EVALUACIÓN DE LAGUNAS ALTOANDINAS DE APURÍMAC PARA EL DESARROLLO DE ACUICULTURA, 2021

EVALUATION OF HIGH ANDEAN LAKES IN APURÍMAC FOR AQUACULTURE POTENCIAL (2021)

José G. Cavero Arana† *Hanna E. Hernandez Acevedo*[1]
Mario M. Polar Perez[2] *Carla P. Aguilar Samanamud*[1]

RESUMEN

Cavero Arana, J. G., *Hernández Acevedo, H. E., Polar Perez, M. M. & Aguilar Samanamud. C. P. (2025). Evaluación de lagunas altoandinas de Apurímac para el desarrollo de acuicultura, 2021. Inf Inst Mar Perú, 52(1), 69-109.-* En julio y noviembre 2021, en el marco del Programa Presupuestal 0094 – 2021 se efectuaron investigaciones para identificar cuerpos de agua lénticos con posible potencial acuícola en la Región Apurímac. En las lagunas Liullita, Suytuccocha, Orccococha y Llumipata, se muestrearon plancton y bentos; se registraron los parámetros físico-químicos del agua como temperatura, pH, dureza, CO_2, nitritos, nitrato, alcalinidad, DBO_5, nitrógeno amoniacal, cloruro, turbidez del agua y transparencia. Se determinó la Riqueza específica (S), los índices de biodiversidad de Margalef (DMg), de Shannon (H') (bits/ individuos) y de equidad de Pielou (J'), además se trabajó en la obtención de cepas de microalgas. Los resultados permitieron la identificación de la diversidad biológica existente, la calidad del cuerpo de agua y el registro y mantenimiento de cinco nuevas cepas de microalgas con potencial acuícola.
Palabras clave: monitoreo, lagunas altoandinas, índices, Apurímac

ABSTRACT

Cavero Arana, J. G., *Hernández Acevedo, H. E., Polar Perez, M. M. & Aguilar Samanamud. C. P. (2025). Evaluation of high-Andean lakes in Apurímac for aquaculture potential (2021). Inf Inst Mar Perú, 52(1), 69-109.-* In July and November 2021, as part of Budgetary Program 0094 – 2021, a study was conducted to identify lentic water masses in the Apurímac Region with potential for aquaculture development. Plankton and benthic communities were sampled in the Liullita, Suytuccocha, Orccococha, and Llumipata lakes, while key physicochemical parameters were recorded, including temperature, pH, hardness, CO_2, nitrites, nitrates, alkalinity, BOD_5, ammoniacal nitrogen, chloride, turbidity, and transparency. The assessment included species richness (S) and biodiversity indices such as Margalef's index (DMg), Shannon's diversity index (H') (bits/individual), and Pielou's evenness index (J'). Additionally, microalgal strain isolation was carried out. The results provided valuable insights into the biological diversity and water quality of these lakes, leading to the identification and preservation of five new microalgal strains with promising aquaculture potential.
Keywords: monitoring, high-Andean lagoons, indices, Apurímac

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación hidrobiológica incluye el estudio de los organismos acuáticos, permitiendo detectar alteraciones de las comunidades biológicas a causa de los diferentes impactos. Las diversas comunidades se pueden establecer como indicadores y marcadores de las condiciones ambientales prevalecientes (Ballesteros *et al*., 2004). Tal es el caso de las comunidades fitoplanctónicas que son muy sensibles a los cambios fisicoquímicos en su medio ambiente, por lo que muchas especies de fitoplancton son utilizadas como indicadoras de la calidad del agua (Reynolds, 1997; Reynolds *et al*., 2002; Brettum & Andersen, 2005). Respecto a las comunidades zooplanctónicas, los cambios poblacionales pueden ocurrir como respuesta a condiciones hidrológicas y a perturbaciones químicas, aunque los efectos directos e indirectos sobre las comunidades y otros niveles tróficos dependerán de la interacción entre los factores físicos, químicos, biológicos y del tiempo de exposición al tóxico (Astiz & Alvarez, 1998; Papadakis, 2003; Chang *et al.*, 2008; Onyema, 2009; Seuront, 2010). Sin embargo, los macroinvertebrados son uno de los indicadores biológicos más utilizados en la evaluación de ecosistemas fluviales del mundo (Figueroa *et al.*, 2003), debido a sus características, requerimientos especiales y adaptaciones evolutivas a determinadas

† Falleció en enero 2025
1. Imarpe, DGIA, Área Funcional de Acuicultura. hhernandez@imarpe.gob.pe; caguilar@imarpe.gob.pe
2. Imarpe, DGIA, Área Funcional de Investigaciones Marino Costeras, mpolar@imarpe.gob.pe

condiciones ambientales, que los convierten en organismos con límites de tolerancia específicos a las diferentes alteraciones de su hábitat (Alba-Tercedor, 1996; Zúñiga de Cardoso, 2001; Pino Chalá *et al*., 2003). Además, el muestreo de Perifiton se utiliza como indicador de la calidad de los cuerpos de agua y de procesos de contaminación que pueden afectar el ecosistema (Arcos Pulido *et al.*, 2005) ya que poseen algunas características como la imposibilidad de evadir la contaminación al estar adheridos a un sustrato fijo (Montoya Moreno & Aguirre, 2013) y la capacidad de colonizar rápidamente después de haber sido perturbada por acción externa, por ejemplo, cambios en el flujo o calidad del agua (Wu, 2017).

Los parámetros físico-químicos dan una información extensa de la naturaleza de los compuestos químicos del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática. En contraste, los métodos biológicos aportan esta información, pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico (Orozco *et al.*, 2005).

El objetivo de esta investigación, fue determinar la diversidad biológica y el estado de calidad ambiental de cuatro lagunas alto andinas, ubicadas en el departamento de Apurímac, en los distritos de Andahuaylas, Chiquibambilla, Lambrana y Aymaraes, los humedales son: Liullita, Suytuccocha, Orccococha y Llumipata. Dichos cuerpos de agua se encuentran ubicados entre los 4262 y 4580 msnm (metros sobre el nivel del mar). La importancia de los humedales, radica en ser potencial para el desarrollo de la acuicultura (para cultivo de truchas y sus microorganismos acompañantes de ser el caso) a nivel regional.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación y georeferenciación

Las actividades se efectuaron en el marco del proyecto «*Evaluación Hidrobiológica de Lagunas Altoandinas para el Desarrollo de la Acuicultura*», por el Instituto del Mar del Perú, Dirección General de Investigaciones en Acuicultura, Área Funcional de Investigación en Acuicultura, Programa Presupuestal – Ordenamiento y Desarrollo de la Acuicultura – PpR 094. Los trabajos en campo, fueron ejecutados en julio y noviembre 2021, se evaluaron cuatro lagunas altoandinas: Suytuccocha, Liullita, Orccococha y Llumipata. En cada laguna se establecieron de 4 a 13 estaciones de monitoreo (Tabla 1), con el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS) utilizando una ecosonda, ambos de marca GARMIN, con los que se ubicaron los puntos de muestreo y las profundidades. En cada estación se obtuvieron muestras de fitoplancton, zooplancton, perifiton y macrobentos (superficial, medio y fondo). Los parámetros físico-químicos fueron: Temperatura del agua, Transparencia, Alcalinidad, Nitrógeno Amoniacal, CO_2, Cloruro, Oxígeno Disuelto, Nitrito, pH, Dureza Total, Nitrato, DBO_5, Turbidez.

Caracterización del hábitat

Para evaluar las características del hábitat en las lagunas se emplearon las fichas de campo de la guía "Métodos de Colecta, Identificación y Análisis de Comunidades Biológicas: plancton, perifiton, bentos y necton en aguas continentales del Perú" (Samanez Valer *et al*., 2014).

Parámetros físico-químicos

El muestreo de la calidad del agua tomó como referencia los parámetros de cultivo para la trucha (Fondepes, 2014) y los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Decreto Supremo Nº 004-2017 – MINAM (2017).

Los parámetros físico-químicos que se consideraron fueron:

- Temperatura agua y aire (°C) con un termómetro digital.
- pH, Oxígeno disuelto (mg/L), Nitrógeno amoniacal (mg/L NH_3), Dureza (mg/L) utilizamos el fotómetro multiparámetro portátil modelo HI 83203 (Fig. 1).
- Dióxido de carbono (mg/L CO_2), alcalinidad (mg/L $CaCO_3$), nitritos (mg/L NO_3) usamos el equipo portátil Hach FF1A (Fig. 1).
- Cloruro (mg/L) y Nitrato (mg/L) usamos el equipo portátil Lamotte.
- Turbidez con el Turbidímetro portátil – Lamotte (Fig. 1).
- Transparencia – Disco secchi.

Tabla 1.- Estaciones de monitoreo de las lagunas altoandinas, Región Apurímac

Provincia	Distrito	Laguna	Estaciones	Latitud S	Longitud O	Altitud (msnm)
Andahuaylas	Andahuaylas	Suytuccocha	ALSE-1S	13°49′30,29″S	73°17′6,14″O	4262
			ALSE-2S	13°49′34,22″S	73°16′56,14″O	
			ALSE-3S	13°49′29,93″S	73°16′48,07″O	
			ALSE-4S	13°49′42,61″S	73°16′48,40″O	
			ALSE-5S	13°49′38,41″S	73°16′39,39″O	
			ALSE-6S	13°49′29,75″S	73°16′29,91″O	
			ALSE-7S	13°49′39,94″S	73°16′29,66″O	
			ALSE-8S	13°49′31,75″S	73°16′21,48″O	
			ALSE-9S	13°49′29,67″S	73°16′11,66″O	
			ALSE-10S	13°49′23,20″S	73°16′13,29″O	
			ALSE-11S	13°49′15,62″S	73°16′11,98″O	
			ALSE-12S	13°49′20,84″S	73°16′3,76″O	
			ALSE-13S	13°49′23,08″S	73°15′53,64″O	
Grau	Chuquibambilla	Liullita	ALLE1S	13°59′59,26″S	72°48′11,94″O	4580
			ALLE2S	13°59′57,33″S	72°48′6,91″O	
			ALLE3S	13°59′58,18″S	72°47′59,51″O	
			ALLE4S	14° 0′4,15″S	72°47′59,57″O	
			ALLE5S	14° 0′3,45″S	72°48′6,36″O	
			ALLE6S	14° 0′8,92″S	72°48′0,47″O	
			ALLE7S	14° 0′8,30″S	72°47′54,26″O	
Abancay	Lambrama	Orccococha	ALOE-1S	13°54′44,18″S	72°43′42,70″O	4422
			ALOE-2S	13°54′54,17″S	72°43′48,17″O	
			ALOE-3S	13°54′54,17″S	72°43′34,08″O	
			ALOE-4S	13°55′3,11″S	72°43′38,83″O	
			ALOE-5S	13°55′12,15″S	72°43′43,25″O	
			ALOE-6S	13°55′12,17″S	72°43′29,97″O	
			ALOE-7S	13°55′21,49″S	72°43′38,.77″O	
			ALOE-8S	13°55′30,01″S	72°43′45,48″O	
			ALOE-9S	13°55′12,15″S	72°43′20,22″O	
			ALOE-10S	13°55′20,80″S	72°43′11,99″O	
			ALOE-11S	13°55′16,57″S	72°42′58,90″O	
			ALOE-12S	13°55′13,39″S	72°43′9,05″O	
			ALOE-13S	13°55′8,10″S	72°43′3,64″O	
Aymaraes	Cotaruse	Llumipata	ALLUE1	14°24′52,39″S	73°18′19,94″O	4580
			ALLUE2	14°24′56,78″S	73°18′15,89″O	
			ALLUE3	14°25′1,80″S	73°18′12,21″O	
			ALLUE4	14°25′7,03″S	73°18′9,78″O	

Figura 1.- Multiparámetro portátil modelo HI 83203 (a); equipo portátil Hach FF1A (b); turbidímetro portátil – Lamotte (c)

Parámetros microbiológicos

Con el fin de conocer la calidad microbiológica de las lagunas altoandinas Suytuccocha, Liullita, Orccococha y Llumipata, se realizó el análisis microbiológico para Coliformes totales y fecales según la metodológia indicada en SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part 9221 B y SMEWW-APHA-AWWA-WEF.Part 9222 B (Baird *et al*., 2017).

Para evaluar la calidad de las lagunas altoandinas se tomó como referencia los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua (D.S. 004-2017-MINAM, 2017). Categoría 4 Conservación del ambiente acuático, E1: lagunas y lagos.

Plancton y Bentos

Colecta y análisis de muestras biológicas

Para determinar el número de puntos de muestreo se tomó como referencia a la Confederación Hidrográfica del Ebro (2007) que indica: el número de puntos de muestreos varía según la superficie y morfología de la masa de agua de acuerdo con los recursos disponibles. En general 1-3 (lagos pequeños <50 ha) y 3-5 (lagos grandes >50 ha). Se monitorearon 4 lagunas: Liullita, Suytuccocha, Orccococha y Llumipata. La metodología propuesta para la colecta y análisis de las muestras biológicas es la propuesta por APHA-AWWA-WEF (Rice *et al*., 2012) que se resume en la Tabla 2.

Tabla 2.- Colecta y análisis de las muestras biológicas

Muestreo	Análisis	Ecuación empleada
	A. Fitoplancton	
Se emplea una botella Van Dorn. Las muestras colectadas se filtran con malla de 10 micras y se colocan en botellas de plástico de 250 mL, etiquetadas con tinta resistente al agua y preservadas con Solución de Lugol al 1% (0,5mL/100 mL de muestra) o hasta notar un color coñac. APHA-AWWA-WPCF sección (10200B – 10200F)	*Se homogeniza la muestra, el volumen utilizado de la cámara de Utermöhl depende de la densidad del fitoplancton. La cámara se cubre con una tapa de vidrio. Se deja sedimentar de 24 a 48 horas, dependiendo del volumen de la cámara de sedimentación. La lectura se lleva a cabo en un microscopio invertido y se realiza el conteo e identificación de los organismos (AENOR, 2007).*	Recuento en transecto (número /mL) $= \frac{C x At}{L x W x S x V}$ C = Número de organismos contados At= Área total de la base de la cámara de sedimentación (mm^2) $At = \pi r^2$ L = Longitud del transecto (mm) W = Ancho del transecto (mm) S = Número de transectos contados V = volumen de la muestra sedimentada (mL) Nota: los resultados pueden ser expresados en Cel/mL, según se estime necesario.
	B. Zooplancton	
Se colecta 5 litros de muestra empleando una botella Van Dorn. El contenido se filtra en una malla de 20 micras, se colocan en botellas de plástico de 250 mL, etiquetadas con tinta resistente al agua y preservadas con formalina al 4% APHA-AWWA-WPCF sección 10200B – 10200G.	*Se realiza la filtración inversa a través de un tamiz <75 um, con la finalidad de eliminar el preservante. Se enjuagaó minuciosamente el tamiz con agua destilada. Se coloca un volumen conocido de la muestra en una cámara de Bogorov para su identificacion en el estereo microscopio* APHA-AWWA-WPCF sección 10200B – 10200G.	$N°/_{m^3} = \frac{C x V'}{V'' x V'''}$ C = Número de organismos contados V` = Volumen de la muestra concentrada mL V``= Volumen contado mL V´´´= Volumen de la muestra cogida m^3 Nota: los resultados pueden ser expresados en Organismos/m^3, según se estime necesario.
	C. Perifiton	
Se colecta muestras de perifiton encontradas sobre sustrato duro de preferencia de color verde, la muestra se obtiene realizando un raspado de la superficie sobre un área de 10 cm x 10 cm con un cepillo pequeño; se preserva con solución de Lugol al 1%, hasta notar un color coñac. APHA-AWWA-WPCF sección 10300 B – 10300 C.	*Se homogeniza la muestra, se toma una sub muestra de 1 mL , se coloca en una cámara de Sedgwick – Rafter, se deja sedimentar por 15 min, para su lectura se emplea un microscopio invertido, se observa a una magnitud no mayor de 200X y se realiza el conteo e identificación de los organismos expresando número de Org./ mm^2* APHA-AWWA-WPCF sección 10300 B – 10300 C.	Organismos / $mm^2 = \frac{N x A_T x V_T}{A_C x V_S x A_S}$ N: Número de organismos contados. AT: Área total del fondo de la cámara mm^2 VT: Volumen total de la suspensión de la muestra original mL. AC: Área contada (tiras o campo) Vs: Volumen de la muestra utilizada en la cámara mL. AS: Área de la superficie de la lámina o sustrato, mm^2 Nota: los resultados pueden ser expresados en Organismos/cm^2, según se estime necesario.
	D. Macrobentos.	
Se colectan muestras con draga Ekman. La muestra se deposita en un tamiz y se somete a enjuagues sucesivos, lo retenido dentro del tamiz, se coloca en un frasco y preserva con formalina al 4% para su análisis. APHA-AWWA-WPCF sección 10500 B – 10500 C.	Para analizar macroinvertebrados bentónicos se tamiza la muestra en 500 µm. El material retenido, se coloca en bandejas independientes rotuladas. Se analiza en un microscopio estereoscopio y separa los organismos por categorías taxonómicas.	Se realiza el conteo e identificación de los organismos expresados en Nº indiv. /0,05m^2.

Mapeo y caracterización de los bordes circunlacustre a los ecosistemas alto andino

Para la elaboración de los mapas de ubicación de las estaciones de muestreo por cada humedal, se utilizó el programa ArcGIS; asimismo, como base de imágenes satelitales se utilizó el Basemaps (el cual es provisto por el mismo programa). Para la identificación, dimensión y denominación de cada laguna, se utilizó como base las cartas nacionales de los cuadrantes 28 (p – q) y 29 (p – q), la descripción de la geomorfología del entorno circunlacustre se utilizó información del Geocatmin (2019) y, por último, para la descripción de los ecosistemas predominantes, se utilizó información del mapa de ecosistemas del Ministerio del Ambiente.

Determinación de la cobertura espacial

Para determinar la cobertura espacial de cada uno de los cuatro humedales, así como su variación en diferentes periodos de tiempo, se utilizó la teledetección mediante el procesamiento de imágenes satelitales ópticas, de la plataforma Landsat 5 y 8, de los años 1987, 2013 y 2023. El procesamiento se llevó a cabo con el programa ArcGIS, con el cual, se calculó el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI por sus siglas en inglés), permitiendo identificar y diferenciar masas de agua del tipo de sustrato continental, así como, delimitar el cuerpo de agua y compararlo en diferentes periodos de tiempo. Para ello, se utilizaron la Banda 3 (verde) y la Banda 5 (infrarrojo cercano) del Landsat 8, así mismo, la Banda 2 (verde) y Banda 4 (infrarrojo cercano), del Landsat 5.

Determinación de calidad del agua

Según Rueda Sevilla *et al*. (2005), las especies indicadoras son aquellos organismos (o restos de estos) que ayudan a descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento actual (o pasado) relacionado con el estudio de un ambiente (Tabla 3).

