valores obtenidos para la zona de la Bahía Interior (Isla Espinar), donde la transparencia promedio del agua fue 1.04 m, la temperatura entre 9.2 a 19.4 °C, el oxígeno disuelto un promedio de 6.72 mg/L, el pH vario de 7.98 a 9.6; la investigación sugiere una diferencia entre la calidad del agua entre ambas zonas evaluadas, ya que los efectos de la eutrofización de la zona de la Bahía Interior de Puno.

Escobar (2019) su estudio de las condiciones físico-químicas del agua en la Bahía de Puno en el área de producción de truchas en Cusipata - Chucuito, llevado a cabo en julio 2017 a setiembre del 2018; reporto una temperatura del agua que entre 12.3 a 17° C y un promedio de mensual alrededor de 14.4 °C, el pH oscilo entre 8.24 a 9.09 y promedio de 8.79, el oxígeno disuelto estuvo en el rango de 6.00 a 7.65 mg/L con un promedio de 6.81, los nitratos entre 0 a 0.64 mg/L y fosfatos entre 0 a 0.28 mg/L. por ende las tendencias de crecimiento de la actividad productiva de truchas en el lago, comprometerán la calidad de agua y su sustentabilidad del Titicaca.

Lozano *et al.* (2008) reportaron un bloom de *Oscillatoria* sp. durante el mes de junio de 2004, en este período se observaron concentraciones de nitrato bajas, en coherencia con el mayor consumo debido al crecimiento de microalgas en el pantano Choça Queimada en la que se desarrollan las poblaciones de las cianobacterias como *Oscillatoria* sp. y *Anabaena* sp.

Loreto *et al.* (2004) reportan una Influencia del nitrato sobre la producción de biomasa, pigmentos y proteínas de la cianobacteria *Anabaena* sp.

Chen *et al.* (2019) mencionan para las cianobacterias, el nitrógeno (N) exógeno que ingresa a las células debe convertirse en amonio para su asimilación, lo que convierte al amonio en la fuente de N más energéticamente favorable. Por lo tanto, *M. aeruginosa* debería crecer mejor en amonio y urea que en nitrato. Sin embargo, se demuestra que el crecimiento de *M. aeruginosa* no está estrechamente relacionado con la forma de N sino con sus concentraciones.

Zhou *et al.* (2020) concluyen que la privación de N es con frecuencia el factor limitante en el crecimiento celular de las cianobacterias, y las cianobacterias deben adaptarse a los períodos de limitación de N y estrés; las cianobacterias experimentan cambios sustanciales en respuesta a la ausencia de N y exhiben estrategias sofisticadas que permiten la supervivencia durante largos períodos en condiciones de estrés por N.

Fabre *et al.* (2010) y Lanzarot (2008) mencionan que el crecimiento de fitoplancton requiere de la incorporación de nutrientes inorgánicos del medio (proporciones de Nitrógeno: Fósforo (N: P) inferiores a  $20\mu\text{M/L}$ ), en similar proporción a la que contiene la célula.

Stal & Heyer (1987) mencionan que las cianobacterias que forman heterocistos se consideran mejor adaptadas a la fijación de nitrógeno en condiciones fototróficas aeróbicas y oxigenadas; *Oscillatoria* sp., una especie filamentosa, no heterocistosa, fijadora de nitrógeno aeróbico se encontró que inicialmente colonizaba sedimentos, las cianobacterias de fijación de nitrógeno no heterocistosas, y su fijación se da solo durante el período oscuro, también en luz continua, si los individuos se adaptaron previamente.

Ren *et al.* (2020) menciona que la frecuencia e intensidad de las floraciones de *Microcystis* continuar aumentando en lagos eutróficos, como los lagos Taihu y Chao en China. Por lo tanto, por otro lado, una mayor disponibilidad de Fósforo (P) podría mejorar la producción de actividad de carotenoide y ficocianina de las células de *M. aeruginosa* bajo radiación UV.

Ren *et al.* (2020) la mayor disponibilidad de Fósforo (P) podría mejorar la producción de actividad de carotenoide y ficocianina de las células bajo radiación UV, el P en la células funciona para aliviar los efectos negativos inducidos por los rayos UV y mantener su crecimiento, por lo tanto, los procesos de adaptación a los rayos UV dan una demanda elevada de P, lo que conduce a mayores tasas de absorción de P y una cuota de P celular para las células radiadas por UV en condiciones moderadas y de alto fosforo inorgánico disuelto.

Wachi *et al.* (1995) demostraron que *Oscillatoria* sp. produce glucósido de biopterina en cantidades que reflejan la intensidad de UV-A, por lo que tiene una función de filtro solar inducible que protege al organismo de los efectos adversos de estos rayos, por lo que es posible que el glucósido de biopterina de *Oscillatoria* sirva no solo para proteger a las

células del daño biológico causado por los rayos UV-A solares, sino también para atrapar esta energía para su uso en la fotosíntesis.

Gao & Brown (2007) mencionan que la presencia de radiación ultravioleta (UVR) reduce significativamente la frecuencia de heterocistos, lo que refleja un efecto inhibitorio sobre la diferenciación de las células vegetativas en heterocistos.

Zhang *et al.* (2021) mencionan que la temperatura será el factor principal para mejorar la proliferación de cianobacterias, por ejemplo, *Microcystis*, que son las cianobacterias formadoras de floraciones más frecuentes, crece lentamente por debajo de los 20° C pero alcanza una tasa de crecimiento máxima a aproximadamente 30° C, además, las altas temperaturas pueden fortalecer la estratificación vertical del agua dulce, en estas condiciones, varias especies de cianobacterias pueden flotar hacia la superficie del agua debido a la flotabilidad de las vesículas de gas intracelulares y absorber la mayor parte de la radiación solar, lo que resulta en una mayor dominancia.

Kinga *et al.* (2019) dan a conocer que la temperatura es uno de los principales factores abióticos que limitan el crecimiento de las cianobacterias en un entorno natural, los cambios de temperatura en el medio ambiente pueden inducir daños en los organismos vivos, por lo tanto, las especies fotoautótrofas deben poder aclimatarse a las condiciones de temperatura, *Anabaena* tolera un amplio rango de calidad de luz, para su mejor crecimiento se da entre las temperaturas de 23 y 30 °C y el tiempo de duplicación es de alrededor de 24 h.

Lanzarot (2008) la presencia de cianobacterias mantiene una correlación positiva con la temperatura del agua, siendo dominantes a 24°C en todas las proporciones de Nitrógeno: Fósforo (N: P) inferiores a 20µM/L.

Aubriot *et al.* (2009) su crecimiento en los ambientes naturales depende de su capacidad de optimizar la utilización de los recursos (luz y nutrientes) y minimizar las pérdidas (depredación, sedimentación hacia zonas afóticas donde no se realiza fotosíntesis y el lavado por arrastre de las corrientes de agua) de biomasa, así como también de las interacciones tróficas.

Bouma-gregson *et al.* (2017) las cianobacterias planctónicas a menudo experimentan una separación espacial entre la luz y la disponibilidad de nutrientes en aguas estratificadas, con mucha luz y pocos nutrientes cerca de la superficie del agua, y altos nutrientes y poca



luz en aguas más profundas. Para acceder a estos recursos esenciales, muchas cianobacterias planctónicas migran entre las aguas superficiales y de fondo regulando su flotabilidad con la formación de vesículas de gas para aumentar la flotabilidad; las especies coloniales, como *Microcystis*, y las especies filamentosas, como *Dolichospermum*, (anteriormente *Anabaena*, utilizan estos mecanismos para moverse hacia arriba y hacia abajo a través de la columna de agua.

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1. Identificación del problema

En la actualidad, la eutrofización es uno de los problemas que mayor impacto tiene sobre los cuerpos de agua y el medio ambiente, el constante vertimiento de desechos sólidos y líquidos en lagos y lagunas ha propiciado el desarrollo de este complejo problema en los cuerpos de agua alrededor del mundo siendo un fenómeno complejo que involucra factores climáticos, físicos y biológicos que conducen a cambios en la diversidad y abundancia de especies y el Lago Titicaca no es la excepción.

Teniendo este efecto focalizado en la bahía interior de Puno, dándose estos hechos porque la ciudad de Puno cuenta con una laguna de estabilización para el tratamiento de aguas servidas con problemas de acolmatamiento de sus posas de sedimentación que lo convierten ineficiente en el tratamiento de las aguas servidas, a ello se suma el vertimiento directo de aguas residuales a través de desagües clandestinos por la población de la ciudad de Puno y sumado a esto las características de la zona de aguas someras y de baja corriente, da como resultado aguas altamente contaminadas y forma una de las zonas del Lago Titicaca con alto nivel de antropización. Estos problemas muy latentes y sin una solución política evidente de la contaminación de la bahía interior se extiende día a día, ya no solo en puntos focalizados, sino en una buena fracción de la bahía de Puno.

Este problema no solo se concentra en la bahía interior de Puno; los últimos años se presenta un riesgo latente y sinérgico cerca a la toma de agua de Chimu, esto por el hecho del incremento poblacional de los últimos años de las islas flotantes de los Uros que está asentada en el canal que desemboca en este punto de la toma de agua. Es de conocimiento

que estas islas tienen 3000 pobladores, con más de 48 islas flotantes y 10 casas de totora por isla, que hacen un aproximado de 300 familias en dichas islas; los Uros a comparación de otras islas no practican actividades agrícolas ni ganaderas y solo actividades extractivas de la totora y fauna aledaña, motivo por el cual no pueden explotar estos recursos para su beneficio, por las cuales su principal ingreso es por el turismo local, nacional e internacional. Por tal hecho la cantidad de personas que conforman estas islas y el turismo que la visitan, hacen que las aguas residuales que se vierten directamente a este canal (rio Willi) sea de volúmenes alarmantes que llegan de forma directa o indirectamente a la toma de agua de Chimu; poniendo así en riesgo el agua potable para la ciudad de Puno.

Además, se suma dentro de esta área la producción extensiva e intensiva de la truchicultura en la zona de Chucuito. Hay en promedio cada truchicultor, cuenta con 10 julas construidas artesanalmente a base de palos, redes, sogas, cilindros de plástico y algunos módulos estructurales, debidamente acondicionados en las que producen no menos de 10 toneladas. Siendo esta actividad una de las mayores fuentes de nitrógeno por excretas y alimento no aprovechado por las truchas que se acumulan en el fondo o son arrastradas por el oleaje y finalmente se acumula en el cuerpo de agua, las mismas que en un largo plazo hacen un proceso de eutrofización, modificando así las características fisicoquímicas del agua y poniendo en riesgo el ecosistema y la fuente de agua para la población y la misma actividad económica.

Todo esto conlleva a una modificación de los parámetros físicos químicos de las aguas de forma directa haciendo un cambio en la composición de las distintas comunidades de los microorganismos en la habia de Puno; favoreciendo así a una dominancia de ciertas especies como las cianobacterias y sobre todo en las especies que tienen una producción cianobacterial macroscópica como *Microcystis aeruginosa* y con potenciales de floraciones como *Limnoraphis robusta* y *Nodularia inca*. Este tipo de evento puede producir impactos contraproducentes para los recursos pesqueros causando mortalidad de peces por la limitación de oxígeno producidas por estas altas biomasas de microorganismos de las especies de *Nodularia* sp., *Oscillatoria* sp. que afectan a ejemplares de mayor tamaño de *Odontesthes bonariensis*, así también tiene un efecto negativo desde un punto de escenario paisajístico que afectaría al turismo nacional e internacional.

## 2.2. Enunciados del problema

### 2.2.1. Problema general

- ¿Cuáles son los factores del agua que caracterizan a las cianobacterias de la bahía de Puno, lago Titicaca?

### 2.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las variables fisicoquímicas del hábitat de las cianobacterias de la bahía de Puno?
- ¿Qué cianobacterias existen en la bahía de Puno?
- ¿Cuáles son las densidades de cianobacterias en la bahía de Puno?
- ¿Cuál es la relación de los factores fisicoquímicos en las cianobacterias de la bahía de Puno?

## 2.3. Justificación

Las cianobacterias son más abundantes en aguas eutrofizadas, la consecuencia de este fenómeno hace la presencia de una alta producción cianobacterial macroscópica de floraciones en la bahía de Puno y que ocurren en las zonas litorales. Estos microorganismos tienen importancia en el medio acuático, en especial en esta zona y las limitadas investigaciones sobre estos microorganismos en el lago Titicaca, hace esencial esta investigación para conocer aspectos del agua que estas ligadas a la presencia o ausencia de estos microorganismos.

Es necesario analizar las especies de cianobacterias y la variabilidad de la abundancia en relación con las variaciones de los aspectos fisicoquímicos del agua, de modo que esta información pueda utilizarse para elaborar estrategias que impidan un mayor crecimiento de las cianobacterias. Por lo cual estos datos serán una herramienta importante para la conservación de la bahía de Puno, razón que nos permitirá establecer un mejor conocimiento de las diferentes especies que conforman las cianobacterias, aparte de las que ya se tienen en los pocos registros para la bahía de Puno. Además, estos resultados aportarán a los estudios sobre cianobacterias e investigación científica, que servirá de apoyo para el desarrollo de nuevas investigaciones orientadas a la búsqueda de

cianobacterias y los parámetros que intervienen en el desarrollo potenciales de floraciones en la bahía de Puno.

Estos datos repercutirán también en el aspecto económico de la población ribereña de la zona, para la toma de decisiones en cuanto a su producción piscícola intensiva, reduciendo los riesgos de mortalidad de producción y permitiendo de esta manera que las cianobacterias no tengan un efecto directo en la productividad, las mismas que será un riesgo menos que tomar en cuenta en la producción piscícola. Así también en cuanto al riesgo de contaminación por cianotoxinas o densidad de las mismas en el aspecto de la potabilización de agua de la captación de Chimu, siendo así los que se beneficiarán directamente con esta investigación en un nivel preventivo, teniendo una mejor calidad de vida de las familias circunlacustres.

## **2.4. Objetivos**

### **2.4.1. Objetivo General**

- Evaluar los factores del agua que caracterizan a las cianobacterias de la bahía de Puno, lago Titicaca.

### **2.4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las variables fisicoquímicas del hábitat de las cianobacterias de la bahía de Puno.
- Identificar las cianobacterias de la bahía de Puno.
- Determinar las densidades de las cianobacterias en la bahía de Puno.
- Determinar la relación de los factores fisicoquímicos con las cianobacterias en la bahía de Puno.

## **2.5. Hipótesis**

### **2.5.1. Hipótesis General**

- Existen factores que caracterizan a las cianobacterias en la bahía de Puno, lago Titicaca.



### 2.5.2. Hipótesis Específica

- Ha: las variables fisicoquímicas describen el hábitat de las cianobacterias en la bahía de Puno.
- Ha: La composición de las cianobacterias son diferentes entre las estaciones de evaluación en la bahía de Puno.
- Ha: Las densidades de las cianobacterias son diferentes entre las estaciones de evaluación en la bahía de Puno.
- Ha: Las cianobacterias se relacionan con los factores fisicoquímicos en la bahía de Puno.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de estudio

El lago Titicaca es el segundo lago más grande y navegable de Sudamérica ( $15^{\circ}13' - 16^{\circ}36' S$ ,  $68^{\circ}34' - 70^{\circ}02' W$ ) con una superficie de aproximadamente  $8\,400\text{ km}^2$ , y un volumen de  $930\text{ km}^3$  y localizado a una altitud de  $3\,810\text{ m}$  sobre el nivel del mar. Comprende el Lago Mayor ( $6\,500\text{ km}^2$ ), donde se encuentra la máxima profundidad de  $284\text{ m}$ , el Lago Pequeño ( $1\,400\text{ km}^2$ ) que cubre  $16\%$  de la superficie total, con una profundidad media entre  $20$  y  $30\text{ m}$ , y está conectado al Lago Mayor a través del estrecho de Tiquina y una tercera area representada por la Bahía de Puno, con  $500\text{ km}^2$  (Chura-Cruz *et al.*, 2013). La bahía interior de Puno, está ubicada a  $15^{\circ}50'34'' S$   $69^{\circ}59'43'' W$ , tiene una extensión de  $16.1\text{ km}^2$ , una profundidad media de  $2.7\text{ m}$ . (Beltrán *et al.*, 2015).

