



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



**TESIS**

**ELEVAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO TITICACA  
SECTOR CHIMU CON CARBÓN ACTIVADO DE TOTORA (*Schoenoplectus  
californicus*)**

**PRESENTADA POR:**

**DANY ALEXANDER AGUILAR MAMANI**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

**PUNO, PERÚ**

**2024**

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**ELEVAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO TITICACA SECTOR CHIMU CON CARBÓN ACTIVADO DE TOTORA (Schoenoplectus californicus)**

AUTOR

**DANY ALEXANDER AGUILAR MAMANI**

RECUENTO DE PALABRAS

**27002 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**140833 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**120 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**15.1MB**

FECHA DE ENTREGA

**May 31, 2024 2:41 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**May 31, 2024 2:44 AM GMT-5**

● **16% de similitud general**

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

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 11% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



**D. Leonidas Vica Callata**  
CIP. 62274



**Ingeniero Jared Luque Coyia**  
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN  
ING. ESTADÍSTICO E INFORMATICO  
CIP. 116625

Resumen



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

**ELEVAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO TITICACA  
SECTOR CHIMU CON CARBÓN ACTIVADO DE TOTORA (*Schoenoplectus*  
*californicus*)**

**PRESENTA POR:**

**DANY ALEXANDER AGUILAR MAMANI**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

.....  
Dr. LEONARDO FAXE COLQUEHUANCA

PRIMER MIEMBRO

.....  
D.Sc. GERMAN BELIZARIO QUISPE

SEGUNDO MIEMBRO

.....  
Dra. ALICIA MAGALY LEON TACCA

ASESOR DE TESIS

.....  
D.Sc. LEONIDAS VILCA CALLATA

Puno, 30 de enero de 2024.

**ÁREA:** Ciencias de la Ingeniería

**TEMA:** Elevar el índice de calidad del agua del lago Titicaca sector Chimu con carbón activado de totora  
(*schoenoplectus californicus*)

**LÍNEA:** Recursos naturales y medio ambiente





## DEDICATORIA

### **Dedico este trabajo de investigación:**

- A mis dos princesas quienes me alegran día a día Dayana Sarith & Yokono Dayra quienes siempre serán mi inspiración para seguir adelante.
- A mi querida esposa Gloria Arazola Mamani por su apoyo incondicional y su comprensión en los momentos difíciles que pasamos.
- A quienes me dieron la vida y su amor, mis padres, papá Brindice y mamá Manuela con todo cariños para ustedes queridos papitos.
- A Daniel, David, Lidia y Darwin, mis hermanos, la familia siempre estará en nuestros corazones.

Dany Alexander Aguilar Mamani.



## AGRADECIMIENTOS

- Agradezco infinitamente a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno que me formo como profesional.
- A todos los docentes quienes me brindaron sus conocimientos y su cariño, en las etapas de pre y posgrado agradecido eternamente.
- A mis jurados Dr. Leonardo Paye Colquehuanca, Dr. German Belizario Quispe y Dra. Alicia Magaly Leon Tacca gracias por sus consejos y enseñanzas.
- A mi asesor de tesis Dr. Leonidas Vilca Callata por el tiempo brindado y su apoyo incondicional en la presente investigación.
- Un Agradecimiento especial a la ciudad de Puno y su hermoso lago Titicaca, el presente trabajo se enfoca en uno de sus problemas de nuestro lago sagrado de los incas.

Dany Alexander Aguilar Mamani.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
ACRÓNIMOS	ix
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3

### CAPÍTULO I

#### REVISIÓN DE LITERATURA

1.1	Marco Teórico	6
1.1.1	Conceptos generales sobre el Índice de Calidad del Agua (ICA)	6
1.1.2	La Tatora ( <i>Schoenoplectus Californicus</i> )	7
1.1.3	Conceptos de los diferentes parámetros que nos permitirán medir el ICA	11
1.1.4	Carbón Activado	15
1.1.5	Síntesis teórica del trabajo de investigación.	16
1.2	Antecedentes	17
1.2.1	Internacionales	17
1.2.2	Nacionales	20
1.2.3	Locales	21

### CAPÍTULO II

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1	Identificación del problema	22
2.2	Enunciados del problema	23
2.2.1	Problema general	23
2.2.2	Problemas específicos	23
2.3	Justificación	24



2.4	Objetivos	24
2.4.1	Objetivo general	24
2.4.2	Objetivos específicos	25
2.5	Hipótesis	25
2.5.1	Hipótesis general	25
2.5.2	Hipótesis específicas	25

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	Lugar de estudio	26
3.1.1	Ubicación geográfica	26
3.1.2	Ubicación hidrográfica	26
3.2	Población	27
3.3	Muestra	27
3.3.1	Periodo de investigación	29
3.4	Métodos de investigación	30
3.5	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	31
3.5.1	Para el primer Objetivo específico la que se utilizó fue la Metodología WQI CCME de tipo exploratorio	31
3.5.2	Para el segundo objetivo específico la metodología es de tipo experimental tomando datos y experiencias de otros autores.	37
3.5.3	Para el tercer objetivo específico usamos el método experimental	39