Tabla 3.- Indicadores biológicos

Índice	Fórmula	Rangos	
A. Índice Shannon &Wiener (H´)			
Se usa en ecología para medir la biodiversidad. Este índice se representa normalmente como H′ y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 1 y 5.	$H' = \sum_{i=1}^{s} (\mathbf{pi})(\mathbf{log}\ 2pi)$ **H′=** Índice de Diversidad de Shannon-Wiener **S=** Número de especies **pi=** proporción de la abundancia de la especie y del total de la muestra.	Índices	Tipo de Diversidad
		0,0 – 1,5	Poca Diversidad
		1,6 – 3,0	Mediana Diversidad
		3,1 – 5,0	Alta Diversidad
B. *Índice de Margalef* (DMg)			
Es una medida utilizada en ecología para estimar la biodiversidad de una comunidad con base en la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada, esenciales para medir el número de especies en una unidad de muestra (Margalef, 1955).	$DMg = (S - 1)/\ ln\ N$ S = Número de especies N= Número Total de Individuos.	Índices	Tipo de Biodiversidad
		< 2	Baja biodiversidad (en general resultado de efectos antropogénicos)
		2 a 5	Mediana biodiversidad
		> 5	Alta biodiversidad
C. Índice ***I.D.G*** (Índice Diatómico Generalizado de grupos ecológicos)			
Aplicado por Coste y Ayphassorho (1991) a la comunidad del fitoplancton bentónico (perifiton), este índice toma como referencia las especies de la división Bacillariophyta (diatomeas), al ser conspicuos en los ecosistemas acuáticos de agua dulce, además de presentar especies sensibles a contaminación. Se determina por tres variables: La Sensibilidad a la polución de cada especie (S) que toma valores desde 1 (más resistente) hasta 5 (más sensible), Amplitud ecológica (V) que va desde 1 (forma ubicua) hasta 3 (forma característica) y por último la Abundancia expresada en porcentaje	$IDG = \frac{\sum_{j=1}^{j} Aj\ Sj\ Vj}{\sum_{j=1}^{n} Aj\ Vj}$ Aj = Abundancia Sj = Sensibilidad a la polución (1 a 5) Vj = Valor indicativo de la especie (1 a 3). **Nota**: Los valores del I.D.G. van de 1 a 5 en orden decreciente de los niveles de contaminación. Con esta fórmula el valor del índice que obtenemos sólo podrá variar entre 1 y 5, rango establecido para la clasificación de la calidad de las aguas.	Valor	Significado
		IDG>4,5	Calidad biológica óptima
		4<IDG<4,5	Calidad normal. Polución débil
		3.5<IDG<4	Polución moderada. Eutrofización
		3<IDG<3,5	Polución media. Eutrofización acentuada
		2<IDG<3	Desaparición de especies sensibles. Polución fuerte
		1<IDG<2	Polución muy fuerte
		IDG=0	La población es considerada como inexistente. Polución tóxica

D. Índice de Equidad de Pielou (J´)		
Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máximaJ diversidad esperada (Magurran, 1988).	$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$ Donde $H'_{max} = \ln(S)$	Mide la uniformidad de un ecosistema, basada en la diversidad observada respecto a la diversidad que se podría obtener con el mismo número de especies, pero con una equidad máxima. Toma valores de 0 a 1, toma el valor de 1 cuando todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 1988). Los valores cercanos a uno indican un muy buen estado ecológico y los cercanos a cero un mal estado. (Van de Bund & Solimini, 2007).

Abundancia y Riqueza: El estudio de la diversidad biológica es un tema central en ecología de comunidades (Magurran, 1988). Para el análisis de los datos, se consideró en primer lugar la riqueza y composición de las especies registradas en las estaciones de muestreo.

Determinación de calidad ambiental de ecosistemas acuáticos, usando organismos bentónicos

Para caracterizar a los principales organismos que abundan en cada estación de muestreo por humedal, se consultó a Roldán Pérez (1996). Esta guía relaciona el estado ecológico de cada estación de muestreo con los Phylum, las cuales son indicadores biológicos.

Obtención de cepas potenciales para actividad acuícola

En el Banco de Germoplasma de Organismos Acuáticos – BGOA, se realizó el proceso de aislamiento y obtención de cepas de acuerdo al manual de Tenorio *et al*. (2023). A partir de muestras del medio natural, se sacaron alícuotas para la observación y selección de células o colonias para aislar usando el microscopio invertido Nikon Eclipse 50i. Para ello, se utilizaron placas multipocillos de acrílicos estériles con medio de cultivo CHU, donde se depositaron células seleccionadas y aisladas bajo microscopio. Al cabo de 40 a 45 días, los pocillos positivos fueron los que presentaron una coloración verde, estos se observaron al microscopio y, dentro de una campana de flujo laminar ESCO con filtros ULPA, se trasladaron muestras a tubos de vidrio tapa rosca de 10 mL de capacidad con nuevo medio de cultivo CHU, que se colocaron en el cepario a 18 °C, foroperiodo de 12:12 luz: oscuridad e iluminación de 45 mmol/m^2/seg. Una vez obtenida la cepa, se procedió a realizar la identificación morfológica mediante claves taxonómicas como las de Hegewald *et al.* (1976), Stancheva y Sheath (2009), Hegewald *et al.* (2010) y de Hall y McCourt (2015) para posteriormente colocar la codificación correspondiente.

3. RESULTADOS

LAGUNA SUYTUCCOCHA

Está ubicada a 4.262 m.s.n.m, localizada entre 13°49'37,52"S y 73°16'34,79"O. El acceso es a través del sistema vial de la carretera asfaltada Andahuaylas – Centro comunitario Pumabucho – Aeropuerto Andahuaylas – Huinchos – Huancabamba – Laguna Suytuccocha (Fig. 2). En la Tabla 1 se dan las posiciones geográficas en las que se efectuaron los muestreos.

La laguna Suytuccocha presenta 1.230.073 m^2 de superficie, perímetro de 8.701 m y parámetro morfométrico (DL) igual a 2,21 calificado como de forma Subrectangular alargado (Hutchinson, 1957; Timms, 1992). Su profundidad máxima es de 32 m y mínima es 1,5 m, cuyo promedio oscila de 16,45 ± 10,77 m a 18,71 ± 12,06 m. La composición predominante del sustrato fue tipo fino y la vegetación césped de puna (hasta 15 m de la orilla).

Asimismo, la dimensión de la laguna es: largo 2.302 m y ancho 560 m, tiene 86,71 ha. La geomorfología del entorno, presenta montaña de roca intrusiva, mientras que, al sur, depósitos morrénicos (Geocatmin, 2019).

Cobertura espacial

Las imágenes de octubre 1987; agosto 2013 y junio 2023, respectivamente (Fig. 3), indican que, en el transcurso de ese periodo, la laguna tuvo un incremento del cuerpo húmedo, en la zona noreste. Cabe señalar que en el año 1987 nos encontrábamos en periodo Niño, y en el 2023 en un periodo con anomalías climáticas previa al fenómeno climático mencionado.

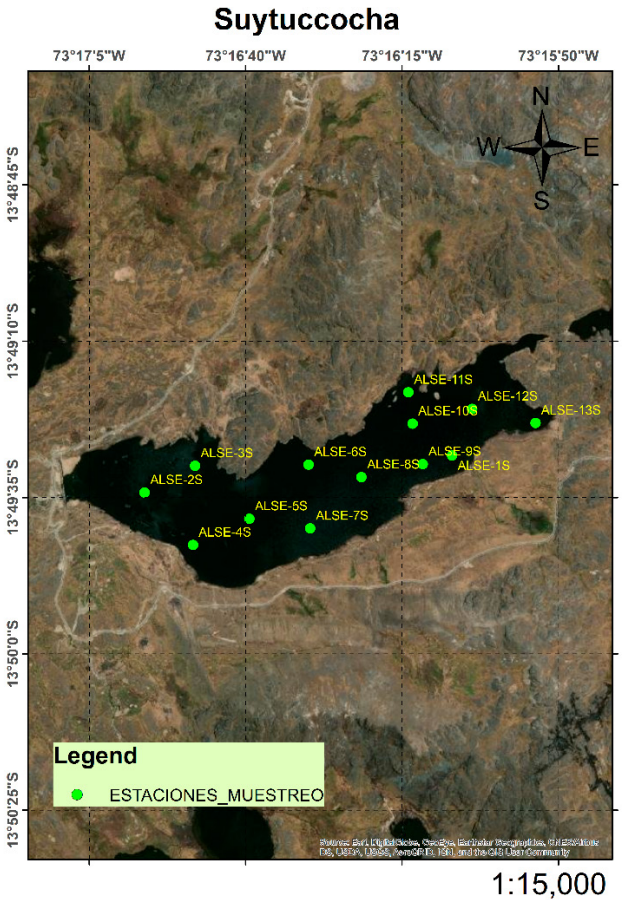

Figura 2.- Vista horizontal e imagen de las estaciones de muestreo de la Laguna Suytuccocha

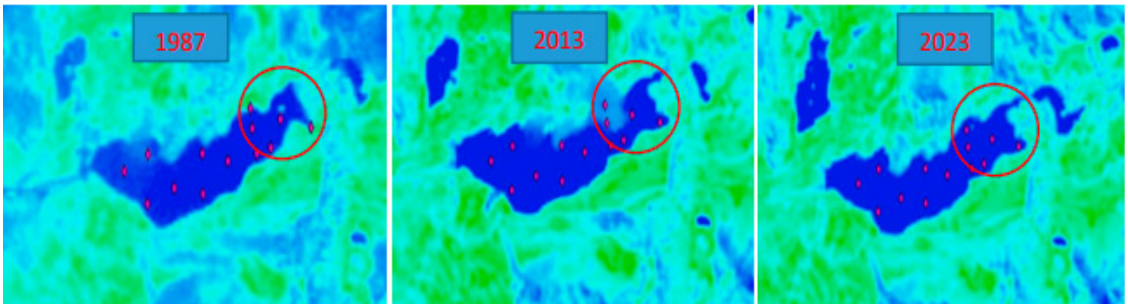

Figura 3.- Cobertura espacial de la laguna Suytuccocha en el período 1987 al 2023

Parámetros físico-químicos y de calidad microbiológica

En la Tabla 4 se da a conocer el promedio de los parámetros evaluados en los meses de julio y noviembre; mientras en la Tabla 5 se encuentra el promedio de los parámetros de la calidad microbiológica.

Fitoplancton

En los Anexos 1 y 2 se dan características generales del fitoplancton.

De acuerdo a la abundancia relativa destacó la división Chlorophyta (Tabla 6) y tomando en cuenta la distribución de abundancia de especies el género representativo fue *Botryococcus braunii* (Tabla 7).

Tabla 4.- Promedio de los parámetros físico-químicos registrados en laguna Sutuyccocha. 2021

Laguna	Suytuccocha					
Parámetros físico-químicos	Julio		Noviembre		Prom+/-DE	
Temperatura del agua (°C):	11,00	±0,74	11,07	± 0,48	11,03	± 0,61
pH (UpH):	7,00	± 0,20	7,00	± 0,20	7,00	± 0,20
Oxígeno Disuelto (mg/L):	7,00	± 0,54	7,31	± 0,33	7,15	± 0,43
Dureza Total (mg/L):	90,00	± 7,07	75,38	± 3,80	82,69	± 5,43
CO_2 (mg/L):	2,00	± 0	2,00	± 0	2,00	± 0
DBO_5 (mg/L):	3,70	± 1,67	4,99	± 2,73	4,35	± 2,20
Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$):	21,05	± 7,50	38,23	± 8,60	29,64	± 8,05
Cloruro (mg/L):	7,15	± 1,46	6,92	± 1,38	7,04	± 1,42
Turbidez (NTU)	1,23	± 0,20	0,36	± 0,20	0,80	± 0,20
Transparencia (m):	5,10	± 0	5,00	± 0	5,05	± 0

Tabla 5.- Promedio de los parámetros de calidad microbiológica (NMP/100 mL), Laguna Sutuyccocha. 2021

Laguna	Puntos de muestreo	Coliformes Totales		Coliformes Termotolerantes	
		Jul	Nov	Jul	Nov
Suytuccocha	ALSE-1	2	1,8	1,8	1,8
	ALSE-2	1,8	1600	1,8	1,8
	ALSE-3	6,8	1,8	1,8	1,8
	ALSE-4	4,5	1,8	1,8	1,8
	ALSE-5	<1,8	1,8	1,8	1,8
	ALSE-6	4,5	240000	1,8	2
	ALSE-7	4,5	1,8	1,8	1,8
	ALSE-8	6,8	1,8	1,8	1,8
	ALSE-9	7,8	1,8	1,8	1,8
	ALSE-10	33	4,5	1,8	1,8
	ALSE-11	-	2	-	1,8
	ALSE-12	17	79	1,8	2
	ALSE-13	7,8	23	1,8	1,8
PROMEDIO		8,2	18593,9	1,8	1,8
DE±		± 8,76	± 66525,70	± 0,50	± 0,08

Tabla 6.- Nº Indiv (Org/L) y abundancia relativa (%) del fitoplancton, Laguna Suytuccocha. 2021

PHYLUM	Julio		Noviembre	
	Org/L	%	Org/L	%
CHLOROPHYTA	464490	95,42	2210	34,55
BACILLARIOPHYTA	21143	4,34	3798	59,37
CHAROPHYTA	769	0,16	286	4,47
DINOPHYTA	168	0,03	103	1,61
EUGLENOPHYTA	201	0,04	0	0
TOTAL	486771	100	6397	100

Tabla 7.- Promedio del conteo de fitoplancton en Laguna Suytuccocha. 2021

Phylum / Especie	Org/L		Phylum / Especie	Org/L	
	Julio	Noviembre		Julio	Noviembre
BACILLARIOPHYTA	21143	3798	CHLOROPHYTA	464490	2210
Nitzschia sigmoidea	464	171	*Sphaerocystis schroeteri*	141733	1197
Nitzschia sp.	0	108	*Sphaerocystis* sp. *(colonia)*	0	222
Cymbella sp.	3258	90	*Gloeocystis* sp.	538	276
Cymbella sp2.	0	38	*Botryococcus braunii*	319528	304
Cymbella lanceolata	0	140	*Oocystis* sp.	2691	211
Gomphonema sp.	369	312	CHAROPHYTA	769	286
Gomphonema acuminatum	0	133	*Closterium* sp.	156	47
Encyonema sp.	0	698	*Closterium acutum*	0	55
Cocconeis sp.	698	9	*Cosmarium* sp.	181	0
Epithemia argus	0	94	*Staurastrum* sp.	129	66
Epithemia sp.	0	47	*Hyalotheca* sp.	120	73
Navicula sp1.	0	12	*Gonatozygon* sp.	183	45
Navicula sp2.	0	12	DINOPHYTA	168	103
Frustulia rhomboides	0	22	*Peridinium* sp.	168	103
Pinnularia sp.	0	17	EUGLENOPHYTA	201	0
Tabellaria floculossa	283	300	*Trachelomonas* sp.	201	0
Tabellaria sp.	6705	518			
Asterionella sp.	552	133			
Diatoma sp.	7926	223			
Meridion sp.	101	80			
Hannaea sp.	105	40			
Ulnaria ulna	0	84			
Discotella stelligera	0	131			
Cyclotella sp.	116	386			
Navicula sp.	566	0			

Tabla 8.- Nº Individuos (Organismos/m^3), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de fitoplancton, Laguna Suytuccocha, 2021

Índices de diversidad	Julio		Noviembre	
	Prom.	± DE	Prom.	± DE
N° Individuos (Org./L)	37444	± 18206	492	± 71
Riqueza específica (S)	23	± 0.0	19	± 2
Índice Margalef (DMg)	2,113	± 0,093	2,932	± 0,286
Indice de Shannon - Weaver (H')	0,905	± 0,185	2,555	± 0,123
Equidad de Pielou (J')	0,289	± 0,059	0,867	± 0,028

Determinación de calidad del agua mediante indicadores biológicos

La mayor riqueza y abundancia del fitoplancton, se registró en julio con la presencia de 23 géneros y 37444 Org/L; la biodiversidad alcanzó nivel medio, según los índices de Shannon - Wiener (H´) y de Margalef (DMg); y buen estado ecológico de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´) (Tabla 8).

Zooplancton

El Phylum predominante fue Arthropoda (Tabla 9). De acuerdo a la distribución de la abundancia de especies el género representativo fue *Pleuroxus* sp. del Phylum Arthropoda (Tabla 10).

Determinación de calidad del agua mediante indicadores biológicos

La mayor riqueza y abundancia del zooplancton, se registró en el mes de julio con la presencia de 10 géneros y 16356 Org/L; la biodiversidad alcanzó un nivel bajo, según los índices de Margalef (DMg) y de Shannon - Wiener (H´); y un estado ecológico medio de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´) (Tabla 11).

Tabla 9.- Nº Indiv (Org/m³) y abundancia relativa (%) del zooplancton, Laguna Sutuyccocha, 2021

PHYLUM	Julio		Noviembre	
	Org/m³	%	Org/m³	%
ARTHROPODA	186654	87,78 %	36405	43,62
ROTIFERO	25978	12,22 %	47047	56,38
TOTAL	212632	100 %	83452	100

Perifiton

El grupo predominante fue Bacillariophyta (Tabla 12). De acuerdo a la distribución de abundancia de especies, el género predominante fue *Ulnaria ulna* de la División Bacillariophyta (Tabla 13).

Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos

Macrobentos

La mayor riqueza y abundancia del perifiton, se registró en julio, con la presencia de 28 géneros y 25812 Org/L; la biodiversidad alcanzó un nivel medio, según los índices de Margalef (DMg) y Shannon - Wiener (H´); estado ecológico medio en noviembre de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´) (Tabla 14).