En esta tercera área descrita, se distribuyeron tres estaciones de evolución, las cuales se ubicaron: uno en la zona de la bahía interior de Puno (E1), uno en Chimu cerca a la toma de agua de potabilización de Puno (E2) y otra en Chucuito Barco alrededores de las jaulas de producción truchicola (E3) (Fig.1).

Tabla 1

*Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo*

Zonas	Estación de monitoreo	Coordenada - X (Latitud)	Coordenada - Y (Longitud)	Profundidad (m)
Laguna Espinar	E1	15.84756	70.00026	2.5
Chimu	E2	15.85014	69.96108	8
Chucuito-Barco	E3	15.87433	69.89317	13

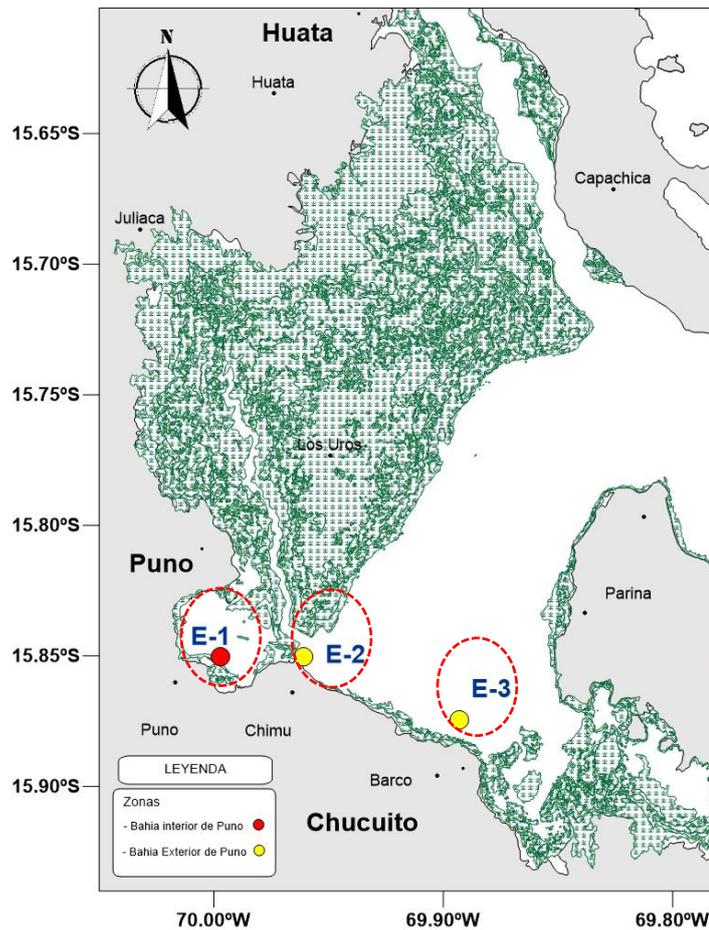


Figura 1. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo.

### 3.2. Población

La población que se estudio fue las cianobacterias existentes en la Bahía de Puno.

### 3.3.Muestra

El número de muestras que se tomó fue en tres estaciones por un periodo de 8 meses (febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto y octubre) haciendo un total de 24 muestreos durante el periodo de la investigación.

### 3.4.Método de investigación

La investigación fue de carácter descriptivo y analítico, con toma de datos en tres zonas diferentes. Se uso un método cuali-cuantitativo, el cual se realizó tanto en campo y en laboratorio, que se fundamenta en el uso de procesos inducción y deducción y una relación causa y efecto que son fundamentales para la comprobación de las hipótesis.

### 3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

#### a) **Determinación de las variables fisicoquímicas del hábitat de las cianobacterias de la bahía de Puno**

Los parámetros fisicoquímicos en cuanto a la temperatura, transparencia, oxígeno disuelto, fosfatos, nitratos, nitritos y pH fueron analizados por el laboratorio de control de calidad del agua del Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca - PELT.

Para dichos parámetros fueron utilizados las siguientes metodologías

- Transparencia, con un disco secchi.
- La temperatura, el oxígeno disuelto y el pH, a través del uso de un multiparametro es HORIBA-U50.
- Fosfatos, a través del método espectrofotométrico – ácido ascórbico.
- Nitratos, a través del método espectrofotométrico – reducción con cadmio.
- Nitritos, a través del método espectrofotométrico – diazotación.
- El espectrofotómetro que usaron fue Spectrumlab 22c.

(APHA *et al.*, 2005; Barçante *et al.*, 2020; Harris *et al.*, 2016).

#### b) **Identificación de las cianobacterias de la bahía de Puno**

Para lo cual se desarrolló en tanto en el ámbito de campo y laboratorio.

Para el muestreo en campo, las cianobacterias se muestrearon a nivel cuantitativos y cualitativos; para el primer muestreo se hizo a nivel superficial, en dichos puntos ya mencionados se muestrearon con un envase transparente de 5 litros a nivel mencionado sin tener consideración de la profundidad que la estación presente; del envase se tomó todo el volumen. Finalmente, para el cualitativo se hizo un arrastre de la red en un transecto de 50 metros en el mismo punto de muestreo.

Todas estas muestras fueron filtradas con una red de 20  $\mu\text{m}$ , para su respectiva concentración en una sub muestra de 250 ml. La mismas que fueron fijadas *in situ* con formol al 2% en frascos previamente rotulados (tipo de monitoreo, estación, N°

de frasco, profundidad, fecha y hora) y fueron almacenadas en un cooler a temperatura promedio entre 4 y 10°C.

Para el análisis en laboratorio, las cianobacterias se realizó un análisis cualitativo y cuantitativo en el Laboratorio Programa Nacional de Innovación Agraria PNIA en el Anexo Salcedo. Para el análisis cualitativo se usó un microscopio trinocular compuesto con ocular micrométrico (NIKON ECLIPSE E200) a un aumento de 40X y 100X dependiendo del tamaño de los individuos a identificar; en las cuales se hicieron uso para la identificación de las claves dicotómicas descritas en Acleto, 1966; Acleto & Zúñiga, 1998; Aldave, 1989; Bellinger & Sigee, 2010; Bonilla, 2009; Liberman & Miranda, 1987; Polo & Herrera, 1979.

#### c) **Determinación de las densidades de las cianobacterias de la bahía de Puno**

Para el análisis en el laboratorio de las cianobacterias a nivel cuantitativo se empleó la cámara de recuento Sedgewick Rafter para contar partículas y microorganismos en 1 ml de agua. la cámara de 50 x 20 x 1 mm (= 1 cm<sup>3</sup>) es graduada con un retículo de 1 mm que subdivide 1 ml en 1000 µl y un cubreobjetos aprox. 60 x 30 x 1 mm. dichos resultados fueron expresados en ind/L. (Oliveira *et al.*, 1995).

Para la lectura, se homogeneizo el concentrado por agitación manual, cargando la cámara de Sedgwick Rafter con 1 mL de muestra, antes de comenzar el recuento dejar sedimentar los organismos aproximadamente por 10 min, comenzar la lectura desde la esquina superior izquierda de la cámara y desplazarse hacia el borde derecho y bajar un campo para contar otro transecto.

#### d) **Cálculo de la concentración de las cianobacterias**

$$C = (N \cdot A_t) / (A_b \cdot v)$$

Donde:

C = Concentración de células en la muestra (ind/ml).

N = Número de células contadas en el volumen “barrido”.

A<sub>t</sub> = Área total de la cámara de conteo.

v = Volumen de la muestra.

A<sub>b</sub> = Área “barrida”.

(Oliveira *et al.*, 1995).

### e) Determinación de la relación de los factores fisicoquímicos en las cianobacterias de la bahía de Puno

Se utilizó el coeficiente de correlación lineal de PEARSON, mediante el software INFOSTAT la cual mide el grado de asociación lineal entre dos variables medidas en escala de intervalo o de razón, tomando valores entre -1 y 1.

Valores próximos a 1 indicarán fuerte asociación lineal positiva o directa.

Valores cercanos a -1 indicarán fuerte asociación lineal negativa o inversa y

Valores próximos a 0 indicarán asociación no lineal) (Daza, 2006).

Como criterio orientador se suelen sugerir las valoraciones indicadas en la tabla 2.

Tabla 2

*Rangos de valoración.*

Grado de asociación (%)	Coefficiente de correlación (R)*	Calificación **
0 a 6	±0.00 a 0.25	Baja o ninguna correlación
7 a 25	±0.26 a 0.50	Correlación moderada baja
26 a 56	±0.51 a 0.75	Correlación moderada alta
57 a 100	±0.76 a 1.005	Alta a perfecta correlación

Fuente: Degró (2005)\* Martínez *et al.* (2009)\*\*

El coeficiente de correlación lineal se determinó mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

r = Coeficiente de correlación.

n = Número de pares ordenados.

x, y = Variable independiente y dependiente.

(Daza, 2006).

## f) Diseño estadístico

Se hizo uso de la estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis, en la que se desarrolló el análisis de varianza para ver conocer si existe la diferencia alguna entre las densidades de los meses (febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto y setiembre) y entre zonas (laguna Espinar, Chimu y Chucuito-Barco); los cuales proporcionaron 80 combinaciones o tratamientos en cuanto a sus clasificaciones ya mencionadas. Con la siguiente fórmula para estimar H es:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(n+1)$$

Donde:

k = número de muestras (tratamientos)

$n_j$  = número de casos en el tratamiento j-ésimo

$n = \sum n_j$  = número total de casos de todas las muestras

$\Sigma$  = sumatoria por j-ésima columna o tratamientos

j=1

(Quispe, 2009; Narváez, 2009)

## CAPÍTULO VI

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Determinación de las variables fisicoquímicas del hábitat de las cianobacterias de la bahía de Puno

A continuación, se presenta los registros de las tres estaciones en los ocho meses en cuanto a los parámetros físico químicos, las cuales se detallan de la siguiente manera:

##### a) Transparencia

La Laguna Espinar (E-1), reporto una mínima de 0.70 m. durante el mes de octubre, a su vez con la máxima de 2 m. en marzo y un promedio general de 1.29 m. Así mismo en Chimu (E-2), se reportó una mínima de 4.50 m. durante el mes de octubre, con una máxima de 7 m. en agosto (fig. 2) y un promedio general de 5.48 m. y finalmente para Chucuito-Barco (E-3), con una mínima de 6.10 m. en el mes de julio y con una máxima de 10.50 m. en febrero y con un promedio de 8.39 m. (Anexo 3). con bajas variaciones en los puntos de muestreos, sin embargo, con diferencias marcadas entre las tres zonas, donde la zona de la laguna Espinar presento una menor transparencia. Al respecto Moreta (2011) menciona que la transparencia en un lago eutrófico, la luz penetra con dificultad y el crecimiento de flora béntica productora de oxígeno se minimiza. La concentración de nutrientes presentes en el agua es la principal responsable de la alta productividad que resulta en la reducción de la penetración de la luz en el agua (Ramos, 2009). Y en lagos oligotróficos, la transparencia es mayor, por lo que la luz penetra con facilidad, favoreciendo el crecimiento de la flora béntica (Moreta, 2011).



Figura 2. Variación mensual de la transparencia en la bahía de Puno.

## b) Temperatura del agua

La Laguna Espinar (E-1), en dicha estación se reportó con una mínima de 11.23 °C. durante el mes de julio, a su vez con una máxima de 19.99 °C en marzo y un promedio general de 15.20 °C. Así mismo en Chimu (E-2), se registró una mínima de 11.77 °C durante el mes de julio, con una máxima de 18.12 °C en febrero (La fig. 3) y con un promedio general de 14.91 °C y finalmente para Chucuito-Barco (E-3), registro una mínima de 12.20 °C en el mes de julio y una máxima de 17.69 °C en marzo teniendo un promedio de 14.68 °C (Anexo 3). con bajas variaciones en las tres zonas de muestreos, sin embargo, con diferencias marcadas entre los puntos durante los meses de muestreo; donde la zona de la Laguna Espinar presento una marcada variación de la temperatura durante los meses de muestreo. Los lagos de las zonas tropicales con mayores altitudes presentan pequeñas diferencias verticales de temperatura (Richerson, *et al.*, 1975). La mezcla en un lago es provocada en gran parte por el viento, produciendo la transferencia de calor de la superficie a las capas inferiores lo que resulta en una estratificación que influye en el calentamiento de la capa superficial, haciendo diferenciar entre ambas capas (Moss, 1992). La relación entre la temperatura y el oxígeno disuelto es primordial en los estudios limnológicos, porque pueden presentarse variaciones verticales y horizontales, relacionadas con los cambios por la distribución de la luz (Quiroz *et al.*, 2008) y Moreta (2011) afirma que es el parámetro que más influencia tiene en los lagos, jugando un papel importante en la distribución, periodicidad y reproducción de los organismos y si estas bajan disminuyen la acción desnitrificante de las bacterias y no son aprovechados rápidamente y al permanecer en el agua, son aprovechados por el fitoplancton. Además,

la FAO (2008) señala que entre 18 y 22°C. es el rango óptimo para el desarrollo de la mayoría de microalgas.

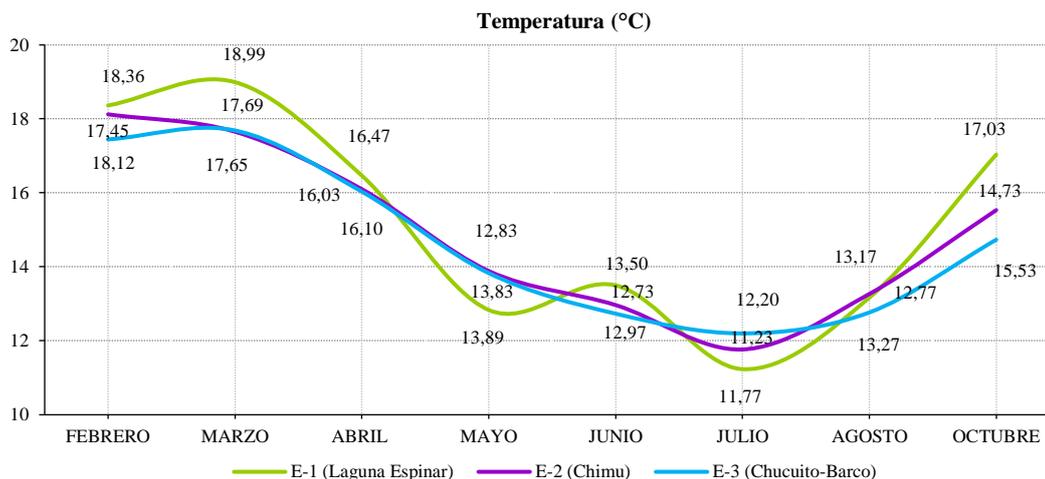


Figura 3. Variación mensual de la temperatura en la bahía de Puno.

### c) pH

La Laguna Espinar (E-1), se registró con una mínima de 8.67 durante el mes de mayo, a su vez con una máxima de 9.99 en octubre y un promedio general de 9.29; así mismo en Chimu (E-2), se registró una mínima de 8.36 durante el mes de marzo, con una máxima de 8.94 en octubre (fig. 4) y con un promedio general de 8.63 y finalmente para Chucuito-Barco (E-3), registro una mínima de 8.36 en el mes de mayo y una máxima de 8.89 en agosto, presentando así un promedio de 8.64 (Anexo 3). con bajas variaciones estacionales en los puntos durante los meses de muestreo y con diferencias marcadas entre las tres zonas de muestreos, en la que la zona de la Laguna Espinar presento una marcada variación y elevada concentración del pH. Es de asumir que los lagos eutróficos que son ricos en materia orgánica poseen valores de pH bajos y las aguas naturales con valores elevados que se debería a los caracteres de los suelos que atraviesa el agua (Moreta, 2011). Además, el pH tiene una variación según el mes de recolección, debido a que el agua tiene mayor concentración de iones de hidrógeno afectado por la sedimentación atmosférica (García *et al.*, 2019). Y para el desarrollo de microalgas la FAO (2009) señala que el rango óptimo está entre 7 y 9, a su vez Richmond (2008) y González (2000) señalan que valores por encima a estos causan muerte de las microalgas y también tiene efecto a la asimilación de ciertos minerales esenciales, lo que tendrían un efecto tóxico o inhibitorio para el crecimiento microalgal.