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1	Índice de la calidad del agua superficial del sector Chimu del lago Titicaca en el año 2023 respecto a otras áreas del lago.	44
4.1.1	Resultados del índice de calidad de agua de los 4 sectores del lago Titicaca	44
4.1.2	Resultados del análisis de varianza entre los 4 sectores de 17 parámetros del lago Titicaca	62
4.2	Obtención de carbón activado a partir del tratamiento de la Titora mediante activación química.	64
4.3	Agua superficial del sector Chimu tratada con carbón activado obtenido de la Titora para mejorar el Índice de Calidad del Agua	69
<b>CONCLUSIONES</b>		76



RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS	90



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Composición orgánica de la Totora	9
2. Composición química de la totora del lago Titicaca y Schoenoplectus	10
3. Puntos de muestro con su respectivo código (45 puntos )	29
4. Parámetros para medir el ICA en lagos y lagunas categoría 04	33
5. Tabla de calificación del índice de calidad del agua	36
6. Parámetros de medida que se encontraron en los 4 setores de lago Titicaca	46
7. Puntos de muestreo de 17 parámetros en la bahía interior del lago Titicaca	48
8. Valores de Excedentes de 17 parámetros en la bahía interior del lago Titicaca	48
9. Puntos de muestreo de 17 parámetros en el Lago menor del lago Titicaca	51
10. Valores de Excedentes de 17 parámetros en el Lago menor del lago Titicaca	52
11. Puntos de muestreo de 17 parámetros en la bahía lago del lago Titicaca	54
12. Valores de Excedentes de 17 parámetros de la bahía lago del lago Titicaca	55
13. Puntos de muestreo de 17 parámetros en el lago mayor del Titicaca	57
14. Valores de excedentes de 17 parámetros en el lago mayor del Titicaca	59
15. Proporciones de materia prima frente al agente activante ácido sulfúrico	65
16. Contenido de humedad de la Totora (3 muestras)	66
17. Determinación del contenido de pH de la Totora	67
18. Determinación del contenido de pH de la Totora	67
19. Determinación de la Densidad aparente para el CA de Totora	67
20. Tipo y cantidad de CA utilizado y tiempo en atravesar el filtro	68
21. Valores físico químicos del laboratorio de control de calidad de la UNA Puno	70
22. Análisis de ICA con datos de laboratorio de la facultad de Ingeniería Química de la UNA Puno	72
23. Valor del ICA con los datos obtenidos en laboratorio de Ingeniería Química	73



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Producción de biomasa de la totora según períodos fenológicos	9
2. Producción de Totora en el tiempo	11
3. Ubicación del lago Titicaca	26
4. Conexión de aguas con la bahía interior del lago Titicaca y la bahía de Puno (punto de muestreo)	27
5. Punto de muestreo lugar Chimú	28
6. Factores que representan al CCME WQI	32
7. Procesos para encontrar el ICA de los 4 sectores del lago Titicaca	36
8. Proceso de obtención del Carbón Activado	39
9. Muestras de agua para laboratorio ( M1 sin filtrar turbiedad evidente y M2 después de pasar el filtro con CA	40
10. Primeras muestras tomadas in situ	42
11. Filtro con carbón activado de Totora	43
12. Proceso de obtención del Índice de Calidad del Agua sector Chimú	43
13. Prueba de normalidad	63
14. Tres etapas del CA activado de Totora	66
15. Valores ICA de los 4 sectores del lago Titicaca y 2 muestras de agua analizadas particularmente	75



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Matriz de consistencia	90
2. D.S. N° 004 - 20147 ECA - Agua	91
3. Estándares de calidad ambiental para agua categoría 4 para lagos (ECA 4).	92
4. ANOVA de los 17 parámetros analizados	93
5. Certificado de análisis de agua del laboratorio de calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA Puno	99
6. Panel fotográfico	100
7. Informe de resumen del ICA de los 6 datos	104
8. Cuadros de resultados de parámetros de calidad de agua tomados por la ANA	105



## ACRÓNIMOS

CA	: Carbón Activado
CCME	: Canadian Council of Minister of the Environment
DBO	: Demanda Biológica de Oxígeno
ECA	: Estándar de Calidad del Agua
EMSA	: Empresa Municipal de Saneamiento Básico
ICA	: Índice de Calidad del Agua
MINAM	: Ministerio del Ambiente
MON	: Materia Orgánica Natural
ONU	: Organización de Naciones Unidas
UNA	: Universidad Nacional del Altiplano
WQI	: Water Quality Index