Tabla 10.- Promedio del conteo de zooplancton en Laguna Sutuyccocha, 2021

Phylum / Especie	Org/m³		Phylum / Especie	Org/m³	
	Julio	Noviembre		Julio	Noviembre
ARTHROPODA	186654	36405	ROTIFERO	25978	47047
Daphnia sp.	14713	0	*Keratella cochlearis*	289	289
Daphnia pulex	0	2400	*Lecane* sp.	2810	0
Boeckella sp.	0	17400	*Lecane lunaris*	0	2741
Metacyclops sp.	0	600	*Cephalodella* sp.	0	3304
Pleuroxus sp.	147939	0	*Trichocerca* sp.	19225	38010
Ceriodaphnia sp.	355	245	*Polyarthra* sp.	3541	2590
Chydorus sp.	2747	1350	*Filinia* sp.	113	113
Hydrozetes sp.	0	200			
Eucyclops sp.	20900	14210			

Tabla 11.- Nº Individuos (Organismos/m³), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de zooplancton, Laguna Sutuyccocha, 2021

Índices de diversidad	**Julio**		**Noviembre**	
	Prom.	**± DE**	**Prom.**	**± DE**
N° Individuos (Org./m³)	16356	± 7085	6419	± 5552
Riqueza especifica (S)	10	± 0,4	7	± 2
Índice Margalef (DMg)	0,929	± 0,070	0,651	± 0,172
Indice de Shannon - Weaver (H')	1,107	± 0,264	0,933	± 0,262
Equidad de Pielou (J')	0,484	± 0,117	0,508	± 0,120

Tabla 12.- Nº Indiv (Org/cm²) y abundancia relativa (%) del Perifiton, Laguna Suytuccocha, 2021

PHYLUM	Julio		Noviembre	
	Org/cm²	%	Org/cm²	%
ARTHROPODA	6007	1,79	430	4,97
BACILLARIOPHYTA	205004	61,09	5965	69,00
CHAROPHYTA	489	0,15	537	6,21
CHLOROPHYTA	58442	17,42	719	8,32
CYANOBACTERIA	62961	18,76	538	6,22
EUGLENOPHYTA	2107	0,63	150	1,74
PROTOZOA	311	0,09	183	2,12
ROTIFERA	236	0,07	123	1,42
TOTAL	**335557**	**100**	**8645**	**100**

Tabla 13.- Promedio del conteo de Perifiton en Laguna Suytuccocha, 2021

Phylum / Especie	Org/cm²		Phylum / Especie	Org/cm²	
	Julio	Noviembre		Julio	Noviembre
ARTHROPODA	6007	430	**CHLOROPHYTA**	58442	719
Pleuroxus sp.	3355	419	*Sphaerocystis schroeteri*	333	58
Eucyclops sp.	2652	11	*Ankistrodesmus* sp.	0	75
			Scenedesmus sp. *(cenobio)*	0	21
BACILLARIOPHYTA	205004	5965	*Scenedesmus arcuatus (cenobio)*	0	13
Denticula sp.	339	163	*Scenedesmus cf. bijuga (cenobio)*	0	18
Nitzschia palea	53189	8	*Tetraspora* sp.	1209	0
Nitzschia sp.	0	66	*Pandorina* sp.	25	0
Achnantes lanceolata	0	1569	*Ulothrix* sp1.	39969	438
Gomphonema acuminatum	0	21	*Ulothrix* sp2.	16906	96
Cymbella cistula	243	0	**CYANOBACTERIA**	62961	538
Cymbella lanceolata	0	330	*Chroococcus* sp.	3668	73
Cymbella sp1.	0	89	*Gloeocapsa* sp.	15094	99
Cymbella sp2.	0	163	*Westiellopsis* sp.	20689	114
Encyonema sp.	0	441	*Anabaena* sp.	0	5
Epithenia sp.	0	139	*Nostoc* sp.	2529	0
Rhopalodia gibba	190	53	*Oscillatoria* sp.	0	10
Diatoma vulgaris	235	0	*Oscillatoria tenuis* (filamento)	0	65
Amphora sp.	217	0	*Phormidium* sp.	75	1
Fragilaria crotonensis	43546	20	*Borzia* sp. *(filamento)*	*0*	19
Navicula sp1.	0	190	*Merismopedia* sp.	36	36
Navicula sp2.	0	235	*Pseudanabaena* sp.	20870	116
Pinnularia sp.	0	34	**EUGLENOPHYTA**	2107	150
Amphora sp.	0	17	*Trachelomonas* sp.	2107	150
Diatoma vulgaris	0	9	**ROTIFERA**	236	123
Tabellaria floculossa	0	2056	*Trichocerca* sp.	134	48
Fragilaria sp.	0	304	*Keratella cochlearis*	35	35
Ulnaria acus	50751	43	*Trichocerca* sp.	67	40
Ulnaria ulna	56294	15	**PROTOZOA**	311	183
CHAROPHYTA	489	537	*Arcella* sp.	204	90
Cosmarium sp.	81	39	*Centropyxis* sp.	41	55
Closterium sp.	0	40	*Hyalosphenia* sp.	66	38
Closterium leiblenii	0	70			
Mougeotia sp. (filamento)	0	82			
Staurastrum gracile	0	23			
Netrium sp.	82	82			
Spirogyra sp.	187	109			
Zygnema sp.	139	92			

Tabla 14.- Nº Individuos (Organismos/cm²), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de Perifiton, Laguna Suytuccocha, 2021

Índices de diversidad	Julio		Noviembre	
	Prom.	± DE	Prom.	± DE
N° Individuos (Org./cm²)	25812	± 9553	665	± 147
Riqueza especifica (S)	28	± 5.3	36	± 2
Índice Margalef (DMg)	2,722	± 0,511	5,414	± 0,316
Indice de Shannon - Weaver (H')	1,936	± 0,286	2,760	± 0,161
Equidad de Pielou (J')	0,579	± 0,059	0,770	± 0,038

Tabla 15.- Nº Indiv (Org/0,05 m²) y abundancia relativa (%) del macroinvertebrados, Laguna Sutuyccocha, 2021

PHYLUM	Julio		Noviembre	
	Org/0,05 m²	%	Org/0,05 m²	%
ANNELIDA	454	36,47	1673	27,92
ARTHROPODA	791	63,53	4320	72,08
TOTAL	**1245**	**100**	**5993**	**100**

Tabla 16.- Promedio del conteo de macroinvertebrados en Laguna Sutuyccocha. 2021

Phylum / Especie	Org/0,05 m²		Phylum / Especie	Org/0,05 m²	
	Julio	Noviembre		Julio	Noviembre
ARTHROPODA	791	4320	ANNELIDA	454	1673
Cricotopus sp.	118	118	Helobdella stagnalis	142	63
Ablabesmyia sp.	215	215	*Tubifex* sp.	0	1060
Cricotopus sp.	380	0	*Nais* sp.	312	550
Polypedilum sp.	0	150			
Rheotanytarsus sp.	0	400			
Alona sp.	0	1021			
Chlamydotheca sp.	0	138			
Limnocythere sp.	0	1114			
Hydrozetes sp.	0	1072			
Hyalella sp.	78	92			

Tabla 17.- Nº Individuos (Organismos/0,05 m²), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de macroinvertebrados, Laguna Sutuyccocha. 2021

Índices de diversidad	Julio		Noviembre	
	Prom.	± DE	Prom.	± DE
N° Individuos (Org. /0,05 m²)	96	± 45	461	± 178
Riqueza especifica (S)	6	± 0	8	± 1
Índice Margalef (DMg)	1,128	± 0,106	1,128	± 0,080
Indice de Shannon - Weaver (H')	1,645	± 0,125	1,533	± 0,135
Equidad de Pielou (J')	0,918	± 0,070	0,746	± 0,060

Mientras que el IDG en promedio fue 3,37 con ±DE de 1,88 indicando Polución media. Eutrofización acentuada en este cuerpo de agua. El Phylum predominante fue Arthropoda (Tabla 15). De acuerdo a la distribución de abundancia de especies, en noviembre el género predominante fue *Limnocythere* sp., del Phylum Arthropoda (Tabla 16).

Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos

La mayor riqueza y abundancia del macrobentos, se registró en noviembre con presencia de ocho géneros y 461 Org/L; la biodiversidad alcanzó un nivel bajo, según los índices de Margalef (DMg) y de Shannon - Wiener (H´); y un estado ecológico bueno de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´) (Tabla 17).

Los resultados registran que, en ambos periodos de muestreo, la mayor abundancia de los organismos bentónicos fue Arthropoda, los cuales según su ecología son organismos indicadores de buena calidad acuática.

LAGUNA ORCCOCOCHA

Está ubicada a 4.442 m.s.n.m, localizada en 13°55'12,17"S y 72°43'29,97"O. El acceso es a través del sistema vial de la carretera asfaltada Abancay – San Judas Tadeo – Hacienda Matará – Soccospampa – Urpipampa – Abra Taccata – Lambrama - Laguna Orccococha (Fig. 4). En la Tabla 1 se dan las posiciones geográficas en las que se efectuaron los muestreos.

La laguna Orccococha presenta una superficie de 1.463.115 m², perímetro igual a 7.415 m y parámetro morfométrico (DL) igual a 1,73 calificado como de forma T (Hutchinson, 1957; Timms, 1992). Su profundidad máxima es de 20 m y su

mínima es 4 m, cuyo promedio oscila de 8,64 ± 4,54 a 10,69 ± 5,05 m. La composición predominantemente del sustrato fue del tipo fino y la vegetación césped de puna (hasta 15 m de la orilla).

Asimismo, la dimensión de la laguna es: largo 1.993 m y ancho 1.045 m, tiene 140,28 ha. La geomorfología del entorno, por el norte tiene una montaña de origen sedimentario y roca intrusiva, en la parte sur oeste, presenta depósitos morrénicos (Geocatmin, 2019).

Cobertura espacial

Las imágenes de octubre de 1987; de agosto del 2013 y junio del 2023 respectivamente (Fig. 5), indican que, en el transcurso de ese periodo, la laguna no mostró variación espacial alguna del cuerpo húmedo. Cabe señalar que en el año 1987 nos encontrábamos en periodo Niño, y en el 2023 en un periodo con anomalías climáticas previa al fenómeno climático mencionado.

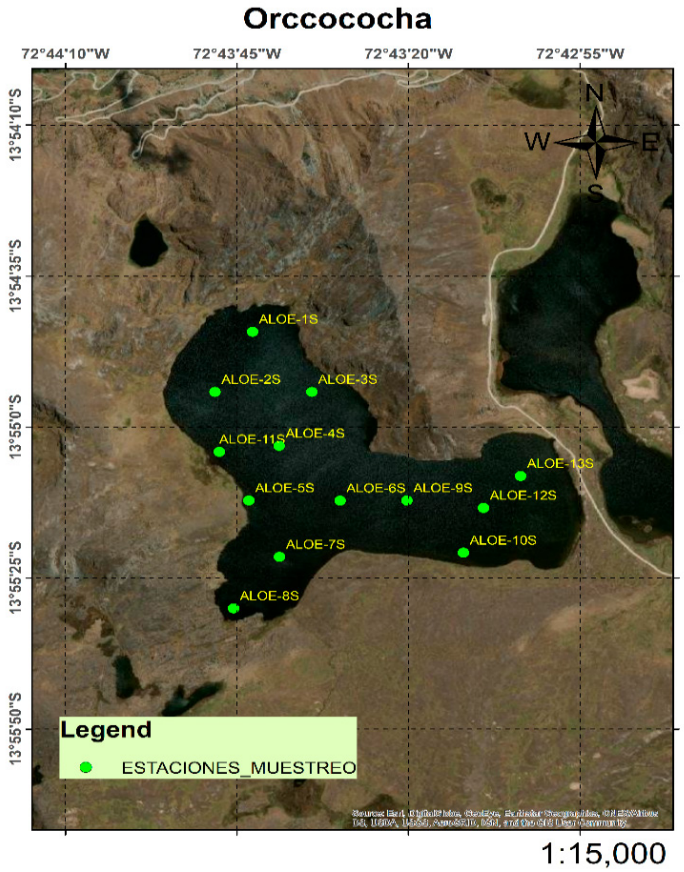

Figura 4.- Vista horizontal e imagen de las estaciones de muestreo de la Laguna Orccococha

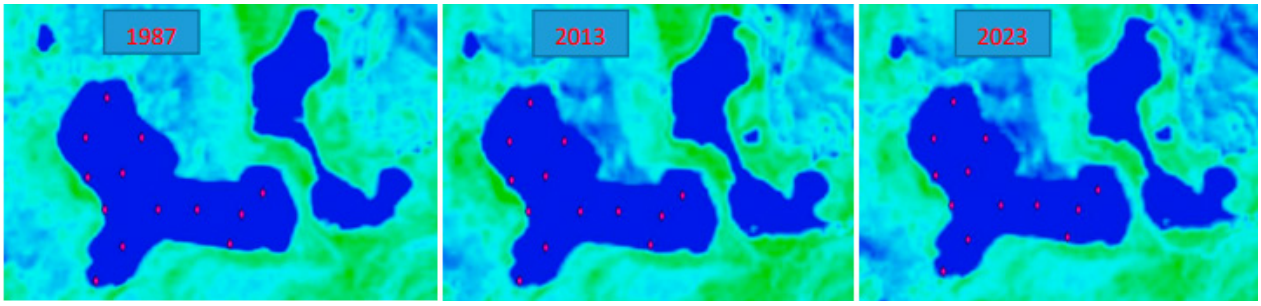

Figura 5. Cobertura espacial de la laguna Orccococha en el período 1987 al 2023

Parámetros físico-químicos

En la Tabla 18 se da a conocer el promedio de los parámetros evaluados en los meses de julio y noviembre 2021.

Parámetros de calidad microbiológica

En la Tabla 19 se da a conocer el promedio de los parámetros de calidad microbiológica.

Tabla 18.- Promedio de los parámetros físico-químicos registrados en laguna Orccococha. Julio – Noviembre, 2021

Laguna	Orccococha					
Parámetros físico-químicos	Julio		Noviembre		Prom+/-DE	
Temperatura del agua (°C):	9,54	± 0,11	11,88	± 0,44	10,71	± 0,27
pH (UpH):	6,96	± 0,32	7,15	± 0,24	7,06	± 0,28
Oxígeno Disuelto (mg/L):	7,04	± 0,25	6,31	± 0,25	6,67	± 0,25
Nitrito (mg/L)	0,04	± 0,09	0	± 0	0,02	± 0,05
Dureza Total (mg/L):	64,94	± 8,90	63,85	± 14,16	64,39	± 11,53
Nitrógeno Amoniacal (mg/L NH_3):	0,13	± 0,05	0	± 0	0,07	± 0,02
CO_2 (mg/L):	2,00	± 0	1,69	± 0,48	1,85	± 0,24
DBO_5 (mg/L):	1,83	± 0,60	4,48	± 1,85	3,15	± 1,23
Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$):	35,38	± 7,27	75,62	± 6,73	55,50	± 7,00
Cloruro (mg/L):	30,38	± 8,28	2,85	± 0,99	16,62	± 4,63
Turbidez (NTU)	1,06	± 0,16	0,35	± 0,24	0,70	± 0,20
Transparencia (m):	5,50	± 0	4,00	± 0	4,75	± 0

Tabla 19.- Promedio de los parámetros de calidad microbiológica (NMP/100 mL) registrados en Laguna Orccococha. Jul - Nov 2021

Laguna	Puntos de muestreo	Coliformes Totales		Coliformes Termotolerantes	
		Jul	Nov	Jul	Nov
Orccococha	ALOE-1	1,8	2	1,8	2
	ALOE-2	2	1,8	1,8	1,8
	ALOE-3	540	1,8	1,8	1,8
	ALOE-4	1,8	4,5	1,8	4,5
	ALOE-5	1,8	1,8	1,8	1,8
	ALOE-6	1,8	1,8	1,8	1,8
	ALOE-7	1,8	1,8	1,8	1,8
	ALOE-8	110	2	1,8	1,8
	ALOE-9	2	1,8	1,8	1,8
	ALOE-10	1,8	1,8	1,8	1,8
	ALOE-11	1,8	4,5	1,8	2
	ALOE-12	2	4	1,8	2
	ALOE-13	1,8	1,8	1,8	1,8
PROMEDIO		51,6	2,4	1,8	2,1
DE±		± 149,77	± 1,10	± 0,00	± 0,74

Tabla 20.- Nº Indiv (Org/L) y abundancia relativa (%) del fitoplancton, Laguna Orccococha, 2021

PHYLUM	Julio		Noviembre	
	Org/L	%	Org/L	%
BACILLARIOPHYTA	7921	58,57	5205	75,83
CHLAROPHYTA	1652	12,21	814	11,86
CRYPTOPHYTA	3740	27,65	638	9,29
CHLOROPHYTA	161	1,19	161	2,35
DINOFLAGELADOS	51	0,38	46	0,67
TOTAL	**13525**	**100**	**6864**	**100**

Tabla 21.- Promedio del conteo de fitoplancton en Laguna Orccococha, 2021

Phylum / Especie	Org/L		Phylum / Especie	Org/L	
	Julio	Noviembre		Julio	Noviembre
BACILLARIOPHYTA	**7921**	**5205**	**CHAROPHYTA**	**1652**	**814**
Cymbella minuta	181	134	*Staurodesmus* sp.	674	273
Cymbella lanceolata	0	228	*Gonatozygon* sp.	236	92
Cymbella sp1.	0	525	*Spyrogyra* sp.	55	64
Cymbella sp2.	0	313	*Closterium* sp1.	224	113
Encyonema sp.	0	108	*Cosmarium* sp1.	60	47
Epithemia argus	0	105	*Staurastrum* sp1.	403	225
Epithemia sp.	0	244	**CRYPTOPHYTA**	**3740**	**638**
Melosira varians	0	13	*Cryptomonas* sp.	3740	638
Navicula sp.	0	779	**CHLOROPHYTA**	**161**	**161**
Pinnularia sp.	0	88	*Oedogonium* sp.	51	51
Tabellaria floculossa	0	34	*Ankistrodesmus* sp.	71	71
Tabellaria sp.	0	1194	*Comasiella* sp1.	39	39
Cyclotella sp.	211	97	**DINOFLAGELADOS**	**51**	**46**
Nitzschia sp1.	358	230	*Peridinium* sp1.	51	46
Cocconeis sp.	305	101			
Tabellaria sp.	2362	0			
Fragilaria sp.	381	310			
Ulnaria sp.	135	135			
Hannaea sp.	69	32			
Cyclotella sp.	3919	535			

Fitoplancton

El Phylum predominante fue Bacillariophyta (Tabla 20). De acuerdo a la distribución de la abundancia de especies en el monitoreo de julio y noviembre el género representativo fue *Cyclotella* sp. del Phylum Bacillariophyta (Tabla 21).

Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos

La mayor riqueza y abundancia del fitoplancton, se registró en julio con la presencia de 17 géneros y 1040 Org/L; la biodiversidad alcanzó un nivel medio, según los índices de Margalef (DMg) y Shannon - Wiener (H´); además de un buen estado ecológico de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´) (Tabla 22).

Zooplancton

En la laguna Orccococha predomina el grupo Arthropoda (Tabla 23). De acuerdo a la distribución de la abundancia en octubre la especie representativa fue *Keratella cochlearis* del Phylum Rotifero (Tabla 24).

Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos

La mayor riqueza y abundancia del zooplancton, se registró en julio con la presencia de 17 géneros y 12187 Org/L; la biodiversidad alcanzó nivel bajo, según los índices de Margalef (DMg) y de Shannon - Wiener (H´); y estado ecológico medio de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´) (Tabla 25).