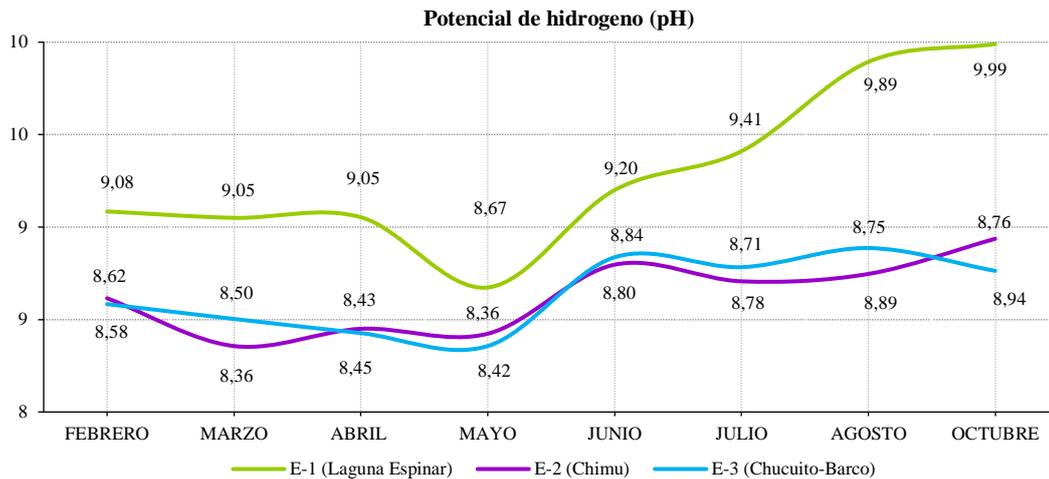


Figura 4. Variación mensual del pH en la bahía de Puno.

#### d) Oxígeno Disuelto

La estación E-1 (Laguna Espinar), se registró con una mínima de 4.14 mg/L durante el mes de marzo, una máxima de 13.33 mg/L en agosto y un promedio general de 9.37 mg/L; así mismo en Chimu (E-2), se registró una mínima de 4.90 mg/L durante el mes de octubre, con una máxima de 7.41 mg/L en mayo (fig. 5) y con un promedio general de 6.53 mg/L y finalmente para Chucuito-Barco (E-3), registro una mínima de 4.63 mg/L en el mes de octubre y una máxima de 7.59 mg/L en mayo, presentando así un promedio de 6.67 mg/L (Anexo 3). las dos zonas muestreos registraron bajas variaciones, sin embargo, la zona de la Laguna Espinar presento una marcada variación de oxígeno disuelto durante los meses de muestreo. Quiroz *et al.* (2008) y Moreta (2011) señalan, que esta condición pudo ser originada por un incremento de la luz solar que propicia mayor actividad fotosintética en superficie por una poblacional de organismos autótrofos, como también puede deberse al movimiento del agua en la superficie del sistema, generada por las condiciones climáticas; además, tomando en cuenta que los lagos poco profundos presentan una sedimentación de materia orgánica y una posterior descomposición de ésta, que el contenido de oxígeno disuelto sufre una disminución severa en el fondo del lago. Y es de considerar que el oxígeno atmosférico presenta una solubilidad del 35%, que se ve afectada de manera inversa por la temperatura (Quiroz *et al.*, 2008).

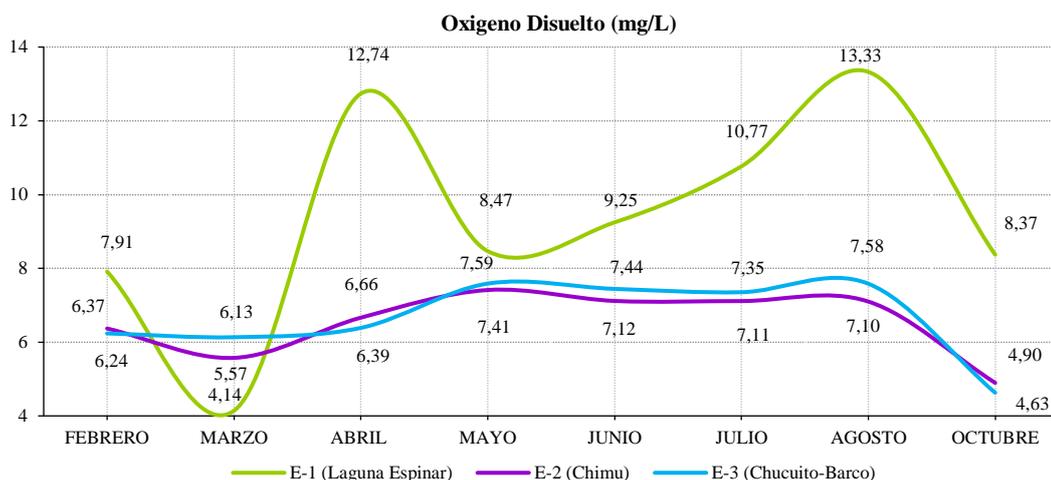


Figura 5. Variación mensual del Oxígeno disuelto (OD) de la bahía de Puno.

### e) Fosfatos

La Laguna Espinar (E-1), se registró con una mínima de 1.093 mg/L durante el mes de agosto, una máxima de 2.045 mg/L en marzo y un promedio general de 1.513 mg/L; así mismo en Chimu (E-2), se registró una mínima de 0.036 mg/L durante el mes de julio, con una máxima de 0.201 mg/L en octubre (fig. 6) y un promedio general de 0.103 mg/L y finalmente para Chucuito-Barco (E-3), registro una mínima de 0.034 mg/L en el mes de julio y una máxima de 0.133 mg/L en octubre, presentando así un promedio de 0.074 mg/L (Anexo 3). con variaciones en las tres zonas de muestreos, sin embargo, con diferencias marcadas entre los puntos durante los meses de muestreo; la zona de la Laguna Espinar presento una elevada concentración de fosfatos durante los meses de muestreo. Los fosfatos, constituyentes naturales de rocas y minerales, forman parte de fertilizantes, estiércol, de la materia orgánica proveniente de desechos urbanos y como también de los detergentes de uso doméstico; indicándonos la posibilidad de contaminación por aguas residuales, debido a que el fósforo se encuentra presente en cantidades altas en este tipo de aguas (Rodríguez *et al.*, 2016). En algunos ecosistemas el factor limitante es el fosfato, como sucede en la mayoría de los lagos de agua dulce, la gran cantidad de fosfatos estimula el crecimiento de fitoplancton, provocando la disminución de la del agua y aumenta así la descomposición de la materia orgánica (Moreta, 2011).

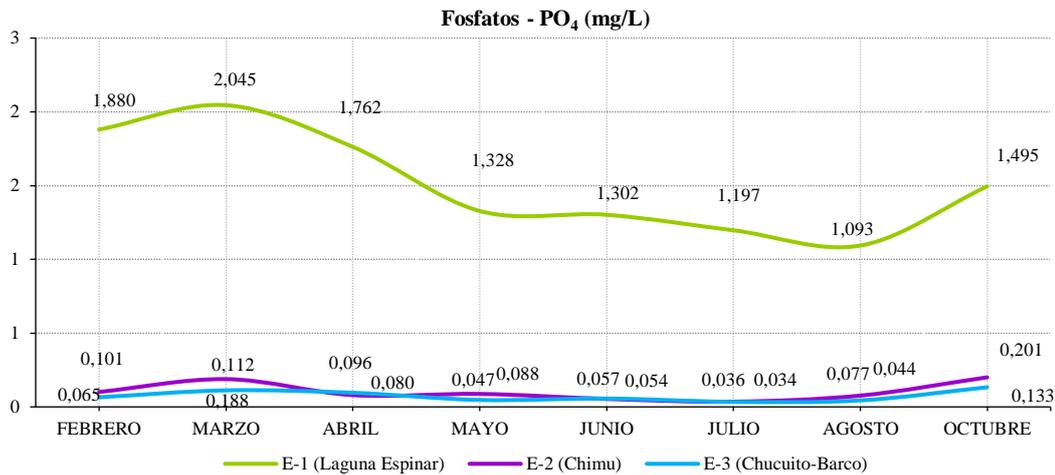


Figura 6. Variación mensual del Fosfatos (PO<sub>4</sub>) en la bahía de Puno.

### f) Nitritos

La Laguna Espinar (E-1), se registró con una mínima de 0.154 mg/L durante el mes de marzo, una máxima de 1.333 mg/L en octubre y un promedio general de 0.323 mg/L; así mismo en Chimu (E-2), se registró una mínima de 0.003 mg/L durante el mes de agosto, con una máxima de 0.021 mg/L en octubre (fig. 7) y un promedio general de 0.009 mg/L y finalmente para Chucuito-Barco (E-3), registro una mínima de 0.003 mg/L en el mes de agosto y una máxima de 0.082 mg/L en octubre, presentando así un promedio de 0.016 mg/L (Anexo 3). con bajas variaciones dentro de las tres zonas de muestreos, sin embargo, con diferencias marcadas entre los puntos durante los meses de muestreo sobre todo en la zona de la Laguna Espinar que presento el último mes con una marcada variación de la concentración de nitritos.

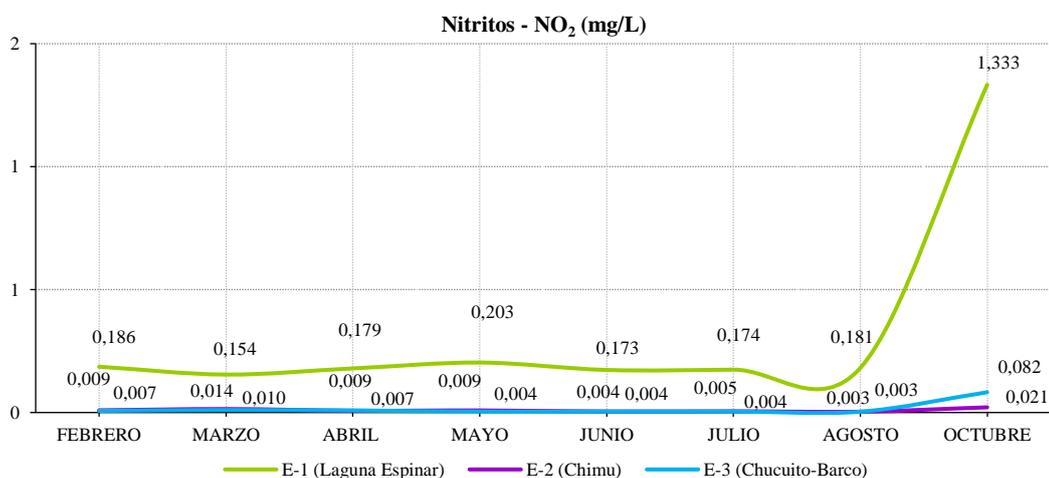


Figura 7. Variación mensual del Nitritos (NO<sub>2</sub>) en la bahía de Puno.

### g) Nitratos

La Laguna Espinar (E-1), se registró con una mínima de 0.014 mg/L durante el mes de abril, una máxima de 1.179 mg/L en octubre y un promedio general de 0.309 mg/L; así mismo Chimu (E-2), se registró una mínima de 0.002 mg/L durante el mes de febrero, con una máxima de 0.050 mg/L en octubre (fig. 8) y un promedio general de 0.014 mg/L y finalmente para Chucuito-Barco (E-3), registro una mínima de 0.002 mg/L en el mes de marzo y julio y una máxima de 0.113 mg/L en octubre, presentando así un promedio de 0.016 mg/L (Anexo 3). con bajas variaciones en las dos zonas de muestreos y una marcada variación de incremento los últimos meses de muestreo en zona de la Laguna Espinar.

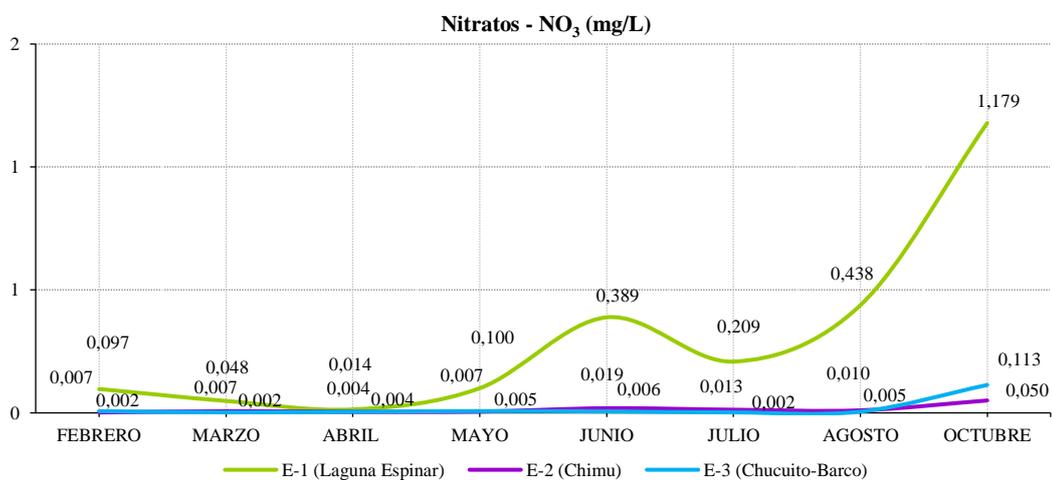


Figura 8. Variación mensual del Nitratos ( $\text{NO}_3$ ) en la bahía de Puno.

Los nitratos y nitritos son formas de nitrógeno presentes en los ecosistemas acuáticos, de estos tres, los nitratos son los que ambientalmente suponen un mayor riesgo ya que, al igual que el fósforo, pueden causar problemas de eutrofización (Rodríguez *et al.*, 2016). En los últimos 20 o 30 años las concentraciones de nitrógeno y fósforo en muchos lagos casi se han duplicado, la mayor parte les llega por los ríos y el nitrógeno es más móvil que el fósforo y puede ser lavado a través del suelo o saltar al aire por evaporación del amoníaco o por desnitrificación (Moreta, 2011). Siendo el nitrógeno importante en la aparición de floraciones de cianobacterias tóxicas que no fijan N, como *Microcystis* sp. (Davis *et al.*, 2009).