## RESUMEN

El agua es vital para el ser humano, es muy importante el Índice de Calidad del Agua (ICA) para evitar riesgos a la salud; En la ciudad de Puno, el agua se extrae para potabilización principalmente del Lago Titicaca en el sector Chimú. El objetivo de la investigación es elevar el ICA con Carbón Activado (CA) de Totora (*Schoenoplectus Californicus*) y conocer si el agua que consumimos cumple con las Normas de Calidad de Agua, se obtuvieron las muestras de agua del lago para analizarlas en el laboratorio y se utilizaron los datos del monitoreo del lago realizado por la Autoridad Nacional del Agua. La investigación es experimental utilizando la metodología canadiense WQI CCME. Los resultados obtenidos son: Un ICA=EXCELENTE en dos sectores, lago mayor y lago menor, ICA= MALO en la bahía de Puno y en la bahía interior un ICA= MALO, el agua después del tratamiento con AC de Totora registró el ICA= BIEN en la bahía de Puno. La activación del AC fue químicamente usando ácido sulfúrico, los parámetros del agua que fueron mejorados fueron: Sólidos en suspensión 0.649-0.476 mg/L, DBO en 7-2 mg/L, Aceites y grasas de 66.83-13, 8 mg/L, Nitrógeno amoniacal 2.470-0.5 mg/L, Materia orgánica 99.82-0%, Nitratos 50-0 mg/L, Nitritos 14-0. 5 mg/L, Nitrógeno total 0,035-0% y un aumento del pH de 6,16-8,67, DQO de 47,58-57,99 mg/L, Fósforo 0,62-1,5 mg/L y conductividad eléctrica de 1905-1985  $\mu$ S/cm. Se concluye que es posible mejorar el ICA de algunas zonas del lago utilizando carbón activado Totorá.

**Palabras clave:** Carbón activado, estándar de calidad del agua, índice de calidad del agua, lago Titicaca, *Schoenoplectus californicus*, Totorá.

## ABSTRACT

Water is vital for human beings, is very important the Water Quality Index (WQI) to avoid health risks; In the city of Puno, water is extracted for drinking water mostly from Lake Titicaca at Chimu sector. The objective of the research is to raise the WQI with Activated Carbon (AC) of Totora (*Schoenoplectus Californicus*) and to know if the water we consume compiles with the Quality Standards for Water, the water samples were obtained from the lake to analyze them in the laboratory and data from the lake monitoring carried out by the National Water Authority were used. The research is experimental using the Canadian WQI CCME methodology. The results obtained are: An WQI=EXCELLENT in two sectors, major lake and minor lake, WQI=BAD in Puno Bay and in the inner bay a WQI= POOR, the water after the treatment with AC from Totora registered the WQI=GOOD in the Puno Bay. The activation of the AC was chemically using sulfuric acid, the parameters from the water that were improved were: Suspended solids 0.649–0.476 mg/L, BOD in 7–2 mg/L, oils and fats of 66.83–13, 8 mg/L, ammoniacal nitrogen 2.470–0.5 mg/L, organic matter 99.82-0%, Nitrates 50-0 mg/L, Nitrites 14-0.5 mg/L, Total nitrogen 0.035-0% and an increase in pH of 6.16-8.67, COD of 47.58-57.99 mg/L, Phosphorus 0.62-1.5 mg/L and electrical conductivity of 1905-1985  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . It is concluded that it is possible to improve the WQI of some areas of the lake using Totora activated carbon.

**Keywords:** Activated carbon, lake Titicaca, *Schoenoplectus californicus*, Totora, water quality standard, water quality index.

## INTRODUCCIÓN

Según las Naciones Unidas (ONU) (2010), el acceso al agua potable es un derecho humano fundamental. Sin embargo, con la disminución de la calidad del agua de las fuentes abastecedoras, se crea un panorama desafiante tanto en su tratamiento como en el mantenimiento de su calidad, hasta llegar al centro de consumo. Según el Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca (PEBLT), se estima que en el año 2057 el 70,78% de las aguas de nuestro lago se habrán secado dejando enormes problemas para los países Perú y Bolivia (Orellana, 2023).

El seguimiento de la calidad del agua se realiza en base al análisis y cuantificación de parámetros físico-químicos y microbiológicos. En el caso de control de lagos y lagunas, la calidad de sus aguas se establece en base a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA 4 -Agua) y establecen Disposiciones Complementarias según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM para aguas (MINAM, 2017).

Sin embargo, la cantidad significativa de estándares presentados pueden dificultar que la persona comprenda la calidad del agua. Por lo tanto, comenzamos a aplicar la metodología de Índice de Calidad del Agua (ICA) o en sus siglas en inglés (Water Quality Index) que pertenece al Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (Canadian Council of the Ministry of the Environment CCME) que sintetizan información de calidad para hacerla fácilmente interpretable y comprendida (CCME, 2017).

Actualmente existe una variedad de metodologías para hallar los Índices de Calidad del Agua (ICA) que se aplican, desde procesos para enmarcar masas de agua hasta monitorear la calidad del agua en los sistemas de distribución. Destacando los índices: Streeter-Phelps, IQA-CETESB, QUALE2E, CE-WAL-W2 e WQI-CCME (Pérez et al., 2009).

El método de Índice de Calidad del Agua desarrollado por el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente se distingue por su versatilidad, en cuanto al tipo y número de parámetros, número de análisis, frecuencia de colectas y período de aplicación, para cualquier tipo de fuente de agua, proporcionando una estructura matemática capaz de demostrar las condiciones del agua. en relación con los lineamientos de calidad establecidos, varios estudios utilizaron el ICA del Consejo Canadiense del Medio

Ambiente para determinar la calidad del H<sub>2</sub>O, tanto para H<sub>2</sub>O cruda como para H<sub>2</sub>O tratada (Sukman, 2017).