Tabla 22.- Nº Individuos (Organismos/L), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de fitoplancton, Laguna Orccococha, 2021

Índices de diversidad	Julio		Noviembre	
	Prom.	± DE	Prom.	± DE
N° Individuos (Org./L)	1040	± 350	528	± 132
Riqueza especifica (S)	17	± 2,8	17	± 2
Índice Margalef (DMg)	2,331	± 0,323	2,570	± 0,282
Indice de Shannon - Weaver (H')	1,948	± 0,162	2,351	± 0,155
Equidad de Pielou (J')	0,690	± 0,062	0,831	± 0,039

Tabla 23.- Nº Indiv (Org/m^3) y abundancia relativa (%) del zooplancton, Laguna Orccococha. 2021

PHYLUM	Julio		Noviembre	
	Org./m^3	%	Org./m^3	%
ARTHROPODA	25500	24,07	10519	14,65
PROTOZOA	6072	5,73	1727	2,41
ROTIFERA	74387	70,20	59552	82,94
TOTAL	**105959**	**100**	**71798**	**100**

Tabla 24.- Promedio del conteo de zooplancton en Laguna Orccococha, 2021

Phylum / Especie	Org./m^3		Phylum / Especie	Org./m^3	
	Julio	Noviembre		Julio	Noviembre
ARTHROPODA	25500	10519	**ROTIFERA**	74387	59552
Chydorus sp.	2515	826	*Filinia* sp.	2660	0
Daphnia sp.	9924	0	Keratella quadrata	1835	1060
Daphnia pulex	0	6891	*Keratella cochlearis*	57368	52544
Bosmina sp.	3261	1270	*Cephalodella* sp.	0	2412
Calanus sp.	1119	0	*Notholca* sp.	5873	1218
Boeckella occidentalis	5835	121	*Euchlanis* sp.	133	139
Acanthocyclops sp.	1964	529	*Ascomorpha* sp.	2468	1138
Eucyclops sp.	882	882	*Lecane* sp.	1249	1041
PROTOZOA	6072	1727	*Trichocerca* sp.	2552	0
Arcella sp.	1609	0	*Polyarthra* sp.	249	0
Centropyxis sp.	4463	1727			

Tabla 25.- Nº Individuos (Organismos/m^3), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de zooplancton, Laguna Orccococha, 2021

Índices de diversidad	Julio		Noviembre	
	Prom.	± DE	Prom.	± DE
N° Individuos (Org./m^3)	8151	± 3697	12187	± 3730
Riqueza especifica (S)	17	± 1,2	15	± 1
Índice Margalef (DMg)	1,805	± 0,087	1,457	± 0,160
Indice de Shannon - Weaver (H')	1,761	± 0,398	1,620	± 0,268
Equidad de Pielou (J')	0,623	± 0,143	0,604	± 0,088

Perifiton

El Phylum que predomina es Bacillariophyta (Tabla 26). De acuerdo a la distribución de la abundancia de las especies en octubre el género representativo fue *Fragilaria tenera* perteneciente al Phylum predominante (Tabla 27).

Tabla 26.- Nº Indiv (Org. /cm²) y abundancia relativa (%) del Perifiton, Laguna Orccococha. 2021

PHYLUM	Julio		Noviembre	
	Org. /cm²	%	Org. /cm²	%
ARTHROPODA	5354	1,17	39320	37,52
BACILLARIOPHYTA	263383	57,37	3032	2,89
CHAROPHYTA	2932	0,64	153	0,15
CHLOROPHYTA	118589	25,83	7581	7,23
CYANOBACTERIA	68451	14,91	19208	18,33
EUGLENOPHYTA	0	0	34694	33,11
PROTOZOA	0	0	196	0,19
ROTIFERA	426	0,09	613	0,58
TOTAL	**459135**	**100**	**104797**	**100**

Tabla 27.- Promedio del conteo de Perifiton en Laguna Orccococha, 2021

Phylum / Especie	Org. /cm²		Phylum / Especie	Org. /cm²	
	Julio	Noviembre		Julio	Noviembre
ARTHROPODA	**5354**	**39320**	**CHAROPHYTA**	**2932**	**153**
Daphnia sp.	2803	0	*Cosmarium* sp.	0	56
Bosmina sp.	2551	0	*Netrium* sp.	0	51
Pleuroxus sp.	0	25117	*Netrium digitus*	2021	0
Eucyclops sp.	0	14203	*Spyrogira* sp.	911	46
			CHLOROPHYTA	**118589**	**7581**
BACILLARIOPHYTA	**263383**	**3032**	*Pandorina* sp.	63632	0
Denticula sp.	63794	11	*Ankistrodesmus arcuatus*	3340	0
Mastogloia sp.	29105	0	*Chodatella* sp.	3651	0
Nitzschia sp.	0	55	*Ulothrix* sp1.	47966	4540
Nitzschia palea	240	13	*Sphaerocystis schroeteri*	0	1631
Nitzschia fonticola	23633	0	*Tetraspora* sp.	0	1207
Achnantes lanceolata	0	1297	*Pandorina* sp.	0	43
Caloneis amphisbaena	2498	0	*Ulothrix* sp1.	0	160
Stauroneis phoenicenteron	4596	0	**CYANOBACTERIA**	**68451**	**19208**
Synedra sp.	13729	0	*Chroococcus* sp.	5972	1631
Ulnaria ulna	52430	0	*Gloeocapsa* sp.	33857	4992
Cyclostephanos sp.	4106	0	*Westiellopsis* sp.	6735	7255
Gomphonema acuminatum	0	28	*Aphanocapsa* sp.	11167	0
Cymbella lanceolata	0	74	*Nostoc* sp.	0	3043
Cymbella sp1.	0	122	*Phormidium* sp.	0	24
Cymbella sp2.	0	43	*Merismopedia elegans*	4883	41
Epithemia sp.	0	323	*Pseudanabaena* sp.	5837	2222
Rhopalodia gibba	0	8	**EUGLENOPHYTA**	**0**	**34694**
Frustulia rhomboides	0	9	*Trachelomonas* sp.	0	34694
Navicula sp1.	0	82	**PROTOZOA**	0	196
Navicula sp2.	0	36	*Arcella* sp.	0	118
Pinnularia sp.	0	22	*Centropyxis* sp.	0	62
Amphora sp.	0	11	*Hyalosphenia* sp.	0	16
Diatoma vulgaris	0	9	**ROTIFERA**	**426**	**613**
Tabellaria floculossa	0	780	*Trichocerca* sp.	0	46
Fragilaria sp.	0	109	*Keratella cochlearis*	0	99
Fragilaria tenera	69252	0	*Cephalodella sp.*	426	468

Determinación de calidad del agua mediante indicadores biológicos

La mayor riqueza y abundancia del perifiton, se registró en noviembre con la presencia de 21 géneros y 35318 Org/L; la biodiversidad alcanzó nivel medio, según los índices de Margalef (DMg) y Shannon - Wiener (H´); estado ecológico medio de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´) (Tabla 28).

Mientras que el IDG en promedio fue 3,46 con ±DE 1,14 indicando Polución media y eutrofización acentuada en este cuerpo de agua.

Macrobentos

El Phylum predominante fue Arthropoda (Tabla 29). De acuerdo a la distribución de abundancia de especies, predominó el género *Polypedilum*, del Phylum Arthropoda (Tabla 30).

Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos

La mayor riqueza y abundancia del macrobentos, se registró en noviembre con la presencia de siete géneros y 678 Org/L; la biodiversidad alcanzó nivel bajo, según los índices de Margalef (DMg) y de Shannon - Wiener (H´); y estado ecológico medio de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´) (Tabla 31).

Tabla 28.- Nº Individuos (Org/cm^2), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de Perifiton, Laguna Orccococha, 2021

Índices de diversidad	Julio		Noviembre	
	Prom.	± DE	Prom.	± DE
N° Individuos (Org./cm^2)	35318	± 12302	8067	± 4336
Riqueza especifica (S)	19	± 4,9	21	± 3
Índice Margalef (DMg)	1,726	± 0,443	2,284	± 0,373
Indice de Shannon - Weaver (H')	2,110	± 0,404	1,667	± 0,314
Equidad de Pielou (J')	0,721	± 0,098	0,547	± 0,095

Tabla 29.- Nº Indiv (Org./0,05 m^2) y abundancia relativa (%) del macroinvertebrados, Laguna Orccococha, 2021

PHYLUM	Julio		Noviembre	
	Org./0,05 m^2	%	Org./0,05 m^2	%
ANNELIDA	120	27,27	80	0,91
ARTHROPODA	320	72,73	8737	99,09
TOTAL	**440**	**100**	**8817**	**100**

Tabla 30.- Promedio del conteo de macroinvertebrados en Laguna Orccococha, 2021

Phylum / Especie	Org. /0,05 m^2		Phylum / Especie	Org. /0,05 m^2	
	Julio	Noviembre		Julio	Noviembre
ARTHROPODA	**320**	**8737**	**ANNELIDA**	**120**	**80**
Chironomus sp.	85	85	*Nais* sp.	120	80
Rheotanytarsus sp.	0	1320			
Polypedilum sp.	0	2921			
Polycentropus sp.	141	141			
Alona sp.	0	669			
Herpetocypris sp.	0	484			
Limnocythere sp.	0	1609			
Hydrozetes sp.	0	1414			
Hyalella sp.	94	94			

Tabla 31.- Nº Individuos (Org. /0,05 m^2), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de macroinvertebrados, Laguna Orccococha, 2021

Índices de diversidad	Julio		Noviembre	
	Prom.	± DE	Prom.	± DE
N° Individuos (Org. /0,05 m^2)	34	± 22	678	± 221
Riqueza especifica (S)	4	± 0,7	7	± 1
Índice Margalef (DMg)	0,825	± 0,249	0,947	± 0,159
Indice de Shannon - Weaver (H')	1,212	± 0,297	1,282	± 0,287
Equidad de Pielou (J')	0,941	± 0,176	0,650	± 0,103

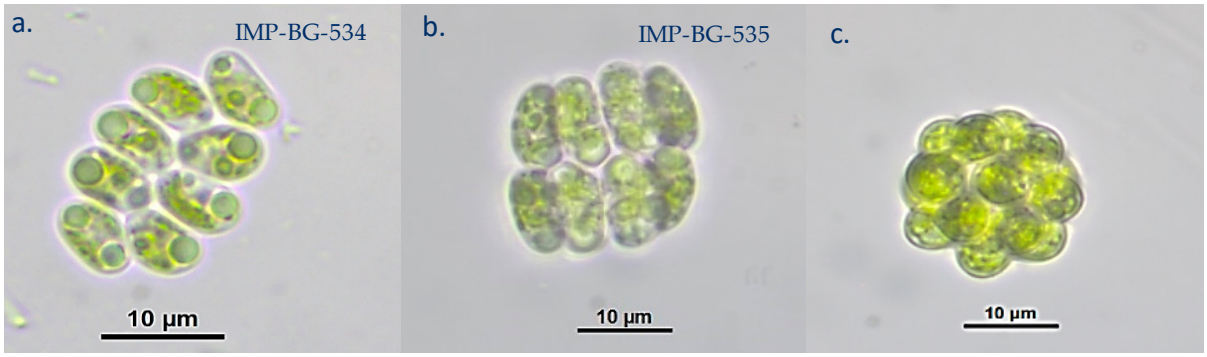

Figura 6.- Microfotografía de las cepas de microalgas que mantiene el BGOA producto de la colecta en la laguna Orccococha; a) *Comasiella arcuata* var. *platydisca*, b) *C. arcuata*, c) *Coelastrum microporum*

Los resultados registran que, en ambos periodos de muestreo, la mayor abundancia de los organismos bentónicos fue Arthropoda, los cuales según su ecología son organismos indicadores de buena calidad acuática.

Obtención de cepas potenciales para actividad acuícola

Producto de la colecta y el análisis microcoscópico, de este cuerpo de agua, se obtuvieron tres cepas de microalgas del Phylum Chlorophyta, familia Scenedesmaceae; de las cuales dos son del género *Comasiella*; *C. arcuata var. platydisca* (IMP-BG-534) y *C. arcuata* (IMP-BG-535) y una del género *Coelastrum; C. microporum* (IMP-BG-536) (Fig. 6).

LAGUNA LLIULLITA

Está ubicada a 4.580 m.s.n.m, localizada entre 14°0'0,91"S y 72°48'3,16"O. El acceso es a través del sistema vial de la carretera asfaltada Abancay – Puente Sahuinto – Hacienda Matara – Ico – Soccospampa – Urpipampa – Lambrama – Laguna Lliullita (Fig. 7). En la Tabla 1 se dan las posiciones geográficas en los que se efectuaron los muestreos.

La Laguna Lliullita presenta superficie de 270.229 m^2, perímetro de 2.412 m y parámetro morfométrico (DL) igual a 1,31 calificado como de forma Subcircular (Hutchinson, 1957; Timms, 1992). Su profundidad máxima es de 60 m y su mínima es 17,1 m, cuyo promedio oscila de 28,86 ± 14,62 a 10,69 ± 5,05 m. La composición predominantemente del sustrato fue del tipo fino y la vegetación césped de puna (hasta 12 m de la orilla).

Asimismo, la dimensión de la laguna es: largo 676 m y ancho 407 m, tiene un área de 24,84 ha. La geomorfología del entorno, presenta por el Al norte, presenta montaña de roca intrusiva, mientras que al sur presenta una montaña sedimentaria (Geocatmin, 2019).

Cobertura Espacial

Las imágenes de octubre 1987; de agosto 2013 y junio 2023, respectivamente (Fig. 8), indican que, en el transcurso de ese periodo, la laguna no mostró variación espacial alguna del cuerpo húmedo. Cabe señalar que en el año 1987 nos encontrábamos en periodo Niño, y en el 2023 en un periodo con anomalías climáticas previa al fenómeno climático mencionado.

Parámetros físico-químicos

En la Tabla 32 se presenta el promedio de los parámetros evaluados en julio y noviembre 2021.

Parámetros de calidad microbiológica

En la Tabla 33 se da a conocer el promedio de los parámetros de calidad microbiológica de julio y noviembre.

Fitoplancton

El Phylum predominante en la laguna fue Bacillariophyta (Tabla 34). De acuerdo a la distribución de la abundancia de especies en octubre, el género representativo es *Synedra* del Phylum predominante (Tabla 35).

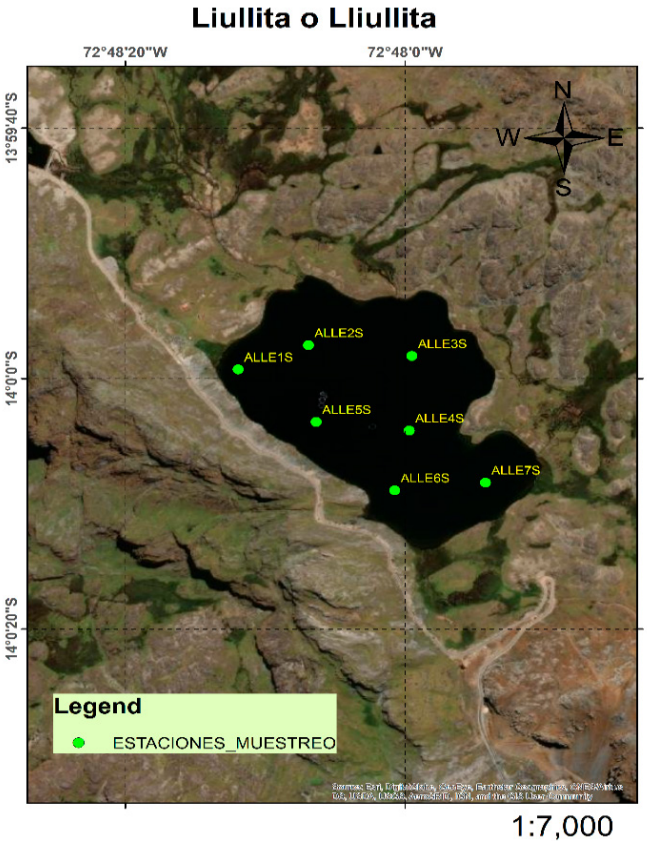

Figura 7.- Vista horizontal e imagen de las estaciones de muestreo de la Laguna Lliullita

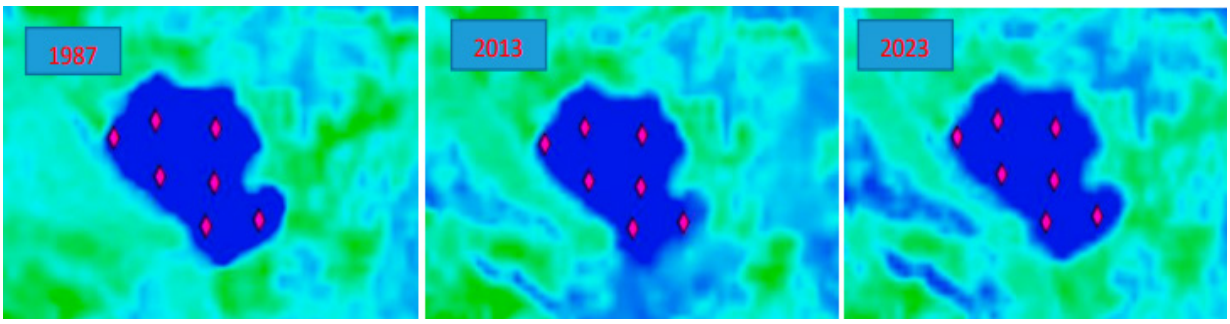

Figura 8.- Cobertura espacial de la laguna Lliullita en el período 1987 al 2023

Tabla 32.- Promedio de los parámetros físico-químicos registrados en laguna Lliulita. Julio – Noviembre, 2021

Laguna	Lliullita					
Parámetros físico-químicos	Julio		Noviembre		Prom+/-DE	
Temperatura del agua (°C)	8,58	± 0,20	9,53	± 0,18	9,05	± 0,19
pH (UpH)	7,03	± 0,42	7,21	± 0,27	7,12	± 0,34
Oxígeno Disuelto (mg/L)	6,71	± 0,49	5,13	± 0,22	5,92	± 0,35
Dureza Total (mg/L)	61,31	± 16,73	56,43	± 14,92	58,87	± 15,82
Nitrógeno Amoniacal (mg/L NH_3)	0,02	± 0,02	0,27	± 0,07	0,15	± 0,04
CO2 (mg/L)	2,00	± 0	2,00	± 0	2,00	± 0
DBO5 (mg/L)	1,62	± 0,32	4,04	± 0,99	2,83	± 0,65
Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$)	33,03	± 3,71	29,57	± 5,38	31,30	± 4,54
Cloruro (mg/L)	31,57	± 3,95	8,00	± 0	19,79	± 1,98
Turbidez (NTU)	0,40	± 0,13	0,53	± 0,08	0,47	± 0,10
Transparencia (m)	7,00	± 0	13,00	± 0	10,00	± 0

Tabla 33.- Promedio de los parámetros de calidad microbiológica (NMP/mL) registrados en Laguna Lliullita. Jul - Nov 2021

Laguna	Puntos de muestreo	Coliformes Totales		Coliformes Termotolerantes	
		Jul	Nov	Jul	Nov
Lliullita	ALLE-1	1,8	11	1,8	<1,8
	ALLE-2	1,8	7.8	1,8	<1,8
	ALLE-3	1,8	2	1,8	<1,8
	ALLE-4	4,5	4,5	1,8	<1,8
	ALLE-5	1,8	4,5	1,8	<1,8
	ALLE-6	1,8	33	1,8	23
	ALLE-7	2	17	1,8	<1,8
PROMEDIO		2,2	11,4	1,8	4,8
DE±		± 1,01	± 10,76	± 0	± 8,01

Tabla 34.- Nº Indiv (Org./L) y abundancia relativa (%) del fitoplancton, Laguna Lliullita, 2021

PHYLUM	Julio		Noviembre	
	Org./L	%	Org./L	%
BACILLARIOPHYTA	18652	50,46	2439	37,10
CHAROPHYTA	3049	8,25	3049	46,37
CHLOROPHYTA	6821	18,45	726	11,04
CYANOBACTERIA	7698	20,83	286	4,35
EUGLENOPHYTA	743	2,01	0	0
DINOPHYTA	0	0	75	1,14
TOTAL	**36963**	**100**	**6575**	**100**

Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos

La mayor riqueza y abundancia del fitoplancton, se registró en julio con la presencia de 25 géneros y 5280 Org/L; la biodiversidad alcanzó nivel medio, según los índices de Margalef (DMg) y Shannon - Wiener (H´); además de buen estado ecológico de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´) (Tabla 36).