## 4.2 Identificación de las cianobacterias de la bahía de Puno

Se logró la identificación del grupo de las cianobacterias que se desarrollan en el ámbito de la bahía de Puno, las mismas que se detallan a continuación:

Tabla 3

*Especies identificadas de cianobacterias en la bahía de Puno.*

Especies	Laguna Espinar (E-1) ind/L							
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Oct
<i>Anabaena</i> sp.	x	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gomphosphaeria pusilla</i> (Van Goor) Komárek, 1958	-	x	-	-	-	-	-	-
<i>Lyngbya</i> sp.	-	x	-	-	-	-	-	-
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Kützing 1845	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing, 1846)	-	x	x	-	-	-	-	-
<i>Microcystis delicatissima</i> (W. y G. S. West) Starmach, 1966	-	x	-	-	-	-	-	-
<i>Nodularia harveyana</i> (Thwaites) Thuret, 1875	x	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oscillatoria</i> sp.	x	-	-	-	-	-	-	x
	Chimu (E-2) ind/L							
<i>Anabaena</i> sp.	x	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn 1895	-	-	-	-	-	x	-	-
<i>Anabaena sphaerica</i> Bornet & Flahault 1886	-	-	x	-	x	x	-	x
<i>Gomphosphaeria pusilla</i> (Van Goor) Komárek, 1958	x	-	-	-	x	x	-	-
<i>Limnoraphis robusta</i> (Paracutty)	-	-	-	-	x	x	-	-
<i>Lyngbya</i> sp.	x	-	-	-	-	-	-	-
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Kützing 1845	x	-	-	-	x	x	x	-
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing, 1846)	x	x	-	-	-	-	-	-
<i>Microcystis delicatissima</i> (W. y G. S. West) Starmach, 1966	x	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nodularia inca</i> Montoya, Komárková y Komárek, 2014	-	-	x	-	-	-	-	-
<i>Nodularia harveyana</i> (Thwaites) Thuret, 1875	-	-	-	-	x	x	-	x
<i>Nostoc</i> sp.	-	-	x	-	x	x	-	-
<i>Oscillatoria limosa</i> C.Agardh ex Gomont 1892	-	-	-	-	x	-	-	-
<i>Oscillatoria</i> sp.	x	x	-	-	-	x	x	x
	Chucuito-Barco (E-3) ind/L							
<i>Anabaena</i> sp.	-	x	-	-	-	-	-	-
<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn 1895	-	-	-	-	-	x	-	x
<i>Anabaena sphaerica</i> Bornet & Flahault 1886	-	-	-	-	x	x	x	-
<i>Gomphosphaeria pusilla</i> (Van Goor) Komárek, 1958	x	x	x	x	-	x	-	x
<i>Lyngbya</i> sp.	x	x	-	-	-	-	-	-
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Kützing 1845	-	-	-	-	x	x	-	-
<i>Microcystis delicatissima</i> (W. y G. S. West) Starmach, 1966	x	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nodularia inca</i> Montoya, Komárková y Komárek, 2014	-	-	x	-	-	-	-	-
<i>Oscillatoria limosa</i> C.Agardh ex Gomont 1892	-	-	-	-	x	-	-	-
<i>Oscillatoria</i> sp.	x	x	-	-	-	-	-	x

x = Presente, - = No presente

Tabla 4

*Ubicación taxonómica de las especies identificadas de cianobacterias.*

Taxa	Clasificación
DIVISIÓN	: Cyanophyta
CLASE	: Cyanophyceae
ORDEN	: Nostocales
FAMILIA	: Nostocaceae
GÉNERO	: Anabaena (S) <i>Dolichospermum</i>
ESPECIE	: <i>Anabaena</i> sp. : <i>Anabaena sphaerica</i> Bornet & Flahault 1886 : <i>Anabaena spiroides</i> Klebahn 1895
GÉNERO	: Nostoc
ESPECIE	: <i>Nostoc</i> sp.
FAMILIA	: Aphanizomenonaceae
GÉNERO	: Nodularia
ESPECIE	: <i>Nodularia harveyana</i> (Thwaites) Thuret, 1875 <i>Nodularia inca</i> Montoya, Komárková y Komárek, 2014
ORDEN	: Oscillatoriales
FAMILIA	: Oscillatoriaceae
GÉNERO	: Limnoraphis
ESPECIE	: <i>Limnoraphis robusta</i> (Paracutty) J.Komárek, E.Zapomelová, J.Smarda, J.Kopecký, E.Rejmánková, J.Woodhouse, B.A.Neilan & J.Komárková 2013 (S) <i>Lyngbya hieronymusii</i> f. <i>robusta</i> Parucutty 1940
GÉNERO	: Lyngbya : <i>Lyngbya</i> sp.
GÉNERO	: Oscillatoria
ESPECIE	: <i>Oscillatoria limosa</i> C.Agardh ex Gomont 1892 : <i>Oscillatoria</i> sp.
ORDEN	: Chroococcales
FAMILIA	: Microcystaceae
GÉNERO	: Microcystis
ESPECIE	: <i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing, 1846) : <i>Microcystis delicatissima</i> (W. y G. S. West) Starmach, 1966
FAMILIA	: Gomphosphaeriaceae
GÉNERO	: Gomphosphaeria
ESPECIE	: <i>Gomphosphaeria pusilla</i> (Van Goor) Komárek, 1958
ORDEN	: Synechococcales
FAMILIA	: Merismopediaceae
GÉNERO	: Merismopedia
ESPECIE	: <i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Kützing 1845

(S) Sinonimo

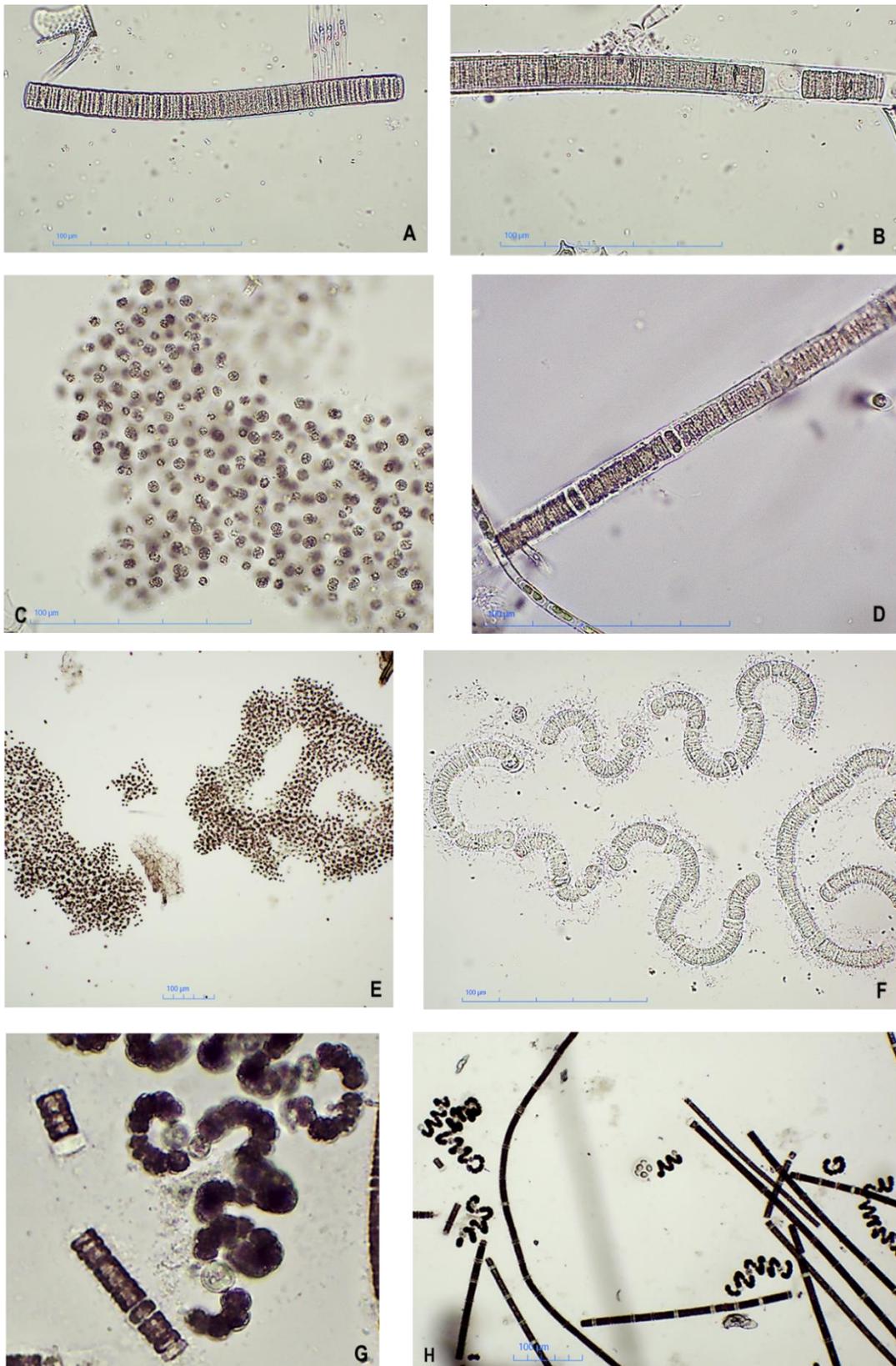


Figura 9. Fotos de algunas especies de cianobacterias: A: *Oscillatoria limosa*, B: *Limnoraphis robusta*, C y E: *Microcystis aeruginosa*, D y H: *Nodularia harveyana*, F: *Nodularia inca*, G y H: *Anabaena spiroides*.

#### 4.2.1. Características de las cianobacterias de la bahía de Puno

##### a) *Anabaena* sp.

Alga filamentosa rectos solitaria, células esféricas a cuadradas, de 2.4-3  $\mu\text{m}$  de diámetro contenido celular homogéneo, planctónica o agrupada formando masas amorfas; tricomas rectos flexuosos o espiralados, con células esféricas en forma de barril o subcilíndricas; con heterocistos y aquinetos intercalares, heterocistos ligeramente más anchos que las células vegetativas (hasta 3.5  $\mu\text{m}$  de diámetro), acinetos cilíndricos de 4.8-5  $\mu\text{m}$  de ancho y 7-7.2  $\mu\text{m}$  de largo. Viven como planctónicas en aguas dulces, originan floraciones acuáticas (Acleto & Zúñiga, 1998; Nava-ruiz & Valadez, 2012).

Tricomas solitarios o agrupados en clusters e incluso formando matas; más o menos curvados, hasta flexuosos y/o espiralados; isopolares, no atenuados o ligeramente atenuados hacia los extremos; células redondeadas o redondeado-cónicas, con o sin aerotopos, con estructuras celulares diferenciadas a partir de células vegetativas, heterocistos y acinetos, intercalares; planctónicas, suelen formar floraciones evidentes como manchas de pintura y como espumas (Aguilera & Hansen, 2011).

Filamentos individuales, haces o esteras micro o macroscópicas en plantas de agua sumergidas. Los tricomas son rectos, doblados o enrollados, isopolares, paraheterocíticos, contraídos o sin restricción en las paredes transversales. La vaina, si está presente, suele ser difusa e incolora. Las células son esféricas, ovals, en forma de barril, cilíndricas con contenido homogéneo a granular, azul-verde a verdoso, las especies plancticas contienen vesículas de gas. Los heterocitos son intercalares, esféricos, ovals a cilíndricos, homogéneos, incoloros a amarillentos, con paredes visiblemente más gruesas. Los akinetes son intercalares y varían de casi esféricos a ovals, reniformes, cilíndricos y crecen solitarios o en cadenas cortas (hasta cinco). Las células se dividen perpendicularmente al eje del tricoma. Los tricomas se reproducen por fragmentación y germinación de akinete en partes cortas (hormogonia) (Casamatta & Hasler, 2016).

El género se dividió recientemente en *Anabaena* sensu stricto (principalmente especies perifíticas sin vesículas de gas), *Dolichospermum* (principalmente especies plancticas con vesículas de gas) y *Sphaerospermum* (planctico con vesículas de gas) (Casamatta & Hasler, 2016).

**b) *Anabaena sphaerica* Bornet & Flahault 1886**

Células cortas y cilíndricas de 4 x 4 µm, con constricciones entre ellas. Tricomas rectos, de 80-200 µm de longitud, a veces vacuolados; heterocitos, esféricos, terminales e intercalados; se observaron akinetos con una cobertura cuadrangular. Esta especie, fijadora de nitrógeno, aparece cuando la relación N/P disminuye, sobre todo tras un aumento estival del biovolumen total, y se presenta como alternativa a la asociación *Planktothrix-Limnothrix* o tras ella, cuando éstas han disminuido la relación N/P y el nitrógeno puede ser escaso (Ortega-mayagoitia & Rojo, 2000).

**c) *Anabaena spiroides* Klebahn 1895**

Fig. 9-G; presentan tricomas moniliformes, espirales regulares a desordenadas, solitarios a enredos, vueltas 23-48 µm de alto, 15.3-33.5 µm de diámetro. Vaina ancha amplia, hialina mucilaginoso, difluente, 13.4-17.2 µm de espesor. Células esféricas, subesféricas hasta forma de barril, 6.5-10.0 µm de diámetro, aerótopos presentes. Heterocitos esféricos a subesféricos, 6-10 µm de diámetro. acinetos ovales aislados y en algunos casos ausentes, raramente en pares distantes de los heterocitos (Nogueira *et al.*, 2011).

**d) *Nostoc* sp.**

Los tricomas de esta alga tienen células globulares o en forma de barril, como cuencas, entrecruzados; los estuches individuales son confluentes, formando el mucilago común, constituyendo formas coloniales esféricas laminares o amorfas, delimitada externamente por una membrana semejantes a una película. Las coloniales son macroscópicas con más de 5cm. De diámetro; presentan heterocistos intercalares y akinetos solitarios o en serie, viven en ambientes húmedales y acuáticos dulces (Acleto & Zúñiga, 1998).

Talos gelatinosos, mucilaginosos o coriáceos; globosos (hueco o compacto), foliosos, filiformes o lobulados; generalmente macroscópicos; se encuentran como colonias (esféricas, lobuladas, irregulares) de varios colores (amarillento, verde, verde oliva, parduzco). Peridermo más o menos denso y rígido. Tricomas, generalmente numerosos, uniseriados, entrelazados o dispuestos radialmente. Vaina individual de los tricomas difluente o visibles, incoloras o coloreadas. Células esféricas o subesféricas hasta cilíndricas. Heterocistos globosos, intercalares. Acinetos esféricos u oblongos, ligeramente alargados hasta cilíndricos, solitarios o en series, cercanos o alejados al heterocisto, y se desarrollan apoheterocyticales, a menudo en cadenas cortas. Las células

son esféricas o en forma de barril, a menudo claramente granuladas. Acuáticos, subaéreos o terrestres; fijos o libres (Aguilera & Hansen, 2011; Casamatta & Hasler, 2016).

Los filamentos son isopolares, metaméricos, generalmente rodeados por una vaina distinta o diferente. El mucílago de colonias antiguas a veces incorpora pigmentos de colores intensos como la escitomemina o la gloeocapsina. Los tricomas isopolares generalmente están contraídos o ligeramente contraídos en las paredes transversales. El ciclo de vida es complicado e incluye varias etapas de diferente morfología, desde etapas unifilamentarias hasta grandes colonias macroscópicas multifilamentosas. La hormogonía ocurre después de la desintegración de tricomas en partes cortas y principalmente durante la germinación del akinete (Casamatta & Hasler, 2016).

e) *Nodularia harveyana* (Thwaites) Thuret, 1875

Fig. 9-D, son filamentos libres, largos, uniseriados. Tricomas constrictos, a nivel de los tabiques. Vaina hialina, tenue e incolora con una coloración verde oliva. Células discordes más o menos infladas. Los filamentos y los tricomas son isopolares, con heterocistos intercalares comprimidos, discoides, algo más anchos que las células vegetativas y largas. Acinetos globosos, subglobosos o disciformes, intercalares, de mayor tamaño que los heterocistos, comúnmente dispuestos en series, contiguos o no al heterocisto, Planctónicas Dimensiones celulares:  $6.9 \mu\text{m}$  (6.3-7.7) x  $4.1 \mu\text{m}$  (3.1-4.5). Hábitat: se encuentra sobre macroalga roja no identificada (Aguilera & Hansen, 2011; Muñoz, 2012).

f) *Nodularia inca* Montoya, Komárková y Komárek, 2014

Fig. 9-F, filamentos solitarios, enrollados irregularmente, rara vez solo flexuosos, hasta corto y densamente contorsionados, de 7-8  $\mu\text{m}$  de ancho. Tricomas cilíndricos, ligeramente contraídos en las paredes transversales, envueltos por una envoltura delgada, incolora y a menudo indistinta. Células siempre más cortas que anchas, usualmente de 2.5-3  $\mu\text{m}$  de largo, con contenido granular e inclusiones pequeñas, negruzcas, puntiagudas, similares a aerótopos; células finales ampliamente redondeadas. Heterocitos rectangulares con extremos redondeados,  $\pm$  hialino, intercalar y solitario, raramente en posición terminal,  $3.5-5 \times \pm 8 \mu\text{m}$ , en posición terminal un poco más largo. Akinetos no observado, pero todos los caracteres morfológicos correspondían a los especímenes plancticos del género *Nodularia*. Reproducción por hormogonia corta. Hábitat: planctico

y metafítico en el litoral de islas flotantes en la bahía de Puno, Lago Titicaca, Perú (Montoya *et al.*, 2015).