Por otra parte, hoy en día el tratamiento para reducir agentes contaminantes en agua y aire físicos y químicos se está utilizando el Carbón Activado (CA) a base de varios elementos orgánicos reciclables como: CA a base de cascara de coco, CA a base de cascara de naranja, CA a base de pepas de nueces y otros elementos orgánicos que son desechados como residuos y en esta investigación se hizo CA a base de Totora extraído del lago Titicaca, la contaminación de las fuentes de agua de nuestro lago Titicaca por agentes antropogénicos, aguas residuales, residuos sólidos vertimientos no autorizados, metales pesados y otros aumentó en nuestro lago como resultado de la creciente poblacional, industrias y/o fabricas que son propias del desarrollo urbano y el tratamiento inadecuado del agua y las aguas residuales hacen que nuestro lago hoy tenga un mal aspecto y emane olores nauseabundos (PELT, 1997).

La contaminación del agua potable es la principal vía de exposición de los seres humanos a los metales pesados. Beber agua contaminada con metales pesados se ha relacionado con varias consecuencias nocivas para el metabolismo humano. La formación de especies reactivas de oxígeno, es decir, el daño oxidativo, es el principal mecanismo de efectos adversos sobre la salud de las personas, provocando altas tasas de enfermedades y muertes en todo el mundo (Mateos, 2016).

El carbón activado es un material que se elabora en la industria para tener una elevada superficie interna y así poder adsorber (retener sobre su superficie) gran cantidad de elementos muy diversos, tanto en fase de gas como en disolución. Son dos las características fundamentales en las que se aplican el carbón activado. En general, los microporos (tamaño inferior a 2 nm) le confieren la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los mesoporos (tamaño comprendido entre 2-50nm) y macroporos (tamaño >50nm) son necesarios para retener moléculas de gran tamaño, como pueden ser colorantes o coloides (Sabio, 2019).

Los 17 parámetros que se analizan en esta investigación tuvieron un tratamiento con carbón activado de Totora en polvo, el agua que se trato fue obtenida del sector Chimu en este lugar la empresa EMSA Puno realiza la captación de aguas para el abastecimiento de una gran parte de la población Puneña, somos lugareños de la zona y vemos el grado



de contaminación que en este lugar existe y esta fue nuestra principal preocupación para poder realizar esta investigación.

La modificación química del agua podría mejorar el problema de contaminación en aguas porque mejoraría los parámetros a favor de la biota existente, recientemente, se han utilizado desechos agrícolas como cáscaras de naranja y semillas de dátiles y otros para convertirlos en CA y eliminar metales pesados y contaminantes de fuentes acuáticas. A pesar de la extensa investigación sobre la adsorción de metales pesados del agua utilizando diversos adsorbentes, se ha prestado una atención limitada a la eliminación del cobre del agua utilizando carbón activado modificado derivado de materiales de desecho agrícola como los mencionados anteriormente (Bonilla et al., 2019).

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1 Marco Teórico

##### 1.1.1 Conceptos generales sobre el Índice de Calidad del Agua (ICA)

###### A. El agua

El agua es el compuesto más importante y uno de los principales constituyentes del planeta en que vivimos. Casi las tres cuartas partes de nuestra superficie terrestre están cubiertas de agua, aproximadamente del 60 y 75% del organismo humano es agua, sin embargo, debe tenerse en cuenta que casi no existe de forma pura, pues casi siempre contiene sustancias minerales y orgánicas disueltas o en suspensión (UNESCO-WWAP, 2003).

###### B. Calidad del agua

La descripción y evaluación de la calidad de las aguas es una materia compleja, no exenta de controversias en cuanto a la capacidad de las diferentes metodologías para informar sobre el carácter cualitativo del recurso hídrico (MITECO, 2000).

Una de las fuentes de contaminación más predominantes, es la carga de nutrientes, que a menudo es asociada con la carga de patógenos (UNESCO, 2021).

###### C. Índice de Calidad de Agua (ICA)

Los índices de calidad de agua (ICA), constituyen herramientas matemáticas que integran información de varios parámetros, permitiendo transformar grandes cantidades de datos en una escala única de medición de calidad del agua (ANA, 2018).

Diversos índices han sido desarrollados y empleados en diferentes investigaciones para clasificar la aptitud de las aguas para disímiles usos, cada uno de ellos tiene sus características propias (Alvarez et al., 2006 ; Ocampo et al., 2013; Quiñones Huatangari et al., 2020; Wong y Hu, 2013; Coello et al., 2015).

#### **D. El Consejo Canadiense del Ministro del Ambiente (CCME) e Índice de Calidad de Agua (WQI)**

Se basa en el índice desarrollado por el Ministerio de Medio Ambiente, Tierras y Parques de Columbia Británica e incorpora modificaciones desarrolladas por la provincia de Alberta y se parece mucho al Índice de Calidad del Agua Agrícola de Alberta. La principal diferencia entre el índice original y el CCME WQI es el método para calcular un factor relacionado con la amplitud, como se analizará (CCME, 2017).

#### **E. Lago Titicaca**

Está ubicado 3810 m.s.n.m. es uno de los 20 lagos más arcaicos en la tierra, compartido entre la república del Perú y el estado Plurinacional de Bolivia. Este lago posee una gran riqueza entre la flora y la fauna su agua es dulce y hoy es la atención mundial por su contenido cultural que existe en ella (Dejoux, 1991; Jorge y Daza, 2014).