Zooplancton

En la laguna Lliullita predomina el Phylum Arthropoda (Tabla 37). De acuerdo a la distribución de abundancia de especies, predominó el género *Boeckella* sp., pertenecientes al mismo Phylum (Tabla 38).

Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos

La mayor riqueza y abundancia del zooplancton, se registró en julio con la presencia de 8 géneros y 3204 Org/L; la biodiversidad alcanzó nivel bajo, según los índices de Margalef (DMg) y de Shannon - Wiener (H´); y estado ecológico medio de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´) (Tabla 39).

Tabla 35.- Promedio del conteo de fitoplancton en Laguna Lliullita, 2021

Phylum / Especie	Org./L		Phylum / Especie	Org./L	
	Julio	Noviembre		Julio	Noviembre
BACILLARIOPHYTA	**18652**	**2439**	**CHAROPHYTA**	**3049**	**3049**
Cymbella lanceolata	0	60	*Closterium* sp.	199	199
Cymbella sp1.	0	45	*Staurastrum* sp.	1074	1074
Cymbella sp2.	0	86	*Spirogyra* sp.	1690	1690
Dsicotella stelligera	0	1590	*Zygnema* sp.	86	86
Encyonema sp.	0	44	**CHLOROPHYTA**	**6821**	**726**
Epithemia argus	0	105	*Botryococcus braunii*	4994	48
Ephitemia sp.	0	35	*Botryococcus* sp.	442	14
Frustulia rhomboides	0	50	*Oocystis* sp.	195	73
Nitzschia palea	3732	115	*Crucigeniella cf. rectangularis*		194
Nitzschia sigmoidea	754	111	*Ankistrodesmus* sp.	360	261
Hantzschia sp.	28	20	*Scenedesmus* sp.	830	19
Gomphonema constrictum	872	64	*Sphaerocystis* sp. (colonia)		117
Achnanthes longipes	434	58	**CYANOBACTERIA**	**7698**	**286**
Pinnularia viridis	639	56	*Gloeocapsa* sp.	431	69
Tabellaria sp.	42	0	*Oscillatoria* sp.	3997	72
Synedra acus	1017	0	*Anabaena* sp.	173	135
Synedra ulna	3302	0	*Gomphosphaeria* sp.	35	10
Synedra sp.	7832	0	*Aphanocapsa* sp1.	2664	0
EUGLENOPHYTA	**743**	**0**	*Aphanocapsa* sp1.	86	0
Trachelomonas sp.	546	0	*Merismopedia elegans*	312	0
Phacus sp.	197	0	**DINOPHYTA**	**0**	**75**
			Peridinium sp.	0	75

Tabla 36.- Nº Individuos (Organismos/m^3), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de fitoplancton, Laguna Lliullita, 2021

Índices de diversidad	Julio		Noviembre	
	Prom.	± DE	Prom.	± DE
N° Individuos (Org./L)	5280	± 1469	939	± 349
Riqueza especifica (S)	25	± 2,2	20	± 3
Índice Margalef (DMg)	2,797	± 0,227	2,833	± 0,445
Indice de Shannon - Weaver (H')	2,320	± 0,186	2,212	± 0,344
Equidad de Pielou (J')	0,723	± 0,052	0,740	± 0,114

Tabla 37.- Nº Indiv (Org./m^3) y abundancia relativa (%) del zooplancton, Laguna Lliullita, 2021

PHYLUM	Julio		Noviembre	
	Org./m^3	%	Org./m^3	%
ARTHROPODA	11070	88,44	17935	79,97
ROTIFERA	1447	11,56	4491	20,03
TOTAL	**12517**	**100**	**22426**	**100**

Tabla 38.- Promedio del conteo de zooplancton en Laguna Lliullita, 2021

Phylum / Especie	Org./m^3		Phylum / Especie	Org./m^3	
	Julio	Noviembre		Julio	Noviembre
ARTHROPODA	**11070**	**17935**	**ROTIFERA**	**1447**	**4491**
Calanus sp.	39	39	*Keratella quadrata*	320	433
Boeckella sp.	0	15700	*Keratella cochlearis*	159	2878
Boeckella occidentalis	167	283	*Lecane lunaris*	0	655
Daphnia sp.	7550	848	*Polyarthra* sp.	832	464
Chydorus sp.	3296	1036	*Asplanchna* sp.	136	61
Pleuroxus sp.	18	29			

Tabla 39.- Nº Individuos (Organismos/m³), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de zooplancton, Laguna Lliullita, 2021

Índices de diversidad	Julio		Noviembre	
	Prom.	± DE	Prom.	± DE
N° Individuos (Org./m³)	1788	± 1050	3204	± 4103
Riqueza especifica (S)	7	± 0,8	8	± 1
Índice Margalef (DMg)	0,872	± 0,135	0,877	± 0,132
Indice de Shannon - Weaver (H')	1,028	± 0,165	1,140	± 0,295
Equidad de Pielou (J')	0,521	± 0,093	0,566	± 0,155

Tabla 40.- Nº Indiv (Org. /cm²) y abundancia relativa (%) del Perifiton, Laguna Lliullita, 2021

PHYLUM	Julio		Noviembre	
	Org. /cm²	%	Org. /cm²	%
BACILLARIOPHYTA	23087	61,79	3643	47,61
CHAROPHYTA	198	0,53	43	0,56
CHLOROPHYTA	3379	9,04	688	8,99
CYANOBACTERIA	4301	11,51	732	9,57
PROTOZOA	2548	6,82	2197	28,71
ROTIFERA	3853	10,31	349	4,56
TOTAL	**37366**	**100**	**7652**	**100**

Tabla 41.- Promedio del conteo de Perifiton en Laguna Lliullita, 2021

Phylum / Especie	Org. /cm²		Phylum / Especie	Org. /cm²	
	Julio	Noviembre		Julio	Noviembre
BACILLARIOPHYTA	**23087**	**3643**	**CHAROPHYTA**	**198**	**43**
Denticula elegans	387	108	*Closterium* sp.	198	43
Nitzschia palea	2365	9	**CHLOROPHYTA**	**3379**	**688**
Nitzschia sp.	0	22	*Asterococcus* sp.	34	24
Discotella stelligera	0	1972	*Oedogonium* sp.	25	28
Surirella sp.	0	27	*Pectinodesmus pectinatus*	764	63
Cymbella lanceolata	0	13	*Ankistrodesmus arcuatus*	1526	374
Cymbella sp1.	0	161	*Monoraphidium* sp.	226	157
Cymbella sp2.	0	35	*Ulothrix* sp1.	804	42
Encyonema sp.	0	99	**CYANOBACTERIA**	**4301**	**732**
Epithemia sp.	0	189	*Westiellopsis* sp.	304	23
Rhopalodia gibba	0	1	*Geitlerinema* sp.	489	162
frustulia rhomboides	0	38	*Aphanocapsa* sp.	2967	522
Navicula sp1.	0	7	*Pseudanabaena* sp.	541	25
Navicula sp2.	0	27	**PROTOZOA**	**2548**	**2197**
Pinnularia sp.	0	25	*Trinema enchelys*	1805	767
Gyrosigna sp.	0	420	*Centropyxis aerophila*	743	1430
Tabellaria floculossa	0	46	**ROTIFERA**	**3853**	**349**
Fragilaria sp.	0	48	*Philodina* sp.	3853	349
Fragilaria tenera	8893	0			
Fragilaria vaucheriae	1562	0			
Ulnaria ulna	9430	0			
Ulnaria acus	0	75			
Diatoma sp.	256	0			
Diatoma vulgaris	0	69			
Aulacoseira sp.	194	252			

Perifiton

El grupo Bacillariophyta predominó (Tabla 40). De acuerdo a la distribución de abundancia de las especies en octubre, predominó el género *Ulnaria ulna* del mismo grupo (Tabla 41).

Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos

La mayor riqueza y abundancia del perifiton, se registró en noviembre con la presencia de 22 géneros y 5338 Org/L; la biodiversidad alcanzó nivel medio, según los índices de Margalef (DMg) y Shannon - Wiener (H´); buen estado ecológico de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´) (Tabla 42).

Mientras que el IDG en promedio fue 3,87 con ±DE de 0,37 indicando Polución y eutrofización moderada.

Macrobentos

El Phylum predominante fue Annelida (Tabla 43). De acuerdo a la distribución de abundancia de especies, fue el género *Limnocythere* sp. del Phylum Annelida el más importante (Tabla 44).

Determinación de calidad del agua mediante indicadores biológicos

La mayor riqueza y abundancia del macrobentos, se registró en noviembre con la presencia de 6 géneros y 469 Org/L; la biodiversidad alcanzó nivel bajo,

Tabla 42.- Nº Individuos (Org. /cm²), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de Perifiton, Laguna Lluillita, 2021

Índices de diversidad	Julio		Noviembre	
	Prom.	± DE	Prom.	± DE
N° Individuos (Org. /cm²)	5338	± 3374	1093	± 400
Riqueza especifica (S)	13	± 1,6	22	± 3
Índice Margalef (DMg)	1,374	± 0,152	2,977	± 0,322
Indice de Shannon - Weaver (H')	1,588	± 0,397	2,152	± 0,126
Equidad de Pielou (J')	0,630	± 0,154	0,701	± 0,026

Tabla 43.- Nº Indiv (Org. /0,05 m²) y abundancia relativa (%) del macroinvertebrados, Laguna Lliullita, 2021

PHYLUM	Julio		Noviembre	
	Org. /0,05 m²	%	Org. /0,05 m²	%
ANNELIDA	664	74,02	824	25,11
ARTHROPODA	233	25,98	2458	74,89
TOTAL	**897**	**100**	**3282**	**100**

Tabla 44.- Promedio del conteo de macroinvertebrados en Laguna Lliullita, 2021

Phylum / Especie	Org. /0,05 m²		Phylum / Especie	Org. /0,05 m²	
	Julio	Noviembre		Julio	Noviembre
ARTHROPODA	**233**	**2458**	**ANNELIDA**	**664**	**824**
Hyalella sp.	53	53	*Nais* sp.	664	664
Boeckella sp.	0	238	*Tubifex* sp.	0	160
Limnocythere sp.	0	850			
Hydrozetes sp.	0	781			
Polypedilum sp.	44	440			
Chironomus sp.	64	61			
Tanytarsus sp.	72	35			

Tabla 45.- Nº Individuos (Org. /0,05 m²), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de macroinvertebrados, Laguna Lluillita, 2021

Índices de diversidad	Julio		Noviembre	
	Prom.	± DE	Prom.	± DE
N° Individuos (Org. /0,05 m²)	128	± 40	469	± 144
Riqueza especifica (S)	5	± 0	6	± 0,8
Índice Margalef (DMg)	0,838	± 0,070	0,770	± 0,097
Indice de Shannon - Weaver (H')	0,973	± 0,329	1,306	± 0,178
Equidad de Pielou (J')	0,605	± 0,204	0,750	± 0,052

según los índices de Margalef (DMg) y de Shannon - Wiener (H´); y estado ecológico medio de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´) (Tabla 45).

Los resultados registran que, en el primer periodo de muestreo (julio), los organismos predominantes pertenecieron al Phylum Annelida, los cuales según su ecología indican aguas alteradas, mientras que durante el segundo muestreo (noviembre) los organismos predominantes fueron Arthropoda, indicadores de buena calidad acuática.

LAGUNA LLUMIPATA

Está ubicada a 4.378 m.s.n.m, localizada entre 14°25'1,80"S y 73°18'12,21"O. El acceso es a través del sistema vial de la carretera asfaltada - Abancay – Puente Sahuinto – Puente Pacpachaca - Casinchiua – Quinta El Encanto – Tampumayu – Pacayca – Acobamba Capilla - Chalhuanca - Cotaruse – Laguna Llumipata (trocha carrozable) (Fig. 9). En la Tabla 1 se dan las posiciones geográficas en las que se efectuaron los muestreos.

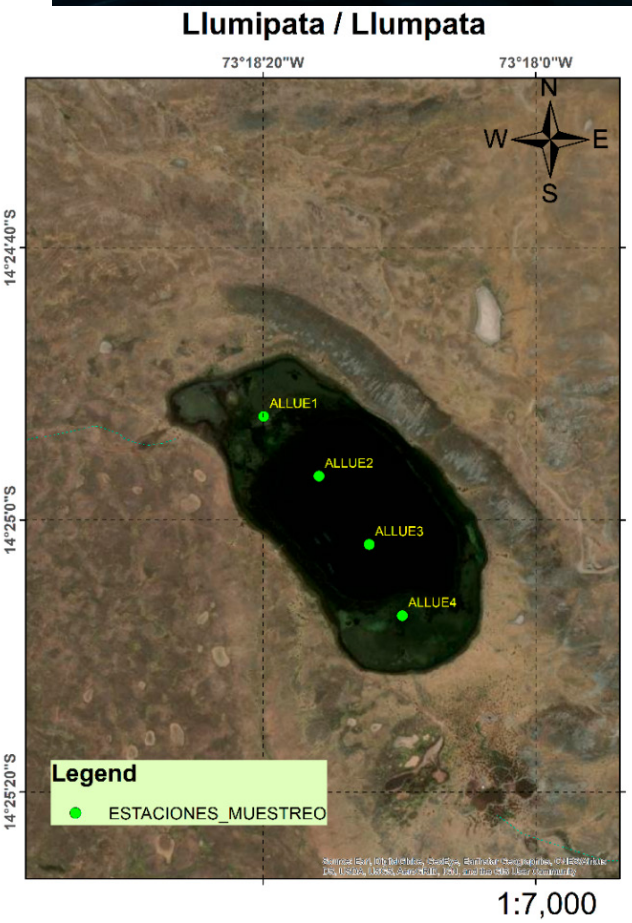

Figura 9.- Vista horizontal e imagen de las estaciones de muestreo de la Laguna Llumipata

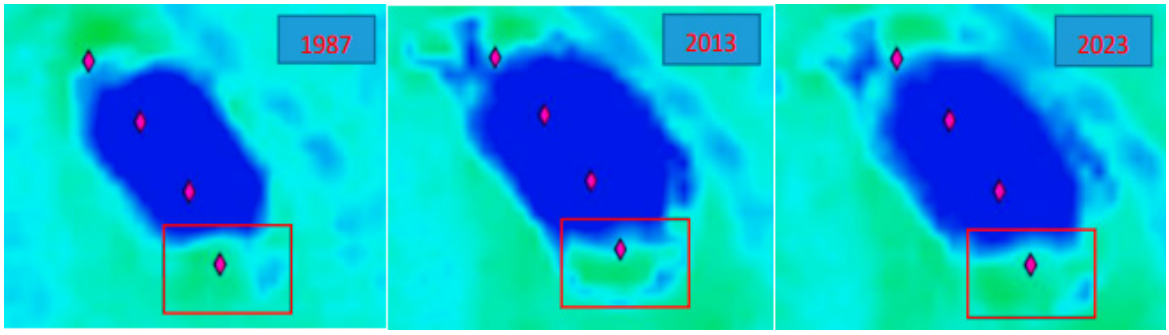

Figura 10.- Cobertura espacial de la laguna Llumipata en el período 1987 al 2023

La Laguna Llumipata presenta una superficie de 282.363 m^2, perímetro 2.352 m y parámetro morfométrico (DL) igual a 1,25 calificada como de forma subcircular (Hutchinson, 1957; Timms, 1992). Su profundidad máxima es de 47,5 m y su mínima es 11,2 m, cuyo promedio es de 29,00 ± 18,38 m. La composición predominantemente del sustrato fue del tipo fino y la vegetación tipo césped de puna (hasta 20 m de la orilla).

Asimismo, la dimensión de la laguna es: largo 800 m y ancho 352 m, presenta un área de 34,02 ha. La geomorfología del entorno, presenta por el norte y sur depósitos morrénicos, mientras que, al este presenta colinas de roca sedimentaria (Geocatmin, 2019).

Cobertura espacial

Las imágenes de octubre 1987; de agosto 2013 y junio 2023, respectivamente (Fig. 10), indican que, en el transcurso de ese periodo, la laguna mostró mayor variación espacial del cuerpo húmedo, sin embargo, hacia el 2023 se registró disminución en la zona sur de la misma. Cabe señalar que en 1987 nos encontrábamos en periodo Niño, y en el 2023 en un periodo con anomalías climáticas previa al fenómeno climático mencionado.

Parámetros físico-químicos

En la Tabla 46 se da a conocer el promedio de los parámetros evaluados.

Parámetros de calidad microbiológica

En la Tabla 47 se da a conocer el promedio de los parámetros de calidad microbiológica.

Fitoplancton

En la Tabla 48 el grupo más representativo es el Phylum Bacillariophyta. De acuerdo a la distribución de la abundancia de especies *Nitzschia palea* es el género representativo de este Phylum (Tabla 49).