**g) *Lyngbya* sp.**

Este género es similar al de *Oscillatoria*, pero tiene un estuche mucilaginoso firme, estratificado paralelamente con respecto al tricoma. Los filamentos presentan hormogonios. Viven formando masas flotantes o adheridas a diversos substratos en agua dulce, salubre o marina (Acleto & Zúñiga, 1998).

Talo a menudo expansivo, coriáceo, grande, postrado. Filamentos rectos, rara vez ondulados y solitarios. Las vainas obligatorias que son firmes, delgadas o gruesas, pueden ser laminadas, de incoloras a amarillentas o rojizas, que contienen tricomas móviles simples; filamentos raramente con ramificaciones falsas, típicamente  $\geq 6.8 \mu\text{m}$ . Las células son discoideas, siempre más cortas que largas (hasta 1/15 tan largas como anchas, pero rara vez se acercan a isodiamétricas), solo rara vez con aerótopos. Células apicales generalmente con células externas engrosadas o con una caliptra. Reproducción a través de la desintegración del tricoma en una hormogonía móvil corta (Casamatta & Hasler, 2016).

**h) *Limnoraphis robusta* (Paracutty) J.Komárek, E.Zapomelová, J.Smarda, J.Kopecký, E.Rejmánková, J.Woodhouse, B.A.Neilan & J.Komárková 2013 (S) O *Lyngbya hieronymusii* var. *Robusta*)**

Fig. 9-B es una especie tropical, filamentosa, relativamente grande (filamentos de casi 20  $\mu\text{m}$  de ancho), planctónica, no ramificada, no heterocítica con vesículas de gas en las células. Los aerótopos relativamente pequeños se distribuyen dentro del volumen de las células en segmentos de la mayoría de los filamentos, y la especie contiene una gran cantidad de varios carotenoides, lo que provoca la coloración amarillo-marrón de la floración masiva de esta especie; En estas poblaciones no se detectaron genes de toxinas y no se confirmó la cianotoxicidad, pero se demostró la intensa fijación de nitrógeno en condiciones anaeróbicas (en la noche), lo que provoca el aumento de las condiciones adecuadas para otras cianobacterias posiblemente tóxicas (Montoya *et al.*, 2015).

**i) *Oscillatoria* sp.**

Los tricomas son unicelulares, rectos, ondulados o espiralados; solitarios o agrupados; sus células son cilíndricas o discoideles; la apical con el extremo libre redondeado; con numerosos hormogonios. Habitación en agua dulce formando natas de color y aspecto característico (Acleto & Zúñiga, 1998).

Filamentos rectos a ligeramente curvados, solitarios, sin vaina u ocasionalmente una muy fina vaina se observa. Tricomas constituidos, mayormente, por células cilíndrico-discoides, ligeramente constrictas o no a nivel de los tabiques y que se enangostan hacia el extremo o no. Células terminales con o sin caliptra. Con aerotopos. Planctónicas; forman floraciones acumulativas y evidentes como manchas de pintura, películas flotantes y espumas (Aguilera & Hansen, 2011).

Talo plano, a menudo visible, liso, a menudo verde azulado verdoso, verde a oliva, delgado. Los tricomas a menudo son isopolares, rectos, cilíndricos, pueden ser enroscados u ondulados; móvil, con deslizamiento, oscilación y rotación. Tricomas más grandes (típicamente  $\geq 6.8 \mu\text{m}$ ), constreñidos o no, células discoides, siempre más de 2 veces más cortas que anchas (pueden ser 3-11  $\times$ ),  $\pm$  gránulos prominentes, nunca con aerótopos. Vainas ausentes, pero poco frecuentes en condiciones adversas. Reproducción por desintegración de tricomas en hormogonia corta, empleando necridios (Casamatta & Hasler, 2016).

**j) *Oscillatoria limosa* C.Agardh ex Gomont 1892**

Fig. 9-A, posee tricomas móviles, rectos, extensos no atenuados hacia los extremos, formando masas flotantes, septos sin restricciones, a menudo gránulos, célula terminal redondeada con un ligero engrosamiento en la membrana, células vegetativas ápices no atenuados o ligeramente atenuados, rectos o ligeramente curvado. Celdas más cortas que largas, 2-6  $\mu\text{m}$  de longitud, 10.0- 20  $\mu\text{m}$  de ancho, contenido granular, sin aerotopo. Célula apical cilíndrica redondeada sin caliptra; hábitat: se encuentra sobre fondos de arena fina. (Muñoz, 2012; Nogueira *et al.*, 2011).

**k) *Microcystis aeruginosa* (Kützing, 1846)**

Fig. 9-C, son colonias micro a macroscópicas, esféricas, ovales a irregulares, globulares o alargadas; algunas especies clatradas. Vaina general mucilaginosa, incolora, desde lisa

homogénea a lamelada, indistinguible a evidente por refracción. Sin vaina celular. Células esféricas a hemiesféricas luego de la división celular, con a sin aerotopos. División celular por fisión binaria en tres planos perpendiculares; pequeñas y simples cuando son jóvenes. Reproducción por desintegración de las colonias, luego más grandes, conteniendo varias colonias internas dentro de la vaina común; Vaina siempre presente, de consistencia gelatinosa o algo mucosa, poco o muy evidente. Células esféricas de 3-7  $\mu\text{m}$  de diámetro, provistas de pseudovacúolas, especialmente en las colonias maduras; Planctónicas; forman floraciones acumulativas y evidentes como mancha de pintura y espumas (Aguilera & Hansen, 2011; Guarrera *et al.*, 1987).

La población forma colonias macroscópicamente visibles, flotantes y típicas. de *Microcystis* del lago Titicaca corresponde morfológicamente a otras poblaciones similares de esta especie de las costas occidentales de los continentes americanos y evidentemente pertenece al genoma cosmopolita (Montoya *et al.*, 2015).

**l) *Gomphosphaeria pusilla* (Van Goor) Komárek, 1958**

Colonia globosa, o reniforme; sus células ovoides, o piriformes se disponen en un solo nivel, próximas a la superficie colonial, con el extremo angosto orientado hacia el centro; estuche colonial firme y hialino (Acleto & Zúñiga, 1998).

Colonias esféricas o irregulares, comúnmente compuestas por subcolonias. Vaina general fina y difluente. Células oviformes, cuneiformes o cordiformes, reunidas entre sí por tractos mucilaginosos y distribuidas radialmente hacia la periferia de la colonia, formando varios niveles a medida que crece la misma. Tractos difluentes hacia el centro de la colonia. Sin vesículas gaseosas. División celular en dos planos perpendiculares y reproducción de la colonia por desintegración. Planctónicas (Aguilera & Hansen, 2011).

**m) *Merismopedia glauca* (Ehrenberg) Kützing 1845**

Colonia plana, cuadrangulares o laminar, de una célula de espesor; las células son ovoides cilíndricas, esféricas o bien hemiesféricas, dispuestas en hileras perpendiculares entre sí; estuche colonial homogéneo, formadas por 16-64 células dispuesta en líneas ortogonales hialino, casi imperceptible; después de la división; de color verde-azulado pálido de 3-6  $\mu\text{m}$ .; Planctónica en aguas dulces y salobres (Acleto & Zúñiga, 1998; Guarrera *et al.*, 1987).

Dentro de la investigación se logró, mediante las claves dicotómicas en los diferentes trabajos de investigación y libros la identificación de 13 especies cosmopolitas y una que se identificó hasta el momento solo para el lago Titicaca *Nodularia inca*, las mismas que se encuentran agrupadas en 6 familias (Nostocaceae, Aphanizomenonaceae, Oscillatoriaceae, Microcystaceae, Gomphosphaeriaceae y Merismopediaceae) dentro de 4 órdenes (Nostocales, Oscillatoriales, Chroococcales y Synechococcales) de la división Cyanophyta.

#### 4.3 Determinación de las densidades de las cianobacterias de la bahía de Puno

Las densidades de las distintas especies dentro de las estaciones evaluadas tuvieron el siguiente registro:

En la Laguna Espinar se registró entre 8 a 9.555 ind/L, con *M. aeruginosa* con mayor densidad durante marzo y abril, por otro lado, en marzo y octubre *Oscillatoria* sp. tuvo la menor densidad (Tabla 5). Las mismas especies son reportadas por Montoya *et al.* (2015) quienes describen la situación en la bahía de Puno, afines del verano del 2013 y 2014. con la especie de *M. aeruginosa* que es de distribución común y productora de toxinas está muy desarrollada y quien afirma que la consecuencia de la eutrofización es la presencia de una alta producción cianobacterial macroscópica de floraciones en dicha zona.

Por otro lado Lozano *et al.* (2008) reporto especies que se poseen similar desarrollo para ámbitos de pantano Choça Queimada en la que vio un bloom de *Oscillatoria* sp. y *Microcystis* sp.. En este período observó concentraciones de nitrato bajas, en coherencia con el mayor consumo debido al crecimiento de microalgas.

*M. aeruginosa* es una especie formadora de floración de agua más peligrosas con respecto a su producción de compuestos de toxinas y alta producción de biomasa macroscópica, en la bahía de Puno, la población de *Microcystis* ya se desarrolla y esta combinada con otros indicadores de contaminantes en el agua como *Lemna* sp., la prevención de un mayor desarrollo de esta comunidad (vegetación combinada de *Lemna* con *Microcystis*) solo es posible mediante la eliminación de la contaminación del lago, mediante la restricción total de la entrada de desechos de las crecientes poblaciones ribereñas, la regulación del creciente turismo mediante el control de residuos (Montoya *et al.*, 2015).

Las floraciones de algas nocivas formadas en agua eutrófica por el brote y el crecimiento de *M. aeruginosa* puede destruir el paisaje ecológico, conducir a el desequilibrio del ecosistema acuático y poner en peligro la salud humana (Yuan *et al.*, 2019). *Microcystis* a menudo tienen como floraciones superficiales que encuentran mayor irradiancia, es asumido que este género debería verse más negativamente afectado por la radiación UV. Sin embargo, la frecuencia e intensidad de las floraciones de *Microcystis* continuar aumentando en lagos eutróficos, como los lagos Taihu y Chao en China. Por lo tanto, por otro lado una mayor disponibilidad de Fósforo (P) podría mejorar la producción de actividad de carotenoide y ficocianina de las células de *M. aeruginosa* bajo radiación UV (Ren *et al.*, 2020); compuesto que se encuentra disponible en esta zona.

Para las cianobacterias, el nitrógeno (N) exógeno que ingresa a las células debe convertirse en amonio para su asimilación, lo que convierte al amonio en la fuente de N más energéticamente favorable. Por lo tanto, *M. aeruginosa* debería crecer mejor en amonio y urea que en nitrato. Sin embargo, se demuestra que el crecimiento de *M. aeruginosa* no está estrechamente relacionado con la forma de N sino con sus concentraciones (Chen *et al.*, 2019).

El género de *Microcystis* podría crecer bien en condiciones limitantes de N, esto sugiere que, cuando las floraciones de algas ocurrían sin suficiente aporte exógeno de nitrógeno, una concentración de N ambientalmente relevante de 0.5 mg/L no podía sostener el crecimiento a largo plazo de *M. aeruginosa*, sin importar qué compuesto nitrogenado se usara como fuente de N (Chen *et al.*, 2019). La inanición de nitrógeno (N) en *M. aeruginosa* se relaciona con la posibilidad de formación de floración y su producción de toxinas. La privación de N es con frecuencia el factor limitante en el crecimiento celular de las cianobacterias, y las cianobacterias deben adaptarse a los períodos de limitación de N y estrés; las cianobacterias experimentan cambios sustanciales en respuesta a la ausencia de N y exhiben estrategias sofisticadas que permiten la supervivencia durante largos períodos en condiciones de estrés por N (Zhou *et al.*, 2020).

Las estrategias para la flotabilidad para las especies coloniales, como *Microcystis*, y las especies filamentosas *Anabaena*, migran entre las aguas superficiales y las del fondo regulando su flotabilidad con la formación de vesículas de gas para aumentar la flotabilidad y la formación de gránulos densos de hidratos de carbono para disminuir la

flotabilidad para desplazarse hacia arriba y hacia abajo a través de la columna de agua en cuestión de minutos y la flotación se mantiene durante días (Bouma-gregson *et al.*, 2017).

Frente a Chimu se registró entre 1 a 885 ind/L con las especies con mayor densidad a *Oscillatoria* sp., *Lyngbya* sp. y *Anabaena* sp. Respectivamente todos estos registros durante febrero, por otro lado, las especies de *Nostoc* sp. y *M. glauca* registraron las menores densidades entre febrero y agosto. Por otro lado, frente a Chucuito-Barco se registró desde 1 a 1.912 ind/L con las especies con mayores densidades a *A. sphaerica* y *Oscillatoria* sp. todos estos registros durante marzo, junio y julio, por lo contrario *M. glauca* registro la menor densidad entre junio y julio (Tabla 5).

Lozano *et al.*,(2008) reportaron un bloom de *Oscillatoria* sp durante el mes de Junio de 2004, en este período se observaron concentraciones de nitrato bajas, en coherencia con el mayor consumo debido al crecimiento de microalgas en el pantano Choça Queimada en la que se desarrollan las poblaciones de las cianobacterias como *Oscillatoria* sp. y *Anabaena* sp.; además (Loreto *et al.*, 2004) reporta una Influencia del nitrato sobre la producción de biomasa, pigmentos y proteínas de la cianobacteria *Anabaena* sp.

Se ha demostrado que *Oscillatoria* sp. produce glucósido de biopterina en cantidades que reflejan la intensidad de UV-A, por lo que tiene una función de filtro solar inducible que protege al organismo de los efectos adversos de estos rayos, por lo que es posible que el glucósido de biopterina de *Oscillatoria* sirva no solo para proteger a las células del daño biológico causado por los rayos UV-A solares, sino también para atrapar esta energía para su uso en la fotosíntesis (Wachi *et al.*, 1995).

Además, las cianobacterias que forman heterocistos se consideran mejor adaptadas a la fijación de nitrógeno en condiciones fototróficas aeróbicas y oxigenadas; *Oscillatoria* sp., una especie filamentosa, no heterocistosa, fijadora de nitrógeno aeróbico se encontró que inicialmente colonizaba sedimentos, las cianobacterias de fijación de nitrógeno no heterocistosas, y su fijación se da solo durante el período oscuro, también en luz continua, si los individuos se adaptaron previamente (Stal & Heyer, 1987).

Se conoce que *Oscillatoria* del ámbito perifítico (OP) es fisiológicamente superior a la *Oscillatoria* de vida libre o flotante en la actividad fotosintética y la absorción de fosforo, lo que podría estimular la proliferación de OP y la formación rápida de esteras de *Oscillatoria* en condiciones de luz mejoradas y nivel de fosforo reducido durante el

proceso de la eutrofización. Además, los macrófitos pueden ser sustratos adecuados para la colonización de algas filamentosas. Algunos sustratos macrófitos podrían promover el crecimiento obvio de *Oscillatoria*, pero otros causan inhibición (Zhang *et al.*, 2020).

Las floraciones de cianobacterias de agua dulce son asociadas con aguas eutróficas, se sugieren que la eutrofización, especialmente por fósforo, a menudo conduce a cambios significativos en la composición de las especies de fitoplancton hacia las cianobacterias formadoras de floraciones (El *et al.*, 2008). Además, la carga de nutrientes junto con el clima cálido pueden favorecer el crecimiento de cianobacterias en los cuerpos de agua dulce, varios de los cuales pueden producir cianotoxinas, especialmente microcistinas, las mismas que pueden ser producidas por *Microcystis* sp., *Anabaena* sp., *Nostoc* sp., *Oscillatoria* sp. (El *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2021).