##### **1.1.2 La Tatora (*Schoenoplectus Californicus*)**

La tatora es una planta acuática que crece en el lago Titicaca (Alsayednasser *et al.*, 2022). Es una planta palustre, cosmopolita, ampliamente adaptada tanto en la región Oriental como Occidental (Samudio Oggero *et al.*, 2021). Posee tallos subterráneos (rizomas) que crecen paralelamente a la superficie del suelo (Pérez *et al.*, 2015). Ha sido utilizada por muchas culturas como medicina, alimento, forraje y material para la construcción de casas, botes y diferentes artesanías (Hidalgo y García, 2018).

#### **A. Caracterización bioecológica de la tatora y totorales del lago Titicaca**

La Tatora, es una Cyperaceae anfibia, emergente que conforman inmensas praderas acuáticas en zonas bien definidas del lago Titicaca, abarcando las más amplias áreas en la bahía de Puno.

## **B. Acción reproductiva de la totora**

Florece aproximadamente entre los 6 a 8 meses y alcanzan su mayor crecimiento en época de lluvias, donde la floración también es mayor (Loza, 2010). La reproducción es sexual mediante semilla y asexual mediante vástagos (PELT, 1997). Su reproducción más importante es por propagación vegetativa desde yemas de los rizomas, que constituyen tallos hipogeos estoloníferos y de desarrollo horizontal por debajo del lecho lacustre enviando hacia abajo raíces adventicias muy delgadas (Portillo et al., 2015). Se establecen en aguas con profundidades de hasta 60 cm y óptimamente a profundidades de 30 cm (Neill, 2007).

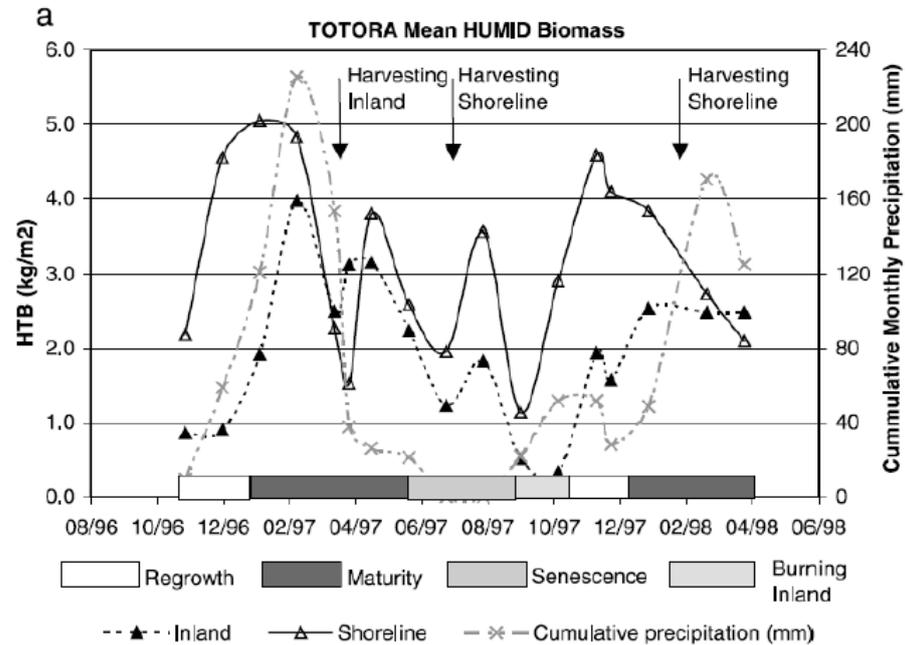
La totora es una planta herbácea perenne, dicha condición la otorgan los tallos rizomatosos subacuáticos que son estructuras efectivamente perennes, el desarrollo de la totora en el Titicaca está sujeto a la profundidad del lago, alcanza su máximo crecimiento en épocas de lluvias (enero, febrero y marzo) (Huanca, 2012). Los tallos con frecuencia alcanzan los 4 metros de altura y se han observado ejemplares de más de 6 metros, más rápido durante la temporada de lluvias alcanzando promedios entre 0.1 a 1.0 cm por tallo diario; requieren un poco más de un año para alcanzar el tamaño promedio de 3.8 metros por tallo, el corte parece que mejora el rendimiento de la planta y aumenta la densidad de los totorales (Collot, 1980).

Florece con mayor intensidad desde diciembre a mayo, siendo el máximo en febrero con unas 60 inflorescencias/m<sup>2</sup>, desde donde empieza a decaer y desde junio hasta agosto reduce su floración drásticamente (hasta cero por metro cuadrado), en setiembre ya aparecen unas 10 inflorescencias/m<sup>2</sup> (Roque y Aravena, 2021).

En la Figura 1 se observa la producción de biomasa de la totora su crecimiento madurez en un periodo de un año.

**Figura 1**

*Producción de biomasa de la Totora según períodos fenológicos.*



Nota. Extraído de Moreau y Le Toan, (2003).

### C. Composición química y biológica de la Totora

En cuanto a los macroelementos, la mayoría de plantas presentan una biomasa aérea con un peso de carbono de aproximadamente 50% (Zhu *et al.*, 2017) . En pastizales estimó 49.18% de carbono, 5.64% de hidrógeno y 40.16% de oxígeno. Para Pérez *et al.* (2015) y Bernardis *et al.* (2008) determinó 53.93 %, por lo que la totora puede contener composición similar.