Tabla 46.- Promedio de los parámetros físico-químicos registrados en laguna Llumipata. Noviembre, 2021

Laguna	Llumipata			
Parámetros físico-químicos	Nov		Prom+/-DE	
Temperatura del agua (°C)	10,10	± 0,45	10,10	± 0,45
pH (UpH)	7,25	± 0,29	7,25	± 0,29
Oxígeno Disuelto (mg/L)	6,00	± 0,71	6,00	± 0,71
Dureza Total (mg/L)	63,50	± 16,28	63,50	± 16,28
Nitrógeno Amoniacal (mg/L NH3)	0,05	± 0	0,05	± 0
CO2 (mg/L)	2,50	± 0,58	2,50	± 0,58
DBO5 (mg/L)	3,97	± 2,10	3,97	± 2,10
Alcalinidad (mg/L de CaCO3)	48,75	± 2,99	48,75	± 2,99
Cloruro (mg/L)	10,00	± 1,63	10,00	± 1,63
Turbidez (NTU)	0,47	± 0,21	0,47	± 0,21
Transparencia (m)	6,00	± 0	6,00	± 0

Tabla 47.- Promedio de los parámetros de calidad microbiológica (NMP/mL) registrados en Laguna Llumipata. Nov 2021

Laguna	Puntos de muestreo	Coliformes Totales Nov	Coliformes Termotolerantes Nov
Llumipata	ALLUE1	4,5	<1,8
	ALLUE2	2	<1,8
	ALLUE3	33	6,8
	ALLUE4	2	<1,8
	ALLUE5	13	4,5
	ALLUE6	13	<1,8
PROMEDIO		11,3	3,1
DE±		± 11,80	± 2,12

Tabla 48.- Nº Indiv (Org./L) y abundancia relativa (%) del fitoplancton, Laguna Llumipata, 2021

PHYLUM	**Noviembre**	
	Org./L	**%**
BACILLARIOPHYTA	4086	40,49
CHAROPHYTA	1155	11,44
CHLOROPHYTA	2669	26,45
CYANOBACTERIA	2182	21,62
TOTAL	**10092**	**100**

Tabla 49.- Promedio del conteo de fitoplancton en Laguna Llumipata, 2021

Phylum / Especie	Org./L Noviembre	Phylum / Especie	Org./L Noviembre
BACILLARIOPHYTA	**4086**	**CHAROPHYTA**	**1155**
Cymbella lanceolata	12	*Closterium* sp.	125
Cymbella sp1.	9	*Staurastrum* sp.	53
Cymbella sp2.	12	*Spirogyra* sp.	922
Dsicotella stelligera	58	*Zygnema* sp.	55
Encyonema sp.	12	**CHLOROPHYTA**	**2669**
Epithemia argus	11	*Botryococcus braunii*	2065
Ephitemia sp.	61	*Botryococcus* sp.	55
Frustulia rhomboides	3	*Oocystis* sp.	181
Nitzschia palea	2170	*Crucigeniella cf. rectangularis*	7
Nitzschia sigmoidea	529	*Ankistrodesmus* sp.	336
Hantzschia sp..	23	*Scenedesmus* sp.	24
Gomphonema constrictum	557	*Sphaerocystis* sp. (colonia)	1
Achnanthes longipes	293	**CYANOBACTERIA**	**2182**
Pinnularia viridis	336	*Gloeocapsa* sp.	339
		Aphanocapsa sp1.	874
		Aphanocapsa sp2.	54
		Merismopedia elegans	293

Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos

La mayor riqueza y abundancia del fitoplancton, se registró en julio con presencia de 28 géneros y 2530 Org/L; la biodiversidad, según los índices de Margalef (DMg) y Shannon - Wiener (H´); así como, el estado ecológico de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´), registraron nivel medio en todos los casos (Tabla 50).

Zooplancton

En Phylum más representativo fue Arthropoda (Tabla 51). De acuerdo a la distribución de abundancia destacó el género *Boeckella* (Phylum Arthropoda) (Tabla 52).

Tabla 50.- Nº Individuos (Org./L), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de fitoplancton, Laguna Llumipata, 2021

Índices de diversidad	Noviembre	
	Prom.	± DE
N° Individuos (Org./L)	2523	± 1351
Riqueza especifica (S)	28	± 2,6
Índice Margalef (DMg)	3,508	± 0,469
Indice de Shannon - Weaver (H')	2,499	± 0,427
Equidad de Pielou (J')	0,749	± 0,114

Tabla 51.- Nº Indiv (Org./m^3) y abundancia relativa (%) del zooplancton, Laguna Llumipata, 2021

PHYLUM	Noviembre	
	Org./m^3	%
ARTHROPODA	6471	65,32
ROTIFERA	3435	34,68
TOTAL	**9906**	**100**

Tabla 52.- Promedio del conteo de zooplancton en Laguna Llumipata, 2021

Phylum / Especie	Org./m^3 Noviembre	Phylum / Especie	Org./m^3 Noviembre
ARTHROPODA	**6471**	**ROTIFERA**	**3435**
Boeckella sp.	4956	*Keratella quadrata*	320
Boeckella occidentalis	556	*Keratella cochlearis*	1712
Daphnia sp.	532	*Lecane lunaris*	930
Chydorus sp.	427	*Polyarthra* sp.	473

Tabla 53.- Nº Individuos (Organismos/m^3), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de zooplancton, Laguna Llumipata, 2021

Índices de diversidad	Noviembre	
	Prom.	± DE
N° Individuos (Org./m^3)	2477	± 363
Riqueza especifica (S)	6	± 0
Índice Margalef (DMg)	0,641	± 0,012
Indice de Shannon - Weaver (H')	1,387	± 0,063
Equidad de Pielou (J')	0,774	± 0,035

Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos

La mayor riqueza y abundancia del zooplancton, se registró en julio con presencia de 6 géneros y 2477 Org/L; la biodiversidad alcanzó nivel bajo, según los índices de Margalef (DMg) y de Shannon - Wiener (H´); y estado ecológico medio de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´) (Tabla 53).

Tabla 54.- Nº Indiv (Org. /cm^2) y abundancia relativa (%) del Perifiton, Laguna Llumipata, 2021

PHYLUM	Noviembre	
	Org. / cm^2	%
BACILLARIOPHYTA	825	44,57
CHAROPHYTA	39	2,11
CHLOROPHYTA	91	4,92
CYANOBACTERIA	896	48,41
TOTAL	**1851**	**100**

Perifiton

El análisis del perifiton indica que el grupo predominante es Cyanobacteria (Tabla 54). De acuerdo a la distribución de abundancia la especie representativa es *Discotella stelligera* (Phylum Bacillariophyta) (Tabla 55).

Determinación de calidad del agua mediante indicadores biológicos

La mayor riqueza y abundancia del perifiton, se registró en noviembre con presencia de 14 géneros y 479 Org/L; la biodiversidad, según los índices de Margalef (DMg) y Shannon - Wiener (H´); así como, el estado ecológico de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´), registraron niveles medios en todos los casos (Tabla 56).

Mientras que el IDG en promedio fue 4,90 con ±DE de 0,02 indicando calidad biológica óptima.

Macrobentos

El Phylum predominante fue Annelida (Tabla 58). De acuerdo a la distribución de abundancia de especies, fue representativo el género *Nais* sp. del Phylum Annelida (Tabla 57).

Determinación de calidad del agua mediante indicadores biológicos

La mayor riqueza y abundancia del macrobentos, se registró en noviembre con presencia de siete géneros y 2495 Org/L; la biodiversidad alcanzó, según los índices de Margalef (DMg) y de Shannon - Wiener (H´), así como el estado ecológico de acuerdo al índice de equidad de Pielou (J´), registraron niveles bajos en todos los casos (Tabla 59).

Tabla 55.- Promedio del conteo de Perifiton en Laguna Lumipata, 2021

Phylum / Especie	Org. /cm² Noviembre	Phylum / Especie	Org. /cm² Noviembre
BACILLARIOPHYTA	**825**	**CHAROPHYTA**	39
Denticula sp.	57	*Closterium* sp.	39
Nitzschia sp.	19	*Staurastrum* sp.	65
Discotella stelligera	557	**CHLOROPHYTA**	**91**
Surirella sp.	6	*Botryococcus braunii*	58
Cymbella sp1.	25	*Botryococcus* sp.	30
Cymbella sp2.	9	*Sphaerocystis* sp. (colonia)	3
Encyonema sp.	24	**CYANOBACTERIA**	**896**
Epithemia sp.	45	*Gloeocapsa* sp.	33
Rhopalodia gibba	4	*Oscillatoria* sp.	244
Pinnularia sp.	8	*Aphanocapsa* sp.	471
Diatoma vulgaris	49	*Merismopedia elegans*	148
Tabellaria floculossa	18		
Fragilaria sp.	4		

Tabla 56.- Nº Individuos (Org. /cm²), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de Perifiton, Laguna Llumipata, 2021

Índices de diversidad	Noviembre	
	Prom.	± DE
N° Individuos (Org. /cm²)	479	± 290
Riqueza especifica (S)	14	± 1,4
Índice Margalef (DMg)	2,164	± 0,214
Indice de Shannon - Weaver (H')	1,798	± 0,162
Equidad de Pielou (J')	0,683	± 0,061

Tabla 57.- Nº Indiv (Org. /0,05 m²) y abundancia relativa (%) del macroinvertebrados, Laguna Llumipata. 2021

PHYLUM	Noviembre	
	Org. /0,05 m²	%
ANNELIDA	8669	86,87
ARTHROPODA	1310	13,13
TOTAL	**9979**	**100**

Tabla 58.- Promedio del conteo de macroinvertebrados en Laguna Llumipata, 2021

Phylum / Especie	Org. /0,05 m² Noviembre	Phylum / Especie	Org. /0,05 m² Noviembre
ARTHROPODA	**1310**	**ANNELIDA**	**8669**
Hyalella sp.	247	*Nais* sp.	8185
Limnocythere sp.	496	*Tubifex* sp.	484
Hydrozetes sp.	326		
Polypedilum sp.	95		
Chironomus sp.	55		
Tanytarsus sp.	91		

Los resultados registran que, en el segundo periodo de muestreo (noviembre), los organismos predominantes pertenecieron al Phylum Annelida, los cuales según su ecología indican alteración acuática en sus aguas.

Obtención de cepas potenciales para la actividad acuícola

De este cuerpo de agua, se obtuvieron 2 cepas; una del Phylum Charophyta, familia Desmidiaceae, género *Staurastrum; Staurastrum* sp. (IMP-BG-537) y una del Phylum Cyanobacteria, familia Nostocaceae, género *Nostoc; Nostoc* sp. (IMP-BG-539) (Fig. 11).

Todas las cepas obtenidas en dos de las cuatro lagunas evaluadas, forman parte de la colección del cepario del BGOA.

Tabla 59.- Nº Individuos (Org. /0,05 m^2), Riqueza especifica (S), Margalef (DMg), Índice de Shannon - Weaver (H') y Equidad de Pielou (J') de muestras de macroinvertebrados, Laguna Llumipata, 2021

Índices de diversidad	Noviembre	
	Prom.	± DE
N° Individuos (Org. /0,05 m^2)	2495	± 1023
Riqueza especifica (S)	7	± 0
Índice Margalef (DMg)	0,775	± 0,041
Indice de Shannon - Weaver (H')	0,762	± 0,181
Equidad de Pielou (J')	0,392	± 0,093

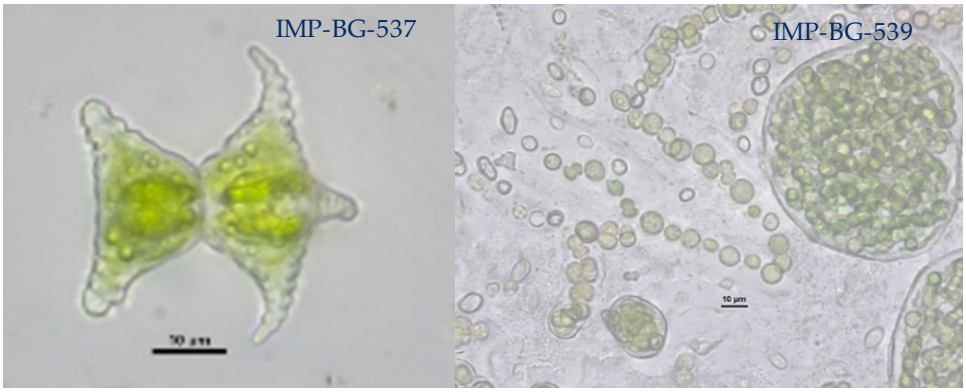

Figura 11.- Microfotografía de cepas de microalgas que mantiene el BGOA producto de la colecta en la laguna Llumipata; a) *Staurastrum* sp., b) *Nostoc* sp.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las temperaturas promedio de las lagunas Suytuccocha, Orccococha, Lliullita y Llumipata están consideradas dentro de los rangos establecidos por FONDEPES (2014), las cuales deben variar entre 9 a 14 °C, para un óptimo desarrollo de incubación y reproducción de la trucha.

Los valores promedio de pH para cada una de las lagunas evaluadas, se encuentran dentro del rango establecido por el D. S. Nº 004-2017-MINAM (2017), la cual señala que, la extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos y lagunas (C4), debe variar entre 6 y 9. Según FONDEPES (2014) este rango puede variar entre 6,6 y 7,9; en ambos casos, se logra óptimo cultivo de trucha.

Situación similar se da con el oxígeno disuelto en las lagunas evaluadas, dado que según MINAM los cuerpos de agua catalogados como C4, deben ser ≥ 5 mg/L.

Los valores de nitrógeno amoniacal registrados solo para la laguna Suytuccocha se encuentran dentro de los rangos establecidos por Decreto Supremo Nº 002-2008-Minam (2008) en la que el límite permisible para la conservación del ambiente acuático (C4) debe ser <0,02 mg/L; Municipalidad Distrital de Ragash (2009) indica que no debe ser mayor a 0,012 mg/L para el cultivo de la trucha.

En el caso del CO_2, las cuatro lagunas se encuentran dentro del rango sugerido por Municipalidad Distrital de Ragash (2009) quien indica que valores menores a 7 ppm permiten el desarrollo de una acuicultura sostenible.

Para un mejor crecimiento de la trucha, la dureza del agua debe oscilar entre 60 a 300 mg/L (Fondepes, 2014). Los rangos de dureza del agua detectada para las cuatro lagunas se encuentran dentro del mencionado rango.

Las cuatro lagunas se encuentran fuera del rango de alcalinidad de 80 a 180 mg/L $CaCO_3$, según Fondepes (2014), teniendo un mediano potencial para la actividad acuícola.

Con relación a los nitritos Alatorre (2007) indica que: El efecto fisiológico del nitrito en los peces es que reacciona rápidamente con la hemoglobina, formando met-hemoglobina, que es un transportador eficiente de oxígeno, y el animal termina muriendo por hipoxia y cianosis. Es común que en este tipo de casos los peces comiencen a "boquear" a pesar de que la concentración de oxígeno en el agua sea la adecuada. Una concentración alta de nitritos ocurre típicamente en el otoño y el invierno cuando las bajas y fluctuantes temperaturas dan como resultado un decaimiento en el metabolismo del plancton y las bacterias del sistema, propiciando su acumulación. Típicamente debemos mantener la concentración de NO_2 menor a 2 ppm. Se pueden atenuar los efectos del nitrito ajustando la relación cloruros: nitrito a una razón de 10:1. Municipalidad Distrital de Ragash (2009) menciona que los nitritos no deben ser mayor a 0,055 mg/L en el cultivo de trucha.

Con relación a la turbidez del agua Rodríguez Gómez y Anzola Escobar (2001) indican que la visibilidad del disco Secchi rara vez excede de un metro en sistemas productivos para peces.

Un rango tolerable del cloruro en el agua de cultivo, para la conservación de aguas naturales, no sobrepasa el rango de 20 a 40 mg/L (Marín Galvín, 2003), de acuerdo a esto, en el presente estudio, las cuatro lagunas, se encuentra dentro de lo referido.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) es la cantidad total de oxígeno consumida por los microorganismos durante los primeros cinco días de biodegradación. Ramalho (2003) indica que: DBO se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable, presente en la muestra de agua, como resultado de la acción de oxidación aerobia. Los valores de DBO_5 para cada una de las lagunas evaluadas se encuentran dentro del rango establecido por el D. S. Nº 004-2017-MINAM (2017), donde el límite permisible para extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos y lagunas (C4) debe variar de 10 mg/L, no sobrepasaron los estándares de calidad ambiental, encontrándose en buenas condiciones.

Las coliformes totales abarcan a todas las bacterias coliformes, dentro de las cuales hay géneros que pueden resultar patógenos para el ser humano, así como también hay otros que resultan totalmente inocuos. Debido a lo observado en las estaciones ALSE-2 y ALSE-6 de la laguna Sutuyccocha, en noviembre se podría decir que hay niveles elevados de coliformes totales, pero se tendría que diferenciar ya que no todos los coliformes son de origen fecal.

Los coliformes termotolerantes son conocidas como coliformes fecales porque tienen su origen, de manera general, en el intestino de algunos animales. Los géneros que integran al grupo de las bacterias termotolerantes son *Escherichia, Enterobacter* y *Klebsiella*, siendo la más representativa de todas, la bacteria *Escherichia coli*. Debido a esto las lagunas evaluadas no superan los 200 NMP/100 mL para el C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas según D. S. Nº 004-2017-MINAM (2017), por lo que se podría decir que son aptas para el desarrollo de la acuicultura.

La composición taxonómica del fitoplancton y el perifiton presente en las cuatro lagunas evaluadas se caracterizó por los grupos taxonómicos Bacillariophyta, Chlorophyta, Charophyta, Cryptophyta, Cyanophyta, Dinophyta y Euglenophyta. Los índices de biodiversidad tanto Margalef (DMg) como de diversidad especifica de Shannon - Wiener (H´) indican un nivel medio, mientras que el nivel del estado ecológico fluctuó de mediano a bueno.

La composición taxonómica de zooplancton y macroinvertebrados presentes en las cuatro lagunas evaluadas, se caracterizó por los grupos taxonómicos Arthropoda, Protozoa, Rotifera y Annelida. Los índices de biodiversidad tanto Margalef (DMg) como de diversidad especifica de Shannon - Wiener (H´) indican un nivel bajo a media respectivamente, mientras que, el nivel del estado ecológico fluctuó de bajo a bueno.

Con respecto al índice Diatómico General (IDG), las lagunas Suytuccocha, Orccococha, Lliullita se encuentran en una polución moderada, con respecto a la laguna Llumipata, la cual se encuentra en una calidad biológica óptima.

Según los resultados de los macroinvertebrados acuáticos, las lagunas Suytuccocha, Orccococha y Llumipata muestran que, en ambos periodos de muestreo, la mayor abundancia correspondió a organismos bentónicos Phylum Arthropoda, los cuales son organismos indicadores de buena calidad acuática (Roldán Perez, 1996). Por otro lado, en el primer muestreo de la laguna Llullita se registró mayor abundancia de organismos del Phylum Annelida, lo cual, según su ecología, indica alteración de las aguas. En ese mismo humedal, para el siguiente periodo, los organismos bentónicos variaron a Arthropoda.

En el Mapa de Ecosistemas del Minam (2019), los humedales, se encuentran ubicados en la región Andina, presentando una fisiografía correspondiente a Montaña (altiplanicie y laderas). Debido a su composición hídrica, corresponde a "Ecosistemas Acuáticos", los cuales pueden tener un régimen permanente o temporal en el almacenamiento del recurso hídrico. Asimismo, el borde circunlacustre, de los cuatro humedales, corresponde al ecosistema "pajonal de puna húmeda" el cual presenta una vegetación herbácea constituida por gramíneas y arbustos dispersos. El mismo, que puede ocupar terrenos planos u ondulados o colinas de pendiente suave a moderada.