La temperatura es uno de los principales factores abióticos que limitan el crecimiento de las cianobacterias en un entorno natural, los cambios de temperatura en el medio ambiente pueden inducir daños en los organismos vivos, por lo tanto, las especies fotoautótrofas deben poder aclimatarse a las condiciones de temperatura, *Anabaena* tolera un amplio rango de calidad de luz, para su mejor crecimiento seda entre las temperaturas de 23 y 30 °C y el tiempo de duplicación es de alrededor de 24 h. (Kinga *et al.*, 2019). Por lo tanto, la elevación de temperatura sugiere que las células de *Anabaena* a 30 y 37 °C están sujetas a un estrés oxidativo inducido por la temperatura que requiere la síntesis mejorada de compuestos protectores (Kinga *et al.*, 2019). Por otro lado, la presencia de radiación ultravioleta (UVR) reduce significativamente la frecuencia de heterocistos, lo que refleja un efecto inhibitorio sobre la diferenciación de las células vegetativas en heterocistos (Gao & Brown, 2007).

Las densidades fueron afectadas por diversos factores en la evaluación, para lo cual se realizó el análisis de varianza para un  $\alpha=0.05$  en la que se obtuvo  $P=0.05$ , lo que implica que dentro de los 8 meses en las estaciones de evaluación si existe diferencia significativa a un nivel de confianza del 95%, es decir que durante los meses de evaluación las poblaciones de cianobacterias en cuanto a sus densidades fueron diferentes hablando en cuanto a su dinámica (Tabla 5). Y dentro del análisis de contraste de Dunn agrupa a los meses de febrero y marzo con las mayores densidades, mayo y agosto con las menores densidades y las demás con densidades medias.

Tabla 5

*Densidad de las especies de cianobacterias registradas.*

Especies	Laguna Espinar (E-1) ind/L							
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Oct
<i>Anabaena</i> sp.	118	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gomphosphaeria pusilla</i>	-	25	-	-	-	-	-	-
<i>Lyngbya</i> sp.	-	58	-	-	-	-	-	-
<i>Merismopedia glauca</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Microcystis aeruginosa</i>	-	9555	381	-	-	-	-	-
<i>Microcystis delicatissima</i>	-	163	-	-	-	-	-	-
<i>Nodularia harveyana</i>	71	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oscillatoria</i> sp.	5284	-	-	-	-	-	-	17
	Chimu (E-2) ind/L							
<i>Anabaena</i> sp.	767	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anabaena spiroides</i>	-	-	-	-	-	128	-	-
<i>Anabaena sphaerica</i>	-	-	35	-	10	27	-	9
<i>Gomphosphaeria pusilla</i>	59	-	-	-	3	131	-	-
<i>Limnoraphis robusta</i>	-	-	-	-	3	10	-	-
<i>Lyngbya</i> sp.	560	-	-	-	-	-	-	-
<i>Merismopedia glauca</i>	1	-	-	-	1	1	2	-
<i>Microcystis aeruginosa</i>	15	254	-	-	-	-	-	-
<i>Microcystis delicatissima</i>	15	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nodularia inca</i>	-	-	18	-	-	-	-	-
<i>Nodularia harveyana</i>	-	-	-	-	3	7	-	4
<i>Nostoc</i> sp.	-	-	1	-	1	1	-	-
<i>Oscillatoria limosa</i>	-	-	-	-	3	-	-	-
<i>Oscillatoria</i> sp.	885	25	-	-	-	13	9	4
	Chucuito-Barco (E-3) ind/L							
<i>Anabaena</i> sp.	-	30	-	-	-	-	-	-
<i>Anabaena spiroides</i>	-	-	-	-	-	6	-	45
<i>Anabaena sphaerica</i>	-	-	-	-	104	1912	6	-
<i>Gomphosphaeria pusilla</i>	18	91	76	21	-	48	-	19
<i>Lyngbya</i> sp.	18	51	-	-	-	-	-	-
<i>Merismopedia glauca</i>	-	-	-	-	2	1	-	-
<i>Microcystis delicatissima</i>	35	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nodularia inca</i>	-	-	32	-	-	-	-	-
<i>Oscillatoria limosa</i>	-	-	-	-	13	-	-	-
<i>Oscillatoria</i> sp.	18	132	-	-	-	-	-	4

En general, estos registros de densidades dan a conocer que dentro de la bahía de Puno presento mayores densidades totales de las cianobacterias en la laguna Espinar (E-1) durante los meses de febrero a abril entre 5.473 a 9.809 ind/L; está a comparación de las otras dos estaciones evaluadas que presentaron densidades por debajo de 2.302 ind/L. y

dentro del análisis de varianza para un ( $\alpha=0.05$ ) se obtuvo  $P=0.639$  lo que implica que dentro de las estaciones de evaluación durante los 8 meses no existe diferencia significativa a un nivel de confianza del 95%, es decir que las tres estaciones las poblaciones de cianobacterias en cuanto a sus densidades son similares (Fig.10).

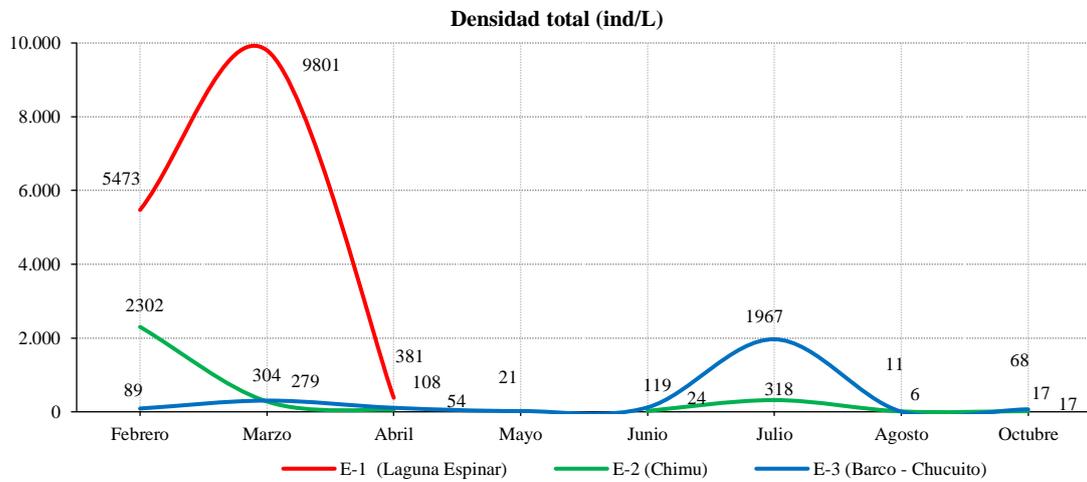


Figura 10. Variación mensual de la densidad total de las cianobacterias en la bahía de Puno.

#### 4.4 Determinación de la relación de los factores fisicoquímicos en las cianobacterias de la bahía de Puno

En la Laguna Espinar (E-1), se observó que los factores fisicoquímicos que estuvieron asociados con las densidades de cianobacterias en dicha estación fueron: el oxígeno de forma indirecta, la temperatura y los fosfatos (PO<sub>4</sub>) directa o positiva implicando esto en las densidades registradas; indicándonos que, durante los meses de la evaluación, la temperatura y los fosfatos (PO<sub>4</sub>) explican en un 55 a 67% respectivamente las densidades de las cianobacterias en la bahía interior de Puno (tabla 6).

Tabla 6

*Coefficiente de correlación entre parámetros fisicoquímicos y densidad.*

Estación	Variables		(r)	(R)	
	X	Y			
Laguna Espinar (E-1)	Transparencia (m)	Densidad	0.51	26	
	Temperatura (°C)	Densidad	0.74	55	*
	pH	Densidad	-0.31	10	
	Oxígeno (mg/L)	Densidad	-0.76	58	*
	Fosfatos (mg/L)	Densidad	0.82	67	*
	Nitritos (mg/L)	Densidad	-0.23	5	
	Nitratos (mg/L)	Densidad	-0.38	15	
Chimu (E-2)	Transparencia (m)	Densidad	-0.29	8	
	Temperatura (°C)	Densidad	0.56	32	
	pH	Densidad	-0.07	1	
	Oxígeno (mg/L)	Densidad	-0.09	1	
	Fosfatos (mg/L)	Densidad	-0.01	0	
	Nitritos (mg/L)	Densidad	0.00	0	
	Nitratos (mg/L)	Densidad	-0.34	12	
Chucuito-Barco (E-3)	Transparencia (m)	Densidad	-0.63	40	
	Temperatura (°C)	Densidad	-0.38	14	
	pH	Densidad	0.25	6	
	Oxígeno (mg/L)	Densidad	0.23	5	
	Fosfatos (mg/L)	Densidad	-0.38	14	
	Nitritos (mg/L)	Densidad	-0.18	3	
	Nitratos (mg/L)	Densidad	-0.20	4	

(r) = Coeficiente de Correlación  
(R) = Grado de Asociación  
(\* ) = Relación alta a perfecta

Lozano *et al.* (2008) La mayor irradiancia lumínica y las temperaturas elevadas en superficie son factores que pueden provocar fotoinhibición, y una ralentización o inhibición del crecimiento, que, unido a la capacidad de las cianobacterias de formar vesículas de gas para disponerse a la altura adecuada en la columna de agua, hace que se encuentren sus poblaciones a mayores profundidades durante estos periodos.

El aumento de la temperatura del agua por encima de los 20 °C favorece el desarrollo de las cianobacterias (tasa máxima de crecimiento entre 25 y 30°C), ya que incrementa las tasas de reproducción celular y de crecimiento (Aubriot *et al.*, 2009; De León, 2002; Roset *et al.*, 2001). Por encima del rango de temperatura óptima ocurre una disminución abrupta de la tasa de crecimiento (Aubriot *et al.*, 2009). Los rangos mayores a 30 y 37 °C están sujetas a un estrés oxidativo inducido por la temperatura que requiere la síntesis mejorada de compuestos protectores (Kinga *et al.*, 2019).

La presencia de cianobacterias mantiene una correlación positiva con la temperatura del agua, siendo dominantes a 24°C en todas las proporciones de Nitrógeno: Fósforo (N: P) inferiores a 20µM/L (Lanzarot, 2008). También se ha establecido que, en general, estos organismos consiguen una mayor tasa de crecimiento con temperaturas más altas que las diatomeas y clorofíceas, (Lanzarot, 2008; Zhang *et al.*, 2021).

La temperatura será el factor principal para mejorar la proliferación de cianobacterias, por ejemplo, *Microcystis*, que son las cianobacterias formadoras de floraciones más frecuentes, crece lentamente por debajo de los 20° C pero alcanza una tasa de crecimiento máxima a aproximadamente 30° C, además, las altas temperaturas pueden fortalecer la estratificación vertical del agua dulce, en estas condiciones, varias especies de cianobacterias pueden flotar hacia la superficie del agua debido a la flotabilidad de las vesículas de gas intracelulares y absorber la mayor parte de la radiación solar, lo que resulta en una mayor dominancia (Zhang *et al.*, 2021).

Las cianobacterias planctónicas a menudo experimentan una separación espacial entre la luz y la disponibilidad de nutrientes en aguas estratificadas, con mucha luz y pocos nutrientes cerca de la superficie del agua, y altos nutrientes y poca luz en aguas más profundas. Para acceder a estos recursos esenciales, muchas cianobacterias planctónicas migran entre las aguas superficiales y de fondo regulando su flotabilidad con la formación de vesículas de gas para aumentar la flotabilidad; las especies coloniales, como *Microcystis*, y las especies filamentosas, como *Dolichospermum*, (anteriormente

*Anabaena*, utilizan estos mecanismos para moverse hacia arriba y hacia abajo a través de la columna de agua (Bouma-gregson *et al.*, 2017).

Su adaptabilidad a intensidades de luz bajas o extremadamente altas, las cianobacterias pueden crecer en condiciones no óptimas para el fitoplancton. Asimismo, pueden acceder a condiciones favorables para el crecimiento por su capacidad de regular su posición en la columna de agua (Aubriot *et al.*, 2009; Meichtry *et al.*, 2009).

El incremento de la temperatura puede favorecer la persistencia de las floraciones de cianobacterias durante períodos más largos durante el verano en aguas eutróficas (Haakonsson *et al.*, 2017).

Los nutrientes claves para el desarrollo de estos organismos son dos: el Nitrógeno (N) y el Fósforo (P) (De León, 2002). Los altos requerimientos de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) por el fitoplancton combinado con un suministro ambiental restringido en relación a los otros nutrientes, determina que normalmente el P sea el principal elemento limitante del crecimiento fitoplanctónico en ambientes límnicos (Fabre *et al.*, 2010).

El crecimiento de fitoplancton requiere de la incorporación de nutrientes inorgánicos del medio (proporciones de Nitrógeno: Fósforo (N: P) inferiores a  $20\mu\text{M/L}$ ), en similar proporción a la que contiene la célula. (Fabre *et al.*, 2010; Lanzarot, 2008). Todas las especies se correlacionan positivamente con los niveles de  $\text{NO}_3$  y TP. En general, se sabe que los niveles más altos de fósforo (P) favorecen a las cianobacterias las que presentan una tendencia positiva en su desarrollo (Harris *et al.*, 2016).

La mayor disponibilidad de Fósforo (P) podría mejorar la producción de actividad de carotenoide y ficocianina de las células bajo radiación UV, el P en la células funciona para aliviar los efectos negativos inducidos por los rayos UV y mantener su crecimiento, por lo tanto, los procesos de adaptación a los rayos UV dan una demanda elevada de P, lo que conduce a mayores tasas de absorción de P y una cuota de P celular para las células radiadas por UV en condiciones moderadas y de alto fosforo inorgánico disuelto (Ren *et al.*, 2020).

Las cianobacterias bentónicas producen burbujas de oxígeno a partir de la fotosíntesis, estas burbujas quedan atrapadas en el moco intercelular de las esteras, levantando la parte superior de la estera para formar una forma vertical en forma de aguja, que es una

morfología común para las esteras cianobacterianas bentónicas (Bouma-gregson *et al.*, 2017).

Sin embargo, en Chimu (E-2) y Chucuito-Barco (E-3), los factores fisicoquímicos que estuvieron correlacionados moderada alta con las densidades de cianobacterias en dichas estaciones fueron: la temperatura de forma directa o positiva y la transparencia de forma indirecta en el desarrollo poblacional; lo que nos indica que la temperatura en la estación de Chucuito, durante los meses de la evaluación, es explicada por estas en un 32% la población de las cianobacterias (tabla 6).

Las cianobacterias cuando se encuentran en la profundidad, estas consumen las partículas almacenadas que actuaban como lastre y las vesículas de gas se vuelven a formar, cerrando en ciclo de flotabilidad (Aubriot *et al.*, 2009; Lanzarot, 2008; Meichtry *et al.*, 2009). Siendo estas cualidades favorables para su desarrollo dentro de diferentes ambientes y no se limitan su dispersión y desarrollo dentro de la columna de agua, es decir que este grupo no tiene dependencia directa en cuanto al expansión de la zona fótica.

Su crecimiento en los ambientes naturales depende de su capacidad de optimizar la utilización de los recursos (luz y nutrientes) y minimizar las pérdidas (depredación, sedimentación hacia zonas afóticas donde no se realiza fotosíntesis y el lavado por arrastre de las corrientes de agua) de biomasa, así como también de las interacciones tróficas (Aubriot *et al.*, 2009). Se ve también que diferentes especies de cianobacterias tienen correlaciones positivas con diferentes parámetros de calidad del agua ( $\text{NO}_3^-$ , fosforo total, turbidez y temperatura) (Harris *et al.*, 2016).