**Tabla 1**

*Composición orgánica de la Totora*

Elemento	Unidades	cantidad
Carbono	%	49.18
Hidrogeno	%	5.64
Oxigeno	%	53.93

Nota. Según los autores Bernardis et al. (2008).

La fibra detergente neutro incluye hemicelulosa, celulosa y lignina, y la fibra detergente ácido solo celulosa y lignina la proporción

de celulosa en la totora, aumenta con la madurez, su proceso de maduración tiene influencia en su contenido en proteína y fibra: en época de floración el nivel de proteína aumenta y la fibra detergente disminuye; esta relación se invierte con la madurez (Roque y Aravena, 2021). En el contenido de sales minerales son altos resaltando los niveles de potasio que llegan a un 5.86% de su peso en seco, las concentraciones de zinc, hierro y calcio, son significativos como se aprecia en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Composición química de la totora del lago Titicaca y Schoenoplectus*

<b>Autores</b>	<b>K</b>	<b>Na</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Sio2</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>
Collot (1980)	5.85	2.50	0.90	0.19	1.07	0.77	0.20	39.7	1.88	950	5.5
Carranco 2018	2.58	0.44	0.71	0.31	--	--	0.04	--	--	147	--

*Nota.* Según los autores Collot (1980) y Carranco (2018).

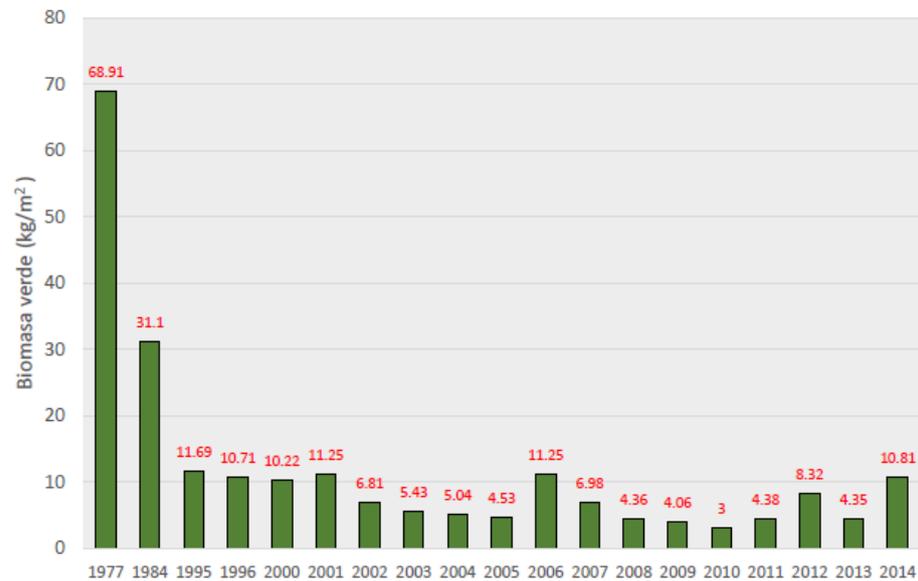
#### **D. Distribución de la Tatora en el lago Titicaca**

En la región Puno, la Tatora se encuentra distribuida en casi todo el lago Titicaca y lagunas alto andinas, en mayores áreas en el ámbito de la Reserva Nacional del Titicaca y su distribución está limitada mayormente a profundidades menores a 2 m, en cuya condición suelen formarse muy grandes y densos (Gamboa, 2020).

Las variaciones anuales en la cobertura de totorales del lago Titicaca indican que las áreas están disminuyendo desde el año 1950 donde existían una 52885 ha de totorales para el lado peruano y para el año 2000 solo quedaron 26640 ha perdiéndose casi el 50% de los totorales que existían décadas atrás (PELT, 1997). La disminución de totorales en el lado boliviano es menos alarmante que en el peruano. Un mapa de la distribución de totorales en el lago Titicaca según sus densidades se detalla en la siguiente figura.

**Figura 2**

*Producción de Totora en el tiempo*



*Nota.* Extraído de Dejoux, (2001).

### 1.1.3 Conceptos de los diferentes parámetros que nos permitirán medir el ICA

- **Oxígeno Disuelto:** El OD, es un parámetro ambiental de mucha importancia, porque su cálculo permite informar y/o reflejar la capacidad recuperadora de un curso de agua y la subsistencia de la vida acuática. En este parámetro se evalúa la calidad del agua superficial, la atmosfera aporta el oxígeno al agua y también se debe a la actividad biológica (fotosíntesis) en la masa de agua (CCME, 2017).
- **Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH):** Los PAH, constituyen un grupo variado de compuestos orgánicos que contienen dos o más anillos aromáticos condensados. La mayoría de los PAH llegan al medio ambiente por medio de la atmosfera procedentes de procesos de combustión y pirolisis. Dada su solubilidad baja y afinidad alta por las partículas, no se suelen encontrar en el agua en concentraciones significantes (Arguijo et al., 2019).
- **El nitrógeno amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> / NH<sub>3</sub>)** es un contaminante común en aguas superficiales potables y subterráneas la OMS establece como límite 0.5 mg/l en agua potable. Sin embargo, es frecuente encontrar niveles de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> / NH<sub>3</sub> por arriba de los 3 mg/L (ANA, 2020).