Las categorías tróficas según *Organisation de Coopération et de Développement Economiques* (OCDE, 1982), las lagunas Llumipata y Lliullita se encuentran consideradas como oligotróficas, con respecto a las lagunas Suytuccocha y Orccococha se localizan dentro de la categoría mesotrófica.

Respecto a los análisis de la variación espacio – temporal del cuerpo de los cuatro humedales, mediante el uso de la teledetección, se pudo evidenciar que las lagunas, Suytuicocha y Lumipata registraron variación a lo largo del tiempo (1987, 2013 y 2023), mientras que las lagunas Orjoccocha y Llumpata no registraron cambios en el mismo periodo de evaluación.

De acuerdo con las profundidades las lagunas Suytuccocha, Orccococha, Lliullita y Llumipata cuentan con posibilidades para la instalación de jaulas flotantes, según Decreto Supremo Nº 003-2016-PRODUCE (2016), donde se menciona en el artículo 31, en el ámbito continental la habilitación de área acuática considerara la isobata mínima de 15 m.

Entre las cepas obtenidas, a partir de muestras colectadas en las diferentes lagunas altoandinas, tres de ellas, de la Laguna Orccococha, son microalgas verdes; dos son del género *Comasiella* y uno del género *Coelastrum*, las mismas que se adaptaron y crecieron rápidamente en cultivo, bajo condiciones controladas, frente a otras células que no lo lograron. Las microalgas verdes, mas conocidas como Clorofitas, se caracterizan por ser resistentes, por su elevada plasticidad y una pared celular fuerte a modo de estructura protectora (Baudelet *et al.,* 2017). Dado el polimorfismo en este grupo taxonómico, la identificación se basó en herramientas morfológicas y filogenéticas, según lo señalado por Hegewald *et al*. (2010).

Otra de las cepas altoandinas obtenidas fue de la Laguna Llumipata, que pertenece al género *Staurastrum*. Esta microalga desmidial fue la más adaptable a condiciones de laboratorio. Gunnison y Alexander (1975) reportaron que el género *Staurastrum* es menos propenso a la degradación ambiental, manteniéndose por 20 días antes de que se observara descomposición alguna de las células y hasta 40 días en medio de cultivo. Esto, debido a que la gran mayoría de desmidias (Charophyta) crean unas películas o capas mucilaginosas alrededor de las células para protegerlas a condiciones de estrés ambiental (Holzinger & Pichrtová, 2016).

Una quinta cepa obtenida de la misma laguna Llumipata, fue la cianobacteria del género *Nostoc*, microorganismos coloniales conformados por pequeñas esferas en la zona perimetral de la laguna. Debido a la diversidad criptica del género, se vuelve compleja su identificación hasta especie, sin embargo, conforman poblaciones naturales fotoautotróficas, consideradas, además, microorganismos oxigénicos de amplia disctribución y de hábitats extremos (Montoya *et al.,* 2019).

Peces omnívoros y herbívoros de agua dulce, tanto en ambiente natural como en cultivo, sintetizan ácidos grasos esenciales (EPA y DHA) mediante la ingesta de alimentos que contengan ALA (Sargent *et al.,* 1995; Watters *et al.,* 2012). La experiencia de cultivo con trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) ha demostrado que no existe diferencias en la eficiencia del uso de EPA y DHA durante la etapa de crecimiento (Watanabe, 1982). En el caso del salmón rey (*Oncorhynchus keta*), la adicción mínima del 1% de ALA

en la formulación de su dieta favorece su crecimiento y sobrevivencia (Takeuchi *et al.*, 1979). De acuerdo con los estudios de Hernández Acevedo *et al.* (2019), las cepas del género *Comasiella* acumulan ácido linolénico (18:3n-3, ALA), mayor al 20% con lo cual, la cepa resulta un potencial insumo nutricional para la acuicultura de peces.

El género *Staurastrum* se encuentra reportado tanto en cuerpos de agua oligotróficos, con baja concentración de nutrientes, pH ácido y sin contaminación de metales pesados (Gerrath, 1993; Kouwets, 1997), como en ambientes meso y eutróficos (Da Silva *et al.*, 2018; Stamenković *et al.*, 2021). Esta versatilidad de adaptación lo vuelve un género con potencial acuícola como absorbente del exceso de nutrientes en los cultivos. Por otro lado, este género es alimento natural de *Daphnia* sp. (pulga de agua), alimento a su vez de peces tropicales (DeBiase *et al.*, 1990).

Otro género interesante por su potencial bioquímico es el *Nostoc*, el cual contiene entre 26 a 28% de proteína, siendo la biomasa de estas cepas, una alternativa para la búsqueda de nuevas fuentes proteicas para elaboración de alimento de piensos en acuicultura (Ponce, 2014; Méndez-Ancca *et al.*, 2023)

Debido a las características morfológicas (profundidad- área), parámetros físico – químicos y los índices de biodiversidad, la laguna Suytuccocha cuenta con potencial para desarrollar la actividad acuícola a nivel intensivo, mientras que las lagunas Orccococha y Llumipata cuentan con potencial para desarrollar la actividad acuícola a nivel extensivo. De éstas dos últimas lagunas se mantienen en el BGOA cepas de microalgas con potencial para la actividad acuícola por su morfometría, resistencia y contenido químico.

5. REFERENCIAS

Asociación Española de Normalización y Certificación [Aenor]. (2007). *Norma española UNE–EN 15204, Calidad del agua. Guía para el recuento de fitoplancton por microscopía invertida (técnica de Utermöhl)*. AENOR.

Alatorre, O. (2007). *Calidad del Agua y Principios de Diseño en los Sistemas de Recirculación Acuícola (RAS)* [Tesina]. Universidad Autónoma de Querétaro.

Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y la calidad de las aguas de los ríos. En *IV simposio del Agua de Andalucía* (SIAGA) (Vol II, pp. 203-213).

Arcos Pulido, M. P., Ávila de Navia, S. L., Estupiñán Torres, S. M. & Gómez Prieto, A. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, *3*(4), 69-79. https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-474723

Astiz, S. & Alvarez, H. (1998). El zooplancton en el alto y medio río Orinoco, Venezuela. *Acta Científica Venezolana*, *49*, 5-18.

Baird, R. B., Eaton, A. D. & Rice, E. W. (Eds.). (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

Ballesteros, Y., Cruz, C., Barba, H. L., García, J., Ramírez, C., Holguín, J. & Patiño, P. (2004). *Estudio de la calidad del agua del río Cauca y sus principales tributarios, mediante aplicación de índices de calidad y contaminación tramo Salvajina – La Virginia*. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Universidad del Valle.

Baudelet, P. H., Ricochon, G., Linder, M. & Muniglia, L. (2017). A new insight into cell walls of Chlorophyta. *Algal Research*, *25*, 333-371. https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.04.008

Bellinger, E. G. & Sigee, D. C. (2010). *Freshwater Algae. Identification and use as Bioindicators*. Wiley-Blackwel. https://doi.org/10.1002/9780470689554

Brettum, P. & Andersen, T. (2005). *The use of phytoplankton as indicators of wáter quality* (Reporte). NIVA.

Chang, K-H., Sakamoto, M., Ha, J-H., Murakami, T., Miyabara, Y., Nakano, S-I., Imai, H., Doi, H. & Hanazato, T. (2008). Comparative study of pesticide effects (Herbicide and Fungicide) on zooplankton community. In Y. Murakami, K. Nakayama, S.I. Kitamura, H. Iwata & S. Tanabe (Eds.), *Interdisciplinary studies on environmental chemistry-Biological response to chemical pollutants* (pp. 361-366). Terrapub.

Cirujano, S., García Murillo, P., Meco, A. & Fernández Zamudio, R. (2007). Los Carófitos ibéricos. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, *64*(1), 87-102. http://dx.doi.org/10.3989/ajbm.2007.v64.i1.57

Confederación Hidrográfica del Ebro. (2007). *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva Marco del Agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro: protocolos de muestreo y análisis para: fitoplancton, fitobentos (microalgas bentónicas), macrofitos, invertebrados bentónicos, ictiofauna*. Ministerio de Medio Ambiente, Centro de Publicaciones. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/publicaciones/Protocolos_muestreo_biologico_con_portada_tcm30-214764.pdf

Coops, H. (2002). Ecology of charophytes: an introduction. *Aquatic Botany*, *72*, 205-208. https://doi.org/10.1016/S0304-3770(01)00200-5

Correa, M., Machado, T. & Roldán, G. (1981). Taxonomía y ecología del orden *Trichoptera* en el departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. *Actualidades Biológicas*, *10*(36), 35-48. https://doi.org/10.17533/udea.acbi.330364

Coste, M. & Ayphassorho, H. (1991). *Etude de la qualité des Eaux du Bassin Artois Picardía à l'aide de Comunidades de diatomées benthiques* (Solicitud des índices diatomiques) (Informe). Agencia del Agua Artois Picardía.

Da Silva, F. K. L., Fonseca, B. M. & Felisberto, S. A. (2018). Community structure of periphytic Zygnematophyceae (Streptophyta) in urban eutrophic ponds from central. Brazil (Goiânia, GO). *Acta Limnologica Brasiliensia*, *30*, e206. https://doi.org/10.1590/S2179-975X5117

DeBiase, A. E., Sanders, R. W. & Porter K. G. (1990). Relative nutritional value of ciliate protozoa and algae as food for *Daphnia*. *Microbial Ecology*, *19*, 199-210. https://doi.org/10.1007/BF02012100

Decreto Supremo Nº 004-2017-Minam. (2017). *Por el cual aprueban los Estándares Nacionales de Calidad (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Ministerio del Ambiente. https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3671-004-2017-minam

Decreto Supremo Nº 003-2016-Produce. (2016). *Aprueban el Reglamento de la Ley General de Acuicultura, aprobada por el Decreto Legislativo Nº 1195*. Ministerio de la Producción. https://www.gob.pe/institucion/produce/normas-legales/3378120-003-2016-produce

Decreto Supremo Nº 002-2008-Minam. (2008). *Por el cual aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.* Ministerio del Ambiente. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_002-2008-minam.pdf

De Eyto, E., Irvine, K. & Free, G. (2002). The use of members of the family Chydoridae (Anomopoda, Branchiopoda) as an indicator of lake Ecological Quality in Ireland. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, *102B*(1), 81-91. https://doi.org/10.1353/bae.2002.a809928

Del Solar, E., Blancas, F. & Mayta, R. (1970). *Catálogo de crustáceos del Perú*. Imprenta Miranda.

Donato, J. Ch. (1998). Los sistemas acuáticos de Colombia: sínteses y revision. En *Una aproximación a los humedales en Colombia*. UICN, Fondo FEN.

Donato, J. Ch. (1991). Fitoplancton y aspectos físicos y químicos da la laguna de Chingaza en Cundinamarca, Colombia. *Caldasia*, *16*(79), 489-500. https://www.jstor.org/stable/23641387

Donato, J. Ch. (1987). Análisis limnológico y concentración de biocidas en peces de los ríos Ariari, Guayuriba, Humea y Meta. *Revista de la Facultad de Ciencias, Universidad Javeriana*, *1*(1), 28-52. http://hdl.handle.net/10554/31105

Duque, S. R. & Donato J. (1992). Biología y ecología del fitoplancton de las aguas dulces en Colombia. *Cuad. Divulg.*, (35), 1-18.

Figueroa, R., Araya, E., Parra, O. & Valdovinos, C. (2003). *Invertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua*. Centro de Ciencias Ambientales, EULA-Chile.

Flint, O. S., Holzenthal, R. W. & Harris, S. C. (1999). *Catalog of the Neotropical Caddisflies (Insecta: Trichoptera)*. Ohio Biological Survey.

Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero [Fondepes]. (2014). *Manual de crianza de Trucha en Ambientes Convencionales*. https://www.gob.pe/institucion/fondepes/informes-publicaciones/2448662-manual-de-cultivo-de-trucha

Frenzel, P. (1991). Die Ostracodenfauna der tieferen Teile der Ostsee-Boddengewässer Vorpommerns. *Meyniana*, *43*, 151-175.

Geocatmin. (2019). *Geological, mining and energy information for Peru and the world*. Ministerio de Energía y Minas. https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/

Gerrath, J. F. (1993). The biology of desmids: a decade of progress. In F. E. Round & D. J. Chapman (Eds.), *Progress in Phycological Research* (pp. 79–92). Biopress Ltd.

Gosse, P. H. (1851). XVIII.—A catalogue of Rotifers found in Britain, with descriptions of five new genera and thirty- two new species. *Annals and Magazine of Natural History*, *8*(45), 197-203. https://doi.org/10.1080/03745486109496205

Gunnison, D. & Alexander, M. (1975). Resistance and susceptibility of algae to decomposition by natural microbial communities. *Limnology and Oceanography*, *20*(1), 64-70. https://doi.org/10.4319/lo.1975.20.1.0064

Hall, J. D. & McCourt, R. M. (2015). Conjugating Green Algae Including Desmids. In J. D. Wehr, R. G. Sheath & J. P. Kociolek (Eds.), *Freshwater Algae of North America. Ecology and Classification* (2ª ed., Cap. 9, pp. 429-457). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385876-4.00009-8

Hegewald, E., Aldave, A. & Hakuli, T. (1976). Investigations on the lakes of Peru and their phytoplankton. 1. Review of literature, description of the investigated waters and chemical data. *Archiv für Hydrobiologie*, *78*(4), 494-506.

Hegewald, E., Wolf, M., Keller, A., Friedl, T. & Krienitz, L. (2010). ITS2 sequence-structure phylogeny in the Scenedesmaceae with special reference to *Coelastrum* (Chlorophyta, Chlorophyceae), including the new genera *Comasiella* and *Pectinodesmus*. *Phycologia*, *49*(4), 325-335. https://doi.org/10.2216/09-61.1

Hernández Acevedo, H., Flores Ramos, L. & Ruiz Soto, A. (2019). Ácidos grasos en cepas de microalgas del Banco de Germoplasma de Organismos Acuáticos del Instituto del Mar del Perú (Imarpe). *Revista peruana de biología*, *26*(3), 369-78. https://doi.org/10.15381/rpb.v26i3.15356.

Holzinger, A. & Pichrtová, M. (2016). Abiotic Stress Tolerance of Charophyte Green Algae: New Challenges for Omics Techniques. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 678. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00678

Hutchinson, G. E. (1957). *A treatise on Limnology* (Vol. 1, Geography, Physics and Chemistry). John Wiley & Sons.

Iannacone, J., Salazar, N., Alvariño, L. & Argota, G. (2013). Rotifers and other littoral zooplankton species from the Andean lagoons of Paca and Ñahuinpuquio, Jauja, Junin, Perú. *Neotropical Helminthology*, *7*(1), 133-142. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4450147

Kouwets, F. A. C. (1997). Contributions to the knowledge of the French Desmid flora. I. New and noteworthy taxa from central and eastern Pyrenees. *Arch.*

Protistenk., *148*, 33-51. https://doi.org/10.1016/S0003-9365(97)80035-8

Lange-Bertalot, H. & Ulrich, S. (2014). Contributions to the taxonomy of needle-shaped Fragilaria and Ulnaria species. *Lauterbornia*, *78*, 1-73.

Lee, R. E. (2008). Cryptophyta. In *Phycology* (Cap. 9, pp. 321-332). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511812897.014

Löffler, H. (1991). Paleolimnology of Neusiedlersee, Austria. *Hydrobiologia*, *214*, 229-238. https://doi.org/10.1007/BF00050955

Magurran, A. E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0

Marchese, M., Ezcurra de Drago, I. & Drago, E. C. (2002). Benthic Macroinvertebrates and Physical Habitat relationships in the Paraná River-floodplain system. In M. E. McClain (Ed.), *The Ecohydrology of South American Rivers and Wetlands* (IAHS Special Publication no. 6, Cap. 7, pp. 111-131). International Association of Hydrological Sciences.

Margalef, R. (1955). Los organismos indicadores en la limnología. En *Biología de las aguas continentales* (Vol. XII). Ministerio de Agricultura. http://hdl.handle.net/10261/165508

Marín Galvín, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*. Ediciones Días de Santos S.A.

Márquez, G. & Guillot, G. (1988). *Proyecto estudios ecológicos de embalse colombianos. Etapa prospective* (Informe final). Fondo FEN Colombia - Universidad Nacional de Colombia.

Méndez-Ancca, S., Pepe-Victoriano, R., Soto Gonzales, H. H., Zambrano-Cabanillas, A. W., Marín-Machuca, O., Zapata Rojas, J. C., Maquera Maquera, M., Fernandez Huanca, R., Gonzáles Aguilera, J., Zuffo, A. M. & Felippe Ratke R. (2023). Physicochemical Evaluation of Cushuro (Nostoc sphaericum Vaucher ex Bornet & Flahault) in the Region of Moquegua for Food. *Foods*, *12*, 1939. https://doi.org/10.3390/foods12101939

Ministerio del Ambiente [Minam]. (2019). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: memoria descriptiva*.

Ministerio de la Producción [Produce]. (2010). *Evaluación de recursos hídricos en las regiones de Pasco, Ayacucho, Cusco, Puno y Ucayali* (Informe técnico final). https://rnia.produce.gob.pe/wp-content/uploads/2020/02/Informe-Final-Lagunas.pdf

Montoya, H., Fiestas, J. A., Cruz, R., Quispe, R. & Rodríguez, S. (2019). Comunidades criofílicas de los glaciares del nevado de Allincapac, Andes del sur de Perú, departamento de Puno: variabilidad fenotípica de la cianobacteria *Nostoc commune* (Nostocales, Nostocaceae). *Arnaldoa*, *26*(2), 657-674. http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v26n2/a09v26n2.pdf

Montoya Moreno, Y. & Aguirre R. N. (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Gestión y Ambiente*, *16*(3), 91-117. https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/30155

Municipalidad Distrital de Ragash. (2009). *Manual de crianza. Trucha* (Oncorhynchus mykiss). https://es.slideshare.net/slideshow/manual-de-crianza-truchas/69692628

Niinemets, E. (1999). *Ostracode paleoecology and stable isotopes from Lake Peipsi, Estonia* [Tesis]. Institute of Geology, University of Tartu.

Onyema, I. C. (2009). Zooplankton dynamics and chlorophyll *a* concentration at the Tomaro creek in relation to water quality indices. *Report and Opinion*, *1*(6), 51-64.

Organisation de Coopération et de Développement Economiques [Ocde]. (1982). *Eutrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte*. OCDE.

Orozco, C., Pérez, A., Gonzáles, M. N., Rodríguez, F. & Alfayate, J. M. (2005). *Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química* (3ª ed.). Editorial Paraninfo, S.A.