## CONCLUSIONES

- Primera:** Los parámetros fisicoquímicos evaluados en la bahía de Puno muestra cierta similitud durante los últimos años; siendo así los valores determinados: transparencia entre 1.29 a 8.39 m, la temperatura entre 14.91 a 15.20 °C, el pH entre 8.63 a 9.29, el oxígeno disuelto entre 6.53 a 9.37 mg/L, los fosfatos (PO<sub>4</sub>) entre 0.074 a 1.513 mg/L, los nitritos (NO<sub>2</sub>) entre 0.009 a 0.323 mg/L y los nitratos (NO<sub>3</sub>) entre 0.014 a 0.309 mg/L.
- Segunda:** Se identificó: 4 órdenes (Nostocales, Oscillatoriales, Chroococcales y Synechococcales), 6 familias (Nostocaceae, Aphanizomenonaceae, Oscillatoriaceae, Microcystaceae, Gomphosphaeriaceae y Merismopediaceae), dentro de ellas 13 especies de distribución cosmopolita y 1 de carácter endémica, *Nodularia inca* que se reporta hasta el momento solo para el lago Titicaca; En la Laguna Espinar se obtuvo 8 especies, en Chimú con 14 y Chucuito-Barco 10 especies, estas últimas zonas presentan similitud en su composición de las especies.
- Tercera:** Las densidades de cianobacterias se registraron entre 885 a 9.555 ind/L, la Laguna Espinar mostró ser mayor durante los meses de febrero a marzo, con una cantidad de 9.555 ind/L para *Microsistis aeruginosa*, en la zona de Chimú en el mes de febrero se determinó 885 ind/L a *Oscillatoria* sp., y Chucuito-Barco en el mes de julio con 1.912 ind/L para *Anabaena sphaerica*.
- Cuarta:** La relación de las cianobacterias con respecto a la temperatura y los fosfatos (PO<sub>4</sub>) es de forma directa y con la transparencia de forma inversa tal como se observó en la Laguna Espinar, Chimú y Chucuito-Barco.



## RECOMENDACIONES

- Primera:** Realizar muestreos continuos mensuales y anuales y más puntos de evaluación en una misma zona, por la temporalidad y dinámica y considerando los factores ambientales.
- Segunda:** Realizar estudios de identificación de especies de cianobacterias a nivel molecular.
- Tercera:** Priorizar muestreos en diferentes zonas del lago Titicaca que presenten evidente estado de eutrofización y zonas de importancia económica (acuicultura) para la obtención de muestras de cianobacterias, en zonas litorales, limneticas y béntica.
- Cuarta:** Realizar investigaciones del efecto de la influencia de la radiación ultravioleta existente en el lago Titicaca en las especies de cianobacterias.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acleto, C. (1966). *Algas de Agua Dulce de la cascadas de Barranco*. Libro de resúmenes del I Congreso de Biología. Lima, Perú.
- Acleto, C., & Zúñiga, R. (1998). *Introducción a las algas*. Editorial Escuela Nueva.
- Agasild, H., Panksep, K., Tõnno, I., Blank, K., Kõiv, T., Freiberg, R., Laugaste, R., Jones, R. I., Nõges, P., & Nõges, T. (2019). Role of potentially toxic cyanobacteria in crustacean zooplankton diet in a eutrophic lake. *Harmful Algae*, 89, 101688. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101688>.
- Aguilera, A., & Hansen, M. (2011). *Cianobacterias Como Determinantes Ambientales De La Salud*. Editorial Giannuzzi.
- Aldave, P. A. (1989). *Algas* (primera edición). Libertad EIRL.
- Andrinolo, D., & Caneo, M. (2009). *Efectos sobre la salud humana y animal de cianotoxinas. Mecanismos de acción tóxicas*. Giannuzzi, Leda.
- APHA, AWWA, & WEF. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 2). American Public Health Association.
- Aubriot, L., Bonilla, S., & Kruk, C. (2009). *Cianobacterias: Factores que regulan su crecimiento Cap. 2. Cianobacterias Planctónicas del Uruguay*. Manual para la identificación y medidas de gestión. Ed. Programa hidrológico Internacional de la UNESCO para America Latina y el Caribe, 5-11.
- Barçante, B., Nascimento, N. O., Silva, T. F. G., Reis, L. A., & Giani, A. (2020). Cyanobacteria dynamics and phytoplankton species richness as a measure of waterbody recovery: Response to phosphorus removal treatment in a tropical eutrophic reservoir. *Ecological Indicators*, 117(July), 106702. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106702>.
- Bellinger, E. G., & Sigeo, D. C. (2010). *Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators*. Wiley-Blackwell.
- Belon, S. (2002). *Determinación espacial de la comunidad de fitoplancton en la Bahía de Puno*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno.

- Beltrán, D. F., Palomino, R. P., Moreno, E. G., Peralta, C. G., & Montesinos-Tubée, D. B. (2015). Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011 Water quality of the inner Puno Bay, Titicaca Lake, during summer 2011. *Revista Peruana de Biología*, 22(3), 335–340. <https://doi.org/10.15381/rpb.v22i3.11440>.
- Bonilla, S. E. (2009). *Cianobacterias planctónicas del Uruguay: Manual para la identificación y medidas de gestión*. Documento Técnico 16 NUNESCO..
- Bouma-gregson, K., Power, M. E., & Bormans, M. (2017). Rise and fall of toxic benthic freshwater cyanobacteria ( *Anabaena* spp .) in the Eel river : Buoyancy and dispersal. *Harmful Algae*, 66, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2017.05.007>.
- Callata, F. (2015). *Monitoreo y evaluación del cuerpo de agua de la Bahía Interior de Puno–lago Titicaca*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano.
- Carrasco, D. (2007). *Cianobacterias planctónicas y cianotoxinas en embalses españoles*. Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Madrid.
- Casamatta, D. A., & Hasler, P. (2016). Blue-Green Algae (Cyanobacteria) in Rivers. In O. N. Jr (Ed.), *River Algae* (São Paulo, pp. 5–34). Springer International Publishing Switzerland.
- Chen, Q., Wang, M., Zhang, J., Shi, W., Mynett, A. E., Yan, H., & Hu, L. (2019). Physiological effects of nitrate , ammonium , and urea on the growth and microcystins contamination of *Microcystis aeruginosa* : Implication for nitrogen mitigation. *Water Research*, 163, 114890. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114890>.
- Chura-Cruz, R., Cubillos, S., Luís, A., Tam, M., Segura, Z., & Villanueva, Q. (2013). Relación entre el nivel del lago y la precipitación sobre los desembarques del pejerrey *Odontesthes bonariensis* (Valenciennes, 1835) en el sector peruano del Lago Titicaca entre 1981 y 2010. *Ecología Aplicada*, 12(1), 19–28.
- Cirés, S., & Quesada, A. (2011). Catálogo de cianobacterias planctónicas potencialmente tóxicas de las aguas continentales españolas. *Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones Diseño, Madrid*.

- Davis, T. W., Berry, D. L., Boyer, G. L., & Gobler, C. J. (2009). The effects of temperature and nutrients on the growth and dynamics of toxic and non-toxic strains of *Microcystis* during cyanobacteria blooms. *Harmful Algae*, 8(5), 715–725. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2009.02.004>.
- Daza, J. (2006). Estadística Aplicada con Microsoft Excel. In *Grupo Editorial Megabyte, Lima*.
- De León, L. (2002). Floraciones de cianobacterias en aguas continentales del Uruguay: causas y consecuencias. En: Perfil Ambiental del Uruguay 2002, *Nordan-Comunidad*.
- Degró, T. (2005). Estadística descriptiva en el campo social puertorriqueño. *Estadística Descriptiva en el Campo Social Puertorriqueño* (Primera edición). Antillana College Press.
- Echenique, R. O., & Aguilera, A. (2009). Cyanobacteria toxígenas: Aspectos generales para su identificación taxonómica. *Cianobacterias y Cianotoxinas: Identificación, Toxicología, Monitoreo y Evaluación de Riesgo*, 37–51.
- El, S., Fathalli, A., Rejeb, A. J., & Boua1, N. (2008). *Seasonal occurrence and toxicity of Microcystis spp . and Oscillatoria tenuis in the Lebna Dam , Tunisia*. 42, 1263–1273. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.09.019>.
- Escobar, F. (2019). *Determinación de Parámetros Físico-Químicos Y Niveles de Metales Pesados en Agua y Sedimentos en la Zona de Crianza de Truchas (Oncorhynchus Mykiss), Bahía de Puno del Lago Titicaca* .Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Altiplano Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10379>.
- Fabre, A., Carballo, C., Hernández, E., Piriz, P., Bergamino, L., Mello, L., González, S., Pérez, G., León, J. G., & Aubriot, L. (2010). El nitrógeno y la relación zona eufótica/zona de mezcla explican la presencia de cianobacterias en pequeños lagos subtropicales, artificiales de Uruguay. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(1), 112–125.
- FAO. (2009). *Departamento de Pesca. La producción de alimento vivo y su importancia en acuicultura. Cultivo de Microalgas*. Departamento de Pesca. <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab473s/AB473S00.htm>.

- García, S. L., Arguello, A., Parra, R., & Pincay Pilay, M. (2019). Factores que influyen en el pH del agua mediante la aplicación de modelos de regresión lineal. *INNOVA Research Journal*, 4(2), 59-71. <https://doi.org/10.33890/innova.v4.n2.2019.909>.
- Gao, K., & Brown, M. T. (2007). *Solar PAR and UV radiation affects the physiology and morphology of the cyanobacterium Anabaena sp . PCC 7120*. 89, 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2007.09.006>.
- González, M. (2000). *Alternativas en el cultivo de microalgas*. Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar.
- Grosman, F., & Sanzano, P. (2002). Mortandades de Pejerrey *Odontesthes bonariensis* originadas por floraciones de cianobacterias en dos ambientes de Argentina. *Revista AquaTIC, Univ. Zaragoza, España*, 17.
- Guarrera, S. A., Casco, M. A., Echenique, R. O., & Labollita, H. A. (1987). Las Algas Del Sistema Del Rio Lima y Chroococcales y Chamaesiphonales. *Revista Del Museo de La Plata*, 14(96), 163–189.
- Haakonsson, S., Rodríguez-Gallego, L., Somma, A., & Bonilla, S. (2017). Temperature and precipitation shape the distribution of harmful cyanobacteria in subtropical lotic and lentic ecosystems. *Science of The Total Environment*, 609, 1132–1139. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.067>.
- Harris, J. M., Vinobaba, P., Kavindra, R., Kularatne, A., & Champika, E. K. (2016). Spatial and temporal distribution of cyanobacteria in Batticaloa Lagoon. *JES*, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.01.020>.
- Ibañez Quispe, V. (2009). *Análisis y diseño de experimentos* (primera ed). Editorial Universitaria.
- 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*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano.
- Kim, S., Kim, S., Mehrotra, R., & Sharma, A. (2020). Predicting cyanobacteria occurrence using climatological and environmental controls. *Water Research*, 115639. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115639>.

- Kinga, K., Bujas, A., Turos-cabal, M., & Fu, P. (2019). *Effect of growth temperature on biosynthesis and accumulation of carotenoids in cyanobacterium Anabaena sp . PCC 7120 under diazotrophic conditions*. 226, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.05.003>.
- Komárková, J., Montoya, H., & Komárek, J. (2016). Cyanobacterial water bloom of *Limnorphis robusta* in the Lago Mayor of Lake Titicaca. Can it develop? *Hydrobiologia*, 764(1), 249–258. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2298-x>.
- Lanzarot, M. P. (2008). *Cianobacterias tóxicas y mortandades en masa de fauna salvaje en las marismas de Doñana*. Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid.
- Liberman, M., & Miranda, C. (1987). Contribución al conocimiento del fitoplancton del lago Titicaca. *Oldepesca, Documento de Pesca*, 003.
- Liu, D., Liberton, M., Hendry, J. I., Aminian-Dehkordi, J., Maranas, C. D., & Pakrasi, H. B. (2021). Engineering biology approaches for food and nutrient production by cyanobacteria. *Current Opinion in Biotechnology*, 67, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.09.011>.
- Loreto, C., Mora, R., & Marco, E. (2004). Influencia del nitrato sobre la producción de biomasa, pigmentos y proteínas de la cianobacteria *Anabaena sp. PCC 7120*. *Revista Ciencia*, 12(2), 137-143,.
- Lozano, E. F., Vargas, M. J. D., Lobato, C. V., Miguel, R., Costa, C., & Reis, M. P. (2008). Cianoalerta: estrategia para predecir el desarrollo de cianobacterias tóxicas en embalses. *Revista Ecosistemas*, 17(1), 37–45. <https://doi.org/10.7818/re.2014.17-1.00>.
- Madigan, M., Martinko, J., & Parker, J. (2003). *Biología de los microorganismos*. 10ª edición ed. Washington DC, Estados Unidos: Prentice Hall.
- Martínez, R. M., Tuya, L. C., Martínez, M., Pérez, A., & Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2), 0.
- Meichtry, N., Irmgard, S., & Llano, V. (2009). *Cianobacteria planctónica: su impacto en*

- ambientes acuáticos continentales. Descripción de los géneros más frecuentes.*  
Editora Giannuzzi.
- Monteagudo, L., & Moreno, J. L. (2016). Benthic freshwater cyanobacteria as indicators of anthropogenic pressures. *Ecological Indicators*, 67, 693–702. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.035>.
- Montoya, H., Komárková, J., & Komárek, J. (2015). Cyanobacterial Species, Potentially Forming Water Blooms In The Lake Titicaca (Peru). *Arnaldoa*, 21(2), 381–390.
- Moore, T. S., Churnside, J. H., Sullivan, J. M., Twardowski, M. S., Nayak, A. R., Mcfarland, M. N., Stockley, N. D., Gould, R. W., Johengen, T. H., & Ruberg, S. A. (2019). Remote Sensing of Environment Vertical distributions of blooming cyanobacteria populations in a freshwater lake from LIDAR observations. *Remote Sensing of Environment*, 225(February), 347–367. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.025>.
- Moreno Terrazas, E., Argota Pérez, G., Alfaro Tapia, R., Aparicio Saavedra, M., Atencio Limachi, S., & Goyzueta Camacho, G. (2018). Cuantificación de metales en sedimentos superficiales de la bahía interior, lago Titicaca-Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 20(1), 09–18. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.326>.
- Moreta Pozo, J. C. (2011). *La eutrofización de los lagos y sus consecuencias Ibarra 2008*. Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte.
- Moss, B. (1992). *Ecology of fresh waters, man and medium*. Blackwell Scientific Publications. Great Britain.
- Muñoz, N. (2012). Cianobacterias bentónicas marinas en el Caribe central y sur de Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas Y Costeras*, 4(506), 13–32. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/revmar.4.1>
- Mur, L. R., Gons, H. J., & Van Lieere, L. (1978). Competition of the green alga *Scenedesmus* and the blue-green alga *Oscillatoria* in light limited environments. *FEMS Microbiol Lett*, 1, 335-338.
- Narváez, V. P. (2009). *Metodología de la investigación científica y bioestadística para*