- **Cadmio:** Los minerales de zinc y plomo son los principales causantes que este elemento se encuentre en forma de sulfuro ya que los residuos antes mencionados hacen una reacción química causando la existencia del Cadmio (Hernandez et al., 1998).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** Mide la proporción de oxígenos oxígeno que requieren los microorganismos para degradar, oxidar y/o estabilizar sin presencia de aire y esta produce la Materia Orgánica Natural (MON), se han encontrado en todo el Perú lugares donde este parámetro supera el ECA – Agua y el Titicaca no es la excepción (Padilha et al., 1997).
- **Coliformes Termotolerantes (Fecales):** La presencia es debido a la contaminación fecal en sus aguas superficiales, y se debe al mal manejo de los residuos sólidos que los municipios y pobladores realizan en los lugares cercanos a estos cuerpos de agua (Autoridad Nacional del Agua, 2019)
- **Arsénico:** Es un metal pesado toxico y venenoso , en aguas se presenta como arsenito (AsO<sub>2</sub>) y arseniato (AsO<sub>4</sub><sup>3-</sup>); su presencia puede ser por el mal uso o descargas industriales que hacen uso de este material para diferentes procesos (Hernandez et al., 1998).
- **Mercurio:** El hombre con la actividad minera es el principal causante que este material se presente en aguas contaminadas, es un material que no es muy común ver en la naturaleza , pero su presencia o ingesta de este por las persona causan diferentes enfermedades alojándose en el cerebro y causando la muerte (ANA, 2020).
- **Plomo:** Este material no es de gran importancia en la corteza terrestre pero su presencia en las aguas es muy toxica para los organismos acuáticos, su grado de toxicidad tiene mucha variabilidad en la calidad del H<sub>2</sub>O y los organismos en estudio, en Puno se ha evidenciado su presencia en los ríos Coata, Ramis y otros por la presencia de la actividad minera, superando el ECA-Agua (Hernandez et al., 1998).
- **Clorofila A:** En este parámetro se determina la biomasa de los fitopláctones. Toda la planta verde contiene clorofila A, ya que sus niveles de concentración representa del 1 al 2% de todo el peso seco del plancton (CCME, 2017).

- **Zinc:** Este elemento se presenta en las rocas y minerales, no es muy soluble en el agua es por eso que tiene una baja concentración e cuerpos de agua de tipo alcalino y aumenta su presencia en aguas acidas. Por otra parte, el cuerpo del ser humano necesita de este elemento, pero en concentraciones mínimas porque es vital para la nutrición de las personas (Autoridad Nacional del Agua, 2019).
- **Potencial de Hidrogeno (pH):** EL pH varía en la mayoría de los cuerpos de agua entre 6.8 – 8.5 siendo un pH 7 el de mejor calidad, si está por debajo de este parámetro se le considera acida y si supera al parámetro 7 (neutro) se convierte en alcalina, las solubilidad de varios metales están relacionados con la presencia de este elemento, su presencia es de mucha importancia en la investigación del ICA del agua (Guilcamaigua *et al.*, 2019).
- **Sólidos suspendidos totales:** Su existencia en los cuerpos de agua natural se relaciona con los factores estacionales y regímenes de caudal y es afectado por la precipitación fluvial. Su concentración varía de sector a otro sector, según sea la hidrodinámica del cauce, el suelo, la cubierta vegetal, el lecho, las rocas y actividades del ser humano como la agricultura, minería, entre otros. Su evaluación en la calidad del agua es de mucha utilidad, se debe a que afecta la claridad del agua y la penetración de la luz, temperatura y el proceso de la fotosíntesis (ANA, 2020).
- **Fósforo:** Este es el principal elemento de la eutrofización de aguas y se debe al ingreso por el mal tratamiento de las aguas residuales domésticas y también a la escorrentía de la actividad agrícola, es por eso que su alta concentración de nutrientes hace que las algas de los cuerpos naturales de agua puedan producir en cantidades mayores (Quiroz y Astudillo, 2004).
- **Nitrito:** Para nitrito se decretó indica el valor admisible de 0,1 mg/L; se puede presumir entonces que valores que superen se denotan concentraciones de origen fuera de lo natural se forma en el agua producto del resultado de la descomposición de compuestos nitrogenados, especialmente en presencia de bacterias y que por ende son perjudiciales para la salud del ser humano (Cabrera *et al.*, 2003).