Pantano Rodriguez, N. X. (2016). *Estudio de las exuvias pupales de Chironomidos presentes en dos tramos de la Quebrada Vieja* [Trabajo de Grado, Unversidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Unversidad Distrital Francisco José de Caldas. http://hdl.handle.net/11349/2890

Papadakis, J. (2003). *Relaciones espaciales y temporales del zooplancton en el río Orinoco en su cuenca media* [Tesis de Grado]. Universidad Simón Bolívar.

Pinilla, G. A. (2000). *Indicadores biológicos en ecossistemas acuáticos continentales de Colombia. Compilación bibliográfica*. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Pinilla, G. A. (1995). *Ecología regional de pequeños Lagos artificiales en el antiplano Cundiboyacense* [Tesis de Maestría]. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia.

Pino Chalá, W., Mena García, D., Mosquera, M. L., Caicedo, K. P., Palacios, J. A., Castro, A. A. & Guerrero, J. E. (2003). Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada La Bendición, Municipio de Quibdó (Chocó, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, *8*(2), 23-30. https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/26668

Ponce, E. (2014). Nostoc: un alimento diferente y su presencia en la precordillera de Arica. *Idesia*, *32*(2), 115-118. https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v32n2/art15.pdf

Potapova, M. & Charles, D. F. (2007). Diatom metrics for monitoring eutrophication in rivers of the United States. *Ecological Indicators*, *7*, 48-70. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.10.001

Potapova, M. G., Aycock, L. & Bogan, D. (2020). *Discostella lacuskarluki* (Manguin ex Kociolek & Reviers) comb. nov.: a common nanoplanktonic diatom of Arctic and boreal lakes. *Diatom Research*, *35*(1), 55-62. https://doi.org/10.1080/0269249X.2020.1727569

Pourriot, R. (1977). *Food and feeding habits of the Rotifera. Arch. Hydrobiol. Beith. (Ergebn. Limnol)*, *8*, 243-260.

Ramalho, R. S. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Reverté, S.A.

Ramírez, A. M. & Plata-Díaz, Y. (2008). Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos

de alta montaña (Páramo de Santurbán, norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. *Acta biol. Colomb.*, *13*(1), 199-216. http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v13n1/v13n1a14.pdf

Ramírez, J. J. (1986). Algunos organismos zooplanctonicos del embalse El Peñol. *Actualidades Biológicas*, *15*(56), 14-25. https://doi.org/10.17533/udea.acbi.330124

Ramírez, J. J. (2000). *Fitoplancton de agua dulce. Bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias*. Universidad de Antioquia.

Reynolds, C. S. (2006). *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press.

Reynolds, C. S. (1997). *Vegetation processes in the Pelagic: a model for ecosystem theory. Excellence in Ecology*. International Ecology Institute.

Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Nasselli-Flores, L. & Melo, S. (2002). Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, *24*(5), 417-428. https://doi.org/10.1093/plankt/24.5.417

Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D. & Clesceri, L. S. (Eds.). (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22nd ed.). American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

Rodríguez Gómez, H. & Anzola Escobar, E. (2001). La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura. En H. Rodríguez Gómez, P. Victoria Daza, M. Carrillo Ávila (Eds.), *Fundamentos de Acuicultura Continental* (Cap. III, pp. 43-72). Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. http://hdl.handle.net/20.500.12324/34940

Roldán Pérez, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. FEN Colombia, COLCIENCIAS, Universidad de Antioquia. https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/wbp13.pdf

Rueda Sevilla, J., López Martínez, C. & Hernández Villar, R. (2005). Evaluación de la calidad de los ecosistemas acuáticos a partir del modo de nutrición (IMN) de sus macroinvertebrados. Una adaptación para la educación secundaria. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, (19), 103-114.

Samanez Valer, I., Rimarachín Ching, V., Palma Gonzales, C., Arana Maestre, J., Ortega Torres, H., Correa Roldán, V. & Hidalgo Del Águila, M. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Ministerio del Ambiente.

Sargent, J. R., Bell, J. G., Bell, M. V., Henderson, R. J. & Tocher, D. R. (1995). Requirement criteria for essential fatty acids. *Journal of Applied Ichthyology*, *11*, 183-198. https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.1995.tb00018.x

Savolainen, I. & Valtonen, T. (1984). Ostracods of the north-eastern Bothnian Bay and population dynamics of the principal species. *Aquilo, Seria Zoologica*, *22*, 69-76.

Scharf, B. W. (1980). Zur rezenten Muschelkrebsfauna der Eifelmaare (Crustacea: Ostracoda). *Mitteilungen der Pollichia*, *68*, 185-204. https://www.zobodat.at/pdf/Mitt-Pollichia_68_0185-0204.pdf

Schneider, S. (2007). Macrophyte trophic indicator values from a European perspective. *Limnologica*, *37*, 281-289. https://doi.org/10.1016/j.limno.2007.05.001

Seuront, L. (2010). Zooplankton avoidance behavior as a response to point sources of hydrocarbon-contaminated water. *Marine and Freshwater Research*, *61*, 263-270. https://doi.org/10.1071/MF09055

Stamenković, M., Steinwall, E. & Wulff, A. (2021). Cultivation and photophysiological characteristics of desmids in moderately saline aquaculture wastewater. *J. Phycol.*, *57*(3), 926-941. https://doi.org/10.1111/jpy.13150

Stancheva, R. & Sheath, R. G. (2009). Common freshwater algae of the United States. An illustrated key to the genera (excluding the diatoms). *Journal of Phycology*, *45*, 532-533. https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2009.00670.x

Stoermer, E. F. & Smol, J. P. (1999). *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press.

Takeuchi, T., Watanabe, T. & Nose, T. (1979). Requirement for essential fatty acids of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in freshwater environment. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, *45*(10), 1319-1323.

Tanaka, H. (2007). *Taxonomic studies of the genera (*Cyclotella*)(Kützing) Brébisson, Discostella Houk et Klee, and Puncticulata Hákansson in the family Sephanodiscaceae Glezer et Makarova (*Bacillariophyta*) in Japan*. J. Cramer.

Taylor, W., Williams, L., Hern, S. & Lambou, V. (1979). *Phytoplankton water quality relationships in U.S. Lakes*. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Environmental Monitoring and Support Laboratory, Monitoring Operations Division.

Tenorio, C., Hernández, H. E., Aguirre, M. A. & Aguilar, C. P. (2023). Actualización del Manual para obtención de cepas microalgales. *Inf Inst Mar Perú*, *50*(1), 68-82. https://hdl.handle.net/20.500.12958/7531

Timms, B. V. (1992). *Lake geomorphology*. Gleneagles Publishing.

VandeBund, W. & Solimini, A. G. (2007). *Ecological Quality Ratios for Ecological Quality Assessment in Inland and Marine Waters. REBECCA Deliverable 10*. European Commision, Directorate-General Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC36757

Van Dijk, G. M. & Van Vierssen, W. (1991). Survival of *Potamogeton pectinatus* population under various light conditions in a shallow eutrophic lake (Lake Veluwe) in The Netherlands. *Aquatic Botany*, *39*, 121-130. https://doi.org/10.1016/0304-3770(91)90027-3

Velasco, J. L., Álvarez, M. & Sánchez-Colomer, M. G. (2005). Comunidades planctónicas de los lagos de montaña de Neila (Burgos, España). *Ecología*, (19), 75-94.

Watanabe, T. (1982). Lipid nutrition in fish. *Comp. Biochem. Physiol.*, *73B*, 3–15. https://doi.org/10.1016/0305-0491(82)90196-1

Watters, C., Iwamura, S., Ako, H. & Deng, D-F. (2012). *Nutrition considerations in aquaculture: the importance of omega-3 fatty acids in fishdevelopment and human health* (Foods and Nutririon Series; FN-11). University of Hawaii. http://hdl.handle.net/10125/41002

Williams, D. M. (2011). *Synedra*, *Ulnaria*: definitions and descriptions–a partial resolution. *Diatom Research*, *26*(2), 149-153. https://doi.org/10.1080/0269249X.2011.587646

Wu, Y. (2017). Indicators for monitoring aquatic ecosystem. In Y. Wu (Ed.), *Periphyton: Functions and Application in Environmental Remediation* (Cap. 3, pp. 71-106). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801077-8.00003-X

Zúñiga de Cardoso, M. C. (2001). *Los insectos como bioindicadores de calidad del agua*. En Primer Congreso Colombiano de zoología, Bogotá, Colombia.

ANEXO Nº 1

DEFINICIONES Y CONCEPTOS: ANÁLISIS COMUNITARIO DEL FITOPLANCTON

Bacillariophyta: *son conocidas como diatomeas. Generalmente son algas unicelulares, aunque pueden ocurrir formas coloniales y filamentosas. Su característica más sobresaliente es la presencia de una pared celular impregnada de silicio en cantidades variable. Esta pared se denomina frústulo y está constituida por dos mitades o tecas que se une la una a la otra como la tapa y el fondo de una caja Petri. En la frústula se definen una serie de ejes, utilizado en la taxonomía de los organismos de esta división (Ramírez, 2000).*

Charophyta: *Las Charophyceae es un grupo diverso de amplia distribución con aproximadamente 400 especies (Wood, 1964, 1965; Khan y Sharma, 1984). Estas algas crecen como macrófitas sumergidas principalmente en ambientes lóticos y lénticos, cumpliendo varias funciones importantes en los ecosistemas dulceacuícolas (Coops, 2002). Adicionalmente, se las considera un buen indicador de la calidad del agua debido a que son muy sensibles a la contaminación (Van Dijk & Van Vierssen, 1991; Coops, 2002; Cirujano et al., 2007; Schneider, 2007).*

Cryptophyta: *Este grupo está compuesto principalmente por flagelados que se encuentran tanto en ambientes marinos como de agua dulce. Las células contienen clorofilas a y c y ficobiliproteínas que se encuentran dentro de los tilacoides del cloroplasto. El cuerpo celular es asimétrico con lados dorsi-ventral/derecha-izquierda claramente definidos. La forma asimétrica de las células da como resultado un peculiar movimiento de balanceo durante la natación. La mayoría de las criptofitas tienen un cloroplasto de un solo lóbulo con un pirenoide central (Lee, 2008).*

Chlorophyta: *conocidas como* ***algas verdes****. Constituye uno de los mayores grupos de las algas, si se tiene en cuenta su abundancia en género y especie, al igual que su frecuencia y ocurrencia. Crecen en agua de amplio rango de salinidad, pueden ser planctónicos o bentónicos o pueden presentarse en hábitat sub aéreos. Es común que posean talos unicelulares, coloniales – cenóbicos o no cenóbicos - filamentosos - ramificados o no - membranosos, de forma laminar o tubular. Las células son, en su mayoría, unicelulares, pero existen formas multinucleadas o cenocíticas. Su organela* más conspicua es el cloroplasto *(Ramírez, 2000).*

Cyanophytas: *Las algas verde azules se han denominado también Myxophyta, Schizophyta y en la fecha más reciente, Cyanobacterias, dada su afinidad con las bacterias respecto a la organización procariótica, sin embargo, el tamaño es su diferencia fundamental, pues las algas verde azules son de mayor tamaño que aquellas. La temperatura óptima para el desarrollo de estas algas oscila entre 35 y 40°C (Ramírez, 2000).*

Dinophyta*: (Dinoflagelados) se presentan en aguas marinas, salobres y dulces. La forma prevaleciente de la división es la biflagelada, pero también se presenta en forma no móvil. Posee nutrición diversificada: fotosintética, heterotrófica, saprofítica, parasítica, simbiótica y holozoica; además, muchas son auxotróficas para varias vitaminas (Ramírez, 2000).*

Euglenophyta: *Pueden decirse que los organismos de esta división son casi enteramente dulceacuícolas, aunque unos pocos son de ambiente estuarino y marino. Los euglenoides se encuentran normalmente en pequeños cuerpos de agua ricos en materia orgánica y, en general, son organismos unicelulares solitarios, a excepción del género colonial llamado Colacium. La forma celular puede variar: cilíndrica, fusiforme, discoide, triangular, entre otras. Pueden tener una forma fija como Phacus, o variable como en Euglena. Poseen diferentes formas de nutrición: holofítica, holozoica o saprofítica (Ramírez, 2000).*

ANEXO Nº 2

ORGANISMOS REPRESENTATIVOS

En las siguientes Tablas se dan a conocer los organismos representativos e indicadores de las lagunas altoandinas evaluadas.

Tabla 60.- Organismos representativos de fitoplancton en lagunas altoandinas

Lagunas	Monitoreo-Fitoplancton	
	Julio	Noviembre
Sutuyccocha	*Botryococcus braunii*	*Sphaerocystis schroeteri*
Orccococha	*Cyclotella* sp.	*Tabellaria* sp.
Lliullita	*Synedra* sp.	*Spirogyra* sp.
Llumipata		*Nitzschia palea*

Tabla 61.- Organismos indicadores de fitoplancton en lagunas altoandinas

Género	Indicador	Ecosistema acuático	Referencia
Botryococcus sp. (*Braunii)???	Eutrofia	Léntico	Márquez y Guillot (1998)
	Oligotrofia	Léntico	Ramírez (1986)
	Eutrofia por mezcla	Léntico	Pinilla (2000)
	Baja mineralización	Léntico	Pinilla (2000)
	Eutrofia (amplía distribución trófica)	Léntico	Pinilla (1995)
Sphaerocystis sp.	Eutrofía fría	Aguas continentales, embalse	Duque y Donato (1992)
Cyclotella sp.	Ambientes Eutróficos y tolerantes a contaminación orgánica	Agua dulce y Salobre	Tanaka (2007).
Tabellaria sp. (*flocculosa)	Mesotrófica a eutrofia	Léntico	Donato (1987)
			Duque y Donato (1992)
Synedra sp.	Eutrofización	Lénticos y Lóticos	Reynolds (2006)
	Contaminación órganica y natural	Ecosistemas oligohalinos	Taylor *et al.* (1979); Bellinger y Sigee (2010); Stoermer y Smol (1999)
Spirogyra sp.	Oligotrofia fría	Aguas continentales, embalse	Duque y Donato (1992)
Nitzschia sp.	Turbulencia	Lótico	Donato (1998)
	Mezcla	Léntico	Márquez y Guillot (1988)

Tabla 62.- Organismos representativos de zooplancton en lagunas altoandinas

Lagunas	Monitoreo-Zooplancton	
	Julio	Noviembre
Sutuyccocha	*Pleuroxus* sp.	*Boeckella* sp.
Orccococha	*Keratella cochlearis*	*Keratella cochlearis*
Lliullita	*Boeckella* sp.	*Daphnia* sp.
Llumipata		*Boeckella* sp.

Tabla 63.- Organismos indicadores de zooplancton en lagunas altoandinas

Género	Indicador	Ecosistema acuático	Referencia
Pleuroxus sp.	Buen Indicador Ecológico	Lagunas	De Eyto *et al.* (2002)
Boeckella sp.	Eutrofización	Se ha registrado en el lago Titicaca.	PRODUCE (2010)
		Es un género característico y dominante en el zooplancton de lagos altoandinos sudamericanos	Del Solar *et al.* (1970)
			Iannacone *et al.* (2013)
Keratella sp.		Se considera una especie cosmopolita, se encuentra en aguas dulces, salobres y marinas. Es, probablemente, la especie más común y la más extendida en el mundo.	Gosse (1851)
	Considerada buen indicador del avanzado estado de eutrofización de lagunas. Esta especie euplanctónica es polífaga, se alimenta de detritos orgánicos, bacterias y algas.		Velasco *et al.* (2005)
			Pourriot (1977)
Daphnia sp.	Meso a eutrofia	Embalses	Márquez y Guillot (1988)
	Mesotrofia	Lago	Ramírez (1986)

Tabla 64.- Organismos representativos de perifiton en lagunas altoandinas.

Lagunas	Monitoreo-Perifiton	
	Julio	Noviembre
Sutuyccocha	Ulnaria ulna	*Tabellaria floculossa*
Orccococha	*Fragilaria tenera*	*Trachelomonas* sp.
Lliullita	*Ulnaria ulna*	*Discotella stelligera*
Llumipata		*Discotella stelligera*

Tabla 65.- Organismos indicadores de Perifiton en lagunas altoandinas

Género	Indicador	Ecosistema acuático	Referencia
Ulnaria sp.	Oligotrófica		Potapova y Charles (2007)
		Lóticos	Ramírez y Plata-Díaz (2008)
		Lénticos	Williams (2011)
	Moderadamente alcalinos, oligosaprobios y eutróficos	Lóticos y Lénticos	Lange-Bertalot y Ulrich (2014)
Tabellaria sp. (*flocculosa)	Mesotrófica a eutrofia	Léntico	Donato (1987)
			Duque y Donato (1992)
Fragilaria sp.	Mesotrofia	Rios	Donato (1987)
	Aguas litorales	Lagunas	Donato (1991)
Trachelomonas sp.	Eutrofia alóctona	Lénticos	Duque y Donato (1992)
	Sedimentos y conductividad altos	Lóticos	Duque y Donato (1992)
Discotella sp.	Oligotróficos árticos y boreales. Bajos nutrientes.	Lóticos y Lénticos	Potapova *et al.* (2020)

Tabla 66.- Organismos representativos de macrobentos en lagunas altoandinas

Laguna	Monitoreo-Macrobentos	
	Julio	Noviembre
Sutuyccocha	*Cricotopus* sp.	*Limnocythere* sp.
Orccococha	*Polycentropus* sp.	*Polypedilum* sp.
Lliullita	*Nais* sp.	*Limnocythere* sp.
Llumipata		*Nais* sp.

Tabla 67.- Organismos indicadores de macroinvertebrados en lagunas altoandinas

Género	Indicador	Ecosistema acuático	Referencia
Cricotopus sp1.	Las especies del género *Cricotopus* muestran amplia gama de tolerancia a los contaminantes artificiales, lo que los convierte en excelentes bioindicadores.	Las larvas de *Cricotopus* se encuentran en todos los tipos de agua dulce y algunas se encuentran en lugares como las costas salinas. Frecuentemente se hallan asociadas con plantas acuáticas, incluyendo algas.	Pantano Rodriguez (2016)
Limnocythere sp2.	La distribución de este género se restringe a hábitats ologotróficos		Scharf (1980)
	Tolerantes a aumentos de salinidad		Savolainen y Valtonen (1984) Frenzel (1991)
		El género tiene una distribución amplia en la zona litoral (ambientes lénticos) y disminuye a profundidades mayores.	Niinemets (1999)
	Indicador de aguas con elevada alcalinidad.	Especie relativamente común en cuerpos acuáticos epicontinentales.	Löffler (1991)
Polycentropus sp.		Las larvas se encuentran tanto en hábitats lénticos como lóticos, donde depredan sobre otros invertebrados. La familia Polycentropodidae es muy diversa y está presente en todas las regiones biogeográficas del mundo.	Flint *et al.* (1999)
	Indicadores de aguas oligotróficas		Correa *et al.* (1981)
Nais sp.	Aguas con alta concentración de materia orgánica de origen natural o antropogénica	Ambientes lénticos	Marchese *et al.* (2002)