- profesionales y estudiantes de ciencias de la salud* (2nd ed). RIL® editores.
- Nava-ruiz, V. M., & Valadez, F. (2012). Flora planctónica de laguna Lagartos, Quintana Roo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83:, 83, 561–582. <https://doi.org/10.7550/rmb.24868>.
- Nogueira, I. D. S., Gama, W. A., & Bezerra, E. (2011). Cianobacterias planctônicas de um lago artificial urbano na cidade de Goiânia , GO. *Brazilian Journal of Botany*, 34 (4), 575–592. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000400011>.
- Oliva Martínez, M. G., Rodríguez Rocha, A., Lugo Vázquez, A., & Sánchez Rodríguez, M. del R. (2008). Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. *Hidrobiológica*, 18, 1–13.
- Oliveira, E. C., Paula, E. J., Plastino, E. M., & Petti, R. (1995). *Manual de métodos ficológicos*. Editora Anibal Pinto S.A..
- Ortega-mayagoitia, E., & Rojo, C. (2000). Fitoplancton del parque nacional las tablas de daevflel. II. Las cianofíceas, los dinoflagelados, las criptofíceas, las crisofíceas y las xantofíceas. *Anales Jardín Botánico De Madrid*, 57 (2), 251–266.
- Paredes, A. (2013). *Calidad físicoquímica y biológica de agua en la zona de captación – Chimu, del lago Titicaca destinada para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Puno*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Peinador, M. (1999). Las cianobacterias como indicadores de contaminación orgánica. *Revista de Biología Tropical*, 47(3), 381–391.
- Polo, J. A., & Herrera, A. P. (1979). *Las algas superficiales del Lago Titicaca, Departamento de Puno, Perú*. Lima: Ministerio de Pesquería.
- Quirós, R. (2004). Cianobacterias en lagos y embalses de Argentina: década del 80. Documentos de Trabajo Del Área de Sistemas de Producción Acuática. 2, 1-23.
- Quiroz Castelán, H., Mondragón Eslava, O., Molina Astudillo, I., García Rodríguez, J., & Díaz Vargas, M. (2008). Dinámica espacio-temporal de oxígeno-temperatura en los lagos Zempoala y Tonatiahua. *Acta Universitaria*, 18(1), 57–65. <https://doi.org/10.15174/au.2008.159>

- Quispe, M. (2016). *Estudio del comportamiento del oxígeno disuelto y parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la Bahía Interior de Puno*. Tesis de pregrado, Universidad Privada Norbert Wiener.
- Ramos, D. (2008). *Producción primaria fitoplanctónica en lagos someros de La Pampa: relación con la concentración de nutrientes, clorofila y transparencia del agua e influencia sobre la biomasa zooplanctónica*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Pampa.
- Ren, L., Wang, P., Wang, C., Paerl, H. W., & Wang, H. (2020). Effects of phosphorus availability and phosphorus utilization behavior of *Microcystis aeruginosa* on its adaptation capability to ultraviolet. *Environmental Pollution*, 256, 113441. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113441>
- Richmond, A. (2008). *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*. Blackwell Science Ltd..
- Richerson, P. J., Widmer, C., Kittel, T. and Landa, A. (1975). A survey of the physical and chemical limnology of Lake Titicaca. *Verhandlungen Internationale Vereinigung fuer theoretische un angewandte Limnologie*. 19: 1498-1503. <https://doi.org/10.1080/03680770.1974.11896211>
- Rodríguez, S. C., De Asmundis, C. L., & Martínez, G. C. (2016). Variaciones estacionales de las concentraciones de fosfatos y nitratos en distintas fuentes de aguas de pequeños productores hortícolas. *Agrotecnia*, (24), 30-34. <http://dx.doi.org/10.30972/agr.0241174>
- Roset, J., Aguayo, S., & Muñoz, M. J. (2001). Detección de cianobacterias y sus toxinas. Una revisión. *Rev. Toxicol*, 18, 65–71.
- Sarmiento, A. (1984). *Determinación de los nutrientes: Nitrógeno y Fosforo en la Bahía de Puno*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Shankar, J., Kumar, A., & Singh, M. (2019). Environmental and Sustainability Indicators Cyanobacteria : A sustainable and commercial bio-resource in production of bio-fertilizer and bio-fuel from waste waters. *Environmental and Sustainability Indicators*, 3–4(May), 100008. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100008>.



- Stal, L. J., & Heyer, H. (1987). *Dark anaerobic nitrogen fixation ( acetylene reduction ) in the cyanobacterium Oscillatoria sp .* FEMS Microbiología Ecología, 45, 227-232. [https://doi.org/10.1016/0378-1097\(87\)90056-5](https://doi.org/10.1016/0378-1097(87)90056-5).
- Turpo, R. H. (2015). *Diatomeas como bioindicadores de la calidad del agua de la Bahía de Puno del lago Titicaca.* Tesis de maestría, Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Turpo, R. H., & Sanga, W. A. (2013). *Diversidad y abundancia de la comunidad planctónica en la bahía de Puno y Lago Grande (sector peruano) del lago Titicaca.* Tesis de pregrado, Universidad Nacional Del Altiplano Puno.
- Wachi, Y., Burgess, J. G., Iwamoto, K., Yamada, N., Nakamura, N., & Matsunaga, T. (1995). *and production of biopterin glucoside by the marine UV-A resistant cyanobacterium Oscillatoria sp .* Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Temas generales, 1244 (1), 165-168. [https://doi.org/10.1016/0304-4165\(94\)00219-N](https://doi.org/10.1016/0304-4165(94)00219-N).
- Walls, J. T., Wyatt, K. H., Doll, J. C., Rubenstein, E. M., & Rober, A. R. (2018). Hot and toxic: Temperature regulates microcystin release from cyanobacteria. *Science of The Total Environment*, 610-611, 786–795. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.149>.
- Wilkinson, A. A., Hondzo, M., & Guala, M. (2020). Vertical heterogeneities of cyanobacteria and microcystin concentrations in lakes using a seasonal In situ monitoring station. *Global Ecology and Conservation*, 21, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00838>.
- Yan, D., Xu, H., Yang, M., Lan, J., Hou, W., Wang, F., Zhang, J., Zhou, K., An, Z., & Goldsmith, Y. (2019). Responses of cyanobacteria to climate and human activities at Lake Chenghai over the past 100 years. *Ecological Indicators*, 104, 755–763. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.019>.
- Yuan, R., Li, Y., Li, J., Ji, S., Wang, S., & Kong, F. (2019). Jo l P of. *Science of the Total Environment*, 136332. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136332>.
- Zhang, W., Shen, H., Zhang, J., Yu, J., Xie, P., & Chen, J. (2020). Chemosphere Physiological differences between free- floating and periphytic filamentous algae , and speci fi c submerged macrophytes induce proliferation of fi lamentous algae : A



novel implication for lake restoration. *Chemosphere*, 239, 124702.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124702>.

Zhang, Z., Fan, X., Peijnenburg, W. J. G. M., Zhang, M., Sun, L., Zhai, Y., Yu, Q., Wu, J., Lu, T., & Qian, H. (2021). Alteration of dominant cyanobacteria in different bloom periods caused by abiotic factors and species interactions. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 99, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.06.001>.

Zhou, Y., Li, X., Xia, Q., & Dai, R. (2020). Science of the Total Environment Transcriptomic survey on the microcystins production and growth of *Microcystis aeruginosa* under nitrogen starvation. *Science of the Total Environment*, 700, 134501. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134501>.

## ANEXOS

### Anexo 1. Georreferenciación de los puntos de muestreo.



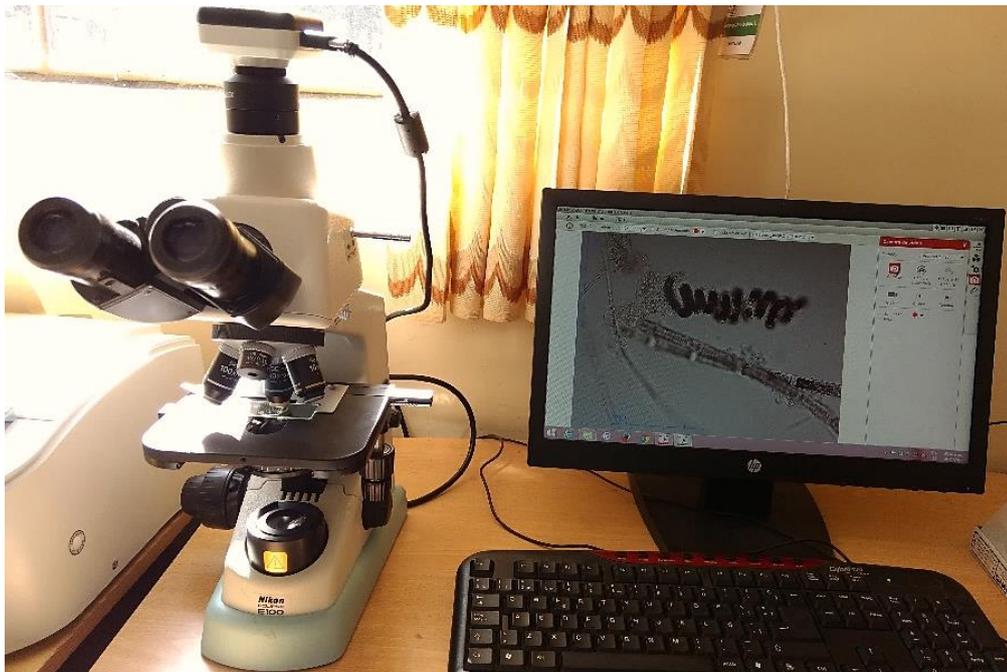
### Anexo 2. Medida de la transparencia con disco secchi.



### Anexo 3. Equipos y materiales de trabajo y Medición de parámetros fisicoquímicos



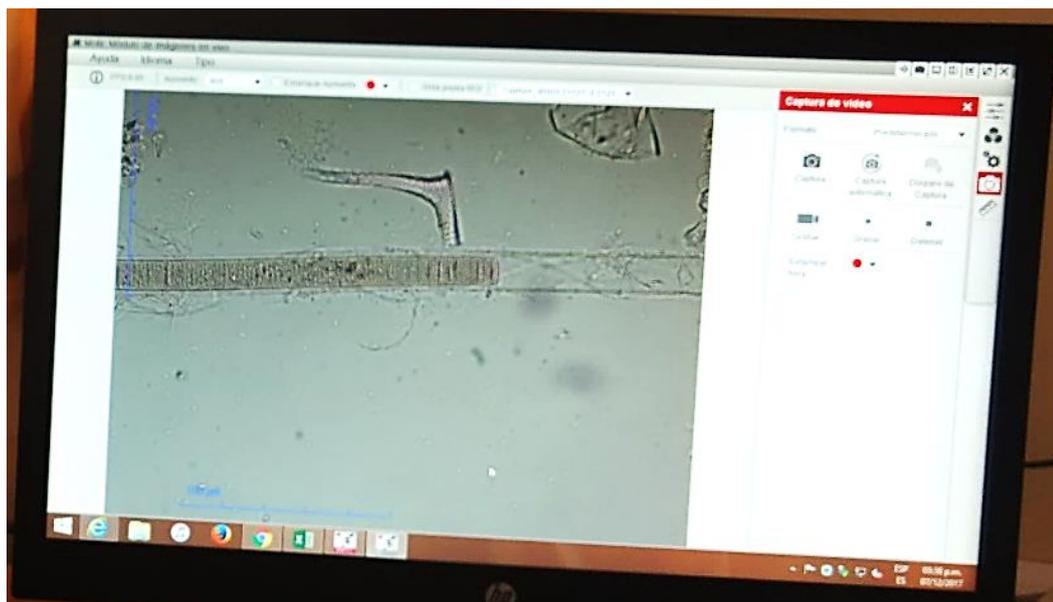
### Anexo 4. Análisis de laboratorio con Microscopio trinocular NIKON ECLIPSE E200



### Anexo 5. Análisis cualitativo de las especies de cianobacterias



### Anexo 6. Registro y medidas de las especies de cianobacterias con el software.



**Anexo 7.** Valores y promedios de los parámetros fisicoquímicos de las tres estaciones en la bahía de Puno -2018.

		<b>TRANS</b> (m)	<b>TEMP</b> (°C)	<b>pH</b>	<b>OXI DIS</b> (mg/L)	<b>PO4</b> (mg/L)	<b>NO2</b> (mg/L)	<b>NO3</b> (mg/L)
<b>E-1 (Laguna Espinar)</b>	FEBRERO	1,00	18,36	9,08	7,91	1,880	0,186	0,097
	MARZO	2,00	18,99	9,05	4,14	2,045	0,154	0,048
	ABRIL	1,50	16,47	9,05	12,74	1,762	0,179	0,014
	MAYO	1,10	12,83	8,67	8,47	1,328	0,203	0,100
	JUNIO	1,70	13,50	9,20	9,25	1,302	0,173	0,389
	JULIO	1,10	11,23	9,41	10,77	1,197	0,174	0,209
	AGOSTO	1,20	13,17	9,89	13,33	1,093	0,181	0,438
	OCTUBRE	0,70	17,03	9,99	8,37	1,495	1,333	1,179
	<b>MAX</b>	2,00	18,99	9,99	13,33	2,045	1,333	1,179
	<b>MIN</b>	0,70	11,23	8,67	4,14	1,093	0,154	0,014
	<b>PROMEDIO</b>	1,29	15,20	9,29	9,37	1,513	0,323	0,309
	<b>DESV. EST.</b>	0,42	2,87	0,45	2,93	0,35	0,41	0,38
	<b>E-2 (Chimu)</b>	FEBRERO	5,00	18,12	8,62	6,37	0,101	0,009
MARZO		5,00	17,65	8,36	5,57	0,188	0,014	0,007
ABRIL		5,00	16,10	8,45	6,66	0,080	0,007	0,004
MAYO		6,00	13,89	8,42	7,41	0,088	0,009	0,005
JUNIO		6,00	12,97	8,80	7,12	0,054	0,004	0,019
JULIO		5,30	11,77	8,71	7,11	0,036	0,005	0,013
AGOSTO		7,00	13,27	8,75	7,10	0,077	0,003	0,010
OCTUBRE		4,50	15,53	8,94	4,90	0,201	0,021	0,050
<b>MAX</b>		7,00	18,12	8,94	7,41	0,201	0,021	0,050
<b>MIN</b>		4,50	11,77	8,36	4,90	0,036	0,003	0,002
<b>PROMEDIO</b>		5,48	14,91	8,63	6,53	0,103	0,009	0,014
<b>DESV. EST.</b>		0,80	2,30	0,20	0,88	0,06	0,01	0,02
<b>E-3 (Chucuito-Barco)</b>		FEBRERO	10,50	17,45	8,58	6,24	0,065	0,007
	MARZO	9,00	17,69	8,50	6,13	0,112	0,010	0,002
	ABRIL	9,50	16,03	8,43	6,39	0,096	0,009	0,004
	MAYO	9,00	13,83	8,36	7,59	0,047	0,004	0,007
	JUNIO	8,00	12,73	8,84	7,44	0,057	0,004	0,006
	JULIO	6,10	12,20	8,78	7,35	0,034	0,004	0,002
	AGOSTO	8,00	12,77	8,89	7,58	0,044	0,003	0,005
	OCTUBRE	7,00	14,73	8,76	4,63	0,133	0,082	0,113
	<b>MAX</b>	10,50	17,69	8,89	7,59	0,133	0,082	0,113
	<b>MIN</b>	6,10	12,20	8,36	4,63	0,034	0,003	0,002
	<b>PROMEDIO</b>	8,39	14,68	8,64	6,67	0,074	0,016	0,018
	<b>DESV. EST.</b>	1,41	2,17	0,20	1,03	0,04	0,03	0,04

### Anexo 8. Análisis estadístico para datos no paramétricos - Kruskal-Wallis.

ANOVA para la densidad por meses.

Variable	Meses	N	Medias	D.E.	Medianas	H	P
Densidad	Abril	3	181	175.3	108	13.88	0.050
Densidad	Agosto	3	7.67	6.66	11		
Densidad	Febrero	3	2621.33	2706.17	2302		
Densidad	Julio	3	761.67	1055.89	318		
Densidad	Junio	3	47.67	62.93	24		
Densidad	Marzo	3	3464	5494.95	304		
Densidad	Mayo	3	7	12.12	0		
Densidad	Octubre	3	34	29.44	17		

### Análisis de contraste de Dunn

Tratamiento	Medianas	Ranks		
Mayo	0	5,33	A	
Agosto	11	5,33	A	
Octubre	17	10	A	B
Junio	24	10	A	B
Julio	318	14,33	A	B
Abril	108	15,67	A	B
Febrero	2302	19,67		B
Marzo	304	19,67		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

ANOVA para la densidad por estaciones.

Variable	Estaciones	N	Medias	D.E.	Medianas	H	P
Densidad	Chimu	8	375,63	788,61	39	0,89	0,6394
Densidad	Chucuito- Barco	8	336	665,18	98,5		
Densidad	Laguna Espinar	8	1960	3695,23	8,5		