- **Nitrógeno Total:** Su presencia tiene una gran importancia porque contribuye con grandes cantidades de nutrientes a la biota de los cuerpos de agua y su presencia en cantidades que superan los establecido es debido al ingreso de aguas servidas domesticas de procedencia antrópica sin un buen tratamiento. Pueden causar la nitrificación y la eutrofización con diferentes concentraciones de nitratos, su presencia en aguas tiene mucha importancia porque ayuda al crecimiento de algas y otras especies, pero en concentraciones dentro de los ECA – agua (Quiroz y Astudillo, 2004).
- **Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH):** Es un compuesto muy insoluble en el agua y resulta muy tóxico para los organismos acuáticos. La presencia de este compuesto en el ambiente y en especial en el recurso hídrico, es debido a los accidentes, desde industrias o como productos secundarios a raíz de su uso comercial o privado, cuando hay derrames de TPH directamente al agua, algunas fracciones de los TPH flotarán en el agua, formando una capa delgada en la superficie. Otras fracciones más pesadas se acumularán en el sedimento del fondo, lo que puede afectar a peces y a otros organismos que se alimentan en el fondo (Arguijo et al., 2019).
- **Aceites y grasas (MEH)** Altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios orgánicos en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades. En aguas, las ceras, las grasas y los aceites son los principales lípidos de importancia. El elemento aceites y grasas incluye los esterés de ácidos grasos de cadena extensa, compuestos con cadenas largas de hidrocarburos, comúnmente con un conjunto de ácido carboxílico en un extremo, materiales solubles en solventes orgánicos, pero muy insolubles en agua debido a la estructura larga hidrofóbica del hidrocarburo. Estos compuestos sirven de alimento para las bacterias, puesto que pueden ser hidrolizados en los ácidos grasos y alcoholes correspondientes (Guilcamaigua et al., 2019).
- **Nitratos:** Los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) son aniones que contienen nitrógeno (N) y oxígeno (O). Se pueden unir a compuestos orgánicos e inorgánicos, formando sales u otros compuestos. Valor paramétrico establecido El límite máximo permitido de presencia de nitratos en las aguas de consumo es de

50 mg/L. Por encima de estos niveles el agua no es apta para consumo humano (Cabrera et al., 2003).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** La DQO es la evaluación equivalente del contenido de materia orgánica. Esta variable es de mucha validez porque con este parámetro se puede medir de forma rápida la contaminación de los cuerpos naturales de aguas. Superficiales y las concentraciones no pueden superar las ECAs para agua (Padilha et al., 1997).

#### 1.1.4 Carbón Activado

Acevedo et al. (2017) el Carbón Activado (CA) es un adsorbente preparado a partir de materiales carbonosos que se caracteriza por poseer una alta superficie interna. Los carbones activados son utilizado generalmente en procesos de descontaminación de aguas, recuperación de solventes, control de emisiones, decoloración de líquidos, eliminación de olores, soportes catalíticos, entre otros procesos (Bastidas et al., 2010). También es usado el carbón activado para la adsorción de iones metálicos la elevada capacidad de eliminación de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee y su distribución de tamaño de poros juegan un papel importante (Sabio, 2019).

También es utilizado para la eliminación de olor y sabor de aguas contaminadas (Chen et al., 2011). La **remoción** de una gran variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos disueltos en medio acuoso o gaseoso (Cacciola et al., 1995). Como adsorbentes industriales para procesos de recuperación, purificación y separación y como soportes catalíticos (Carrillo et al., 2013). La descontaminación de aguas puede ser perjudicial para la agricultura y la cría de animales (Van Auken, 2009).

Es importante encontrar materias primas de bajo costo y que tengan características similares o mejores que las convencionales para producir Carbón Activado (Dias et al., 2007). Para su activación química se consideró el criterio de costo y accesibilidad la activación con Cloruro de Zinc ( $ZnCl_2$ ) era de complicado acceso mientras la activación con Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) era muy accesible y este último proporciona beneficios ambientales como fácil

recuperación, bajo costo energético y alto rendimiento de carbón activado (Lim et al., 2010).

### **A. Estructura y propiedades del carbón activado**

Desde su estructura el carbón activado se define como un material carbonoso poroso que ha sido sometido a reacción con gases, a veces con la adición de productos químicos (por ejemplo, ácido sulfúrico, o cloruro de zinc) este proceso con el fin de aumentar su la porosidad. La estructura está constituida por un conjunto de capas de carbono, los lugares pequeños entre las cuales constituyen la porosidad. Es precisamente esta característica del carbón activado la que más contribuye a su propiedad más importante, esta configuración porosa interna altamente desarrollada y al mismo tiempo accesible para los procesos de adsorción. La superficie específica y las magnitudes de los poros dependen del proceso y de las condiciones de carbonización y activación usadas. Los tamaños de los poros van desde los más grandes llamados macroporos (mayores de 50 nm), los mesoporos (de 2.0 a 50 nm) hasta los más pequeños llamados microporos (de 2.0 nm); Sin embargo, las propiedades adsorbentes de un carbón activado no sólo están definidas por su estructura porosa, sino también por su naturaleza química. El carbón activado presenta en su estructura átomos de carbono con valencia insaturada, conjuntos funcionales de oxígeno y otros elementos también componentes inorgánicos responsables de las cenizas, todos ellos con un efecto importante en los procesos de adsorber a los contaminantes. Así, el carbón activado puede ser considerado en principio como hidrófobo por su poca afinidad por el agua, lo que es muy importante en aplicaciones como la adsorción de gases en presencia de humedad, o de especies en disolución acuosa; pero la presencia de grupos funcionales en la superficie del carbón activado hace que puedan interactuar con el agua, haciendo que la superficie sea más hidrófila (Ganjoo et al., 2023).

#### **1.1.5 Síntesis teórica del trabajo de investigación.**

El índice de calidad del agua es una herramienta utilizada para evaluar y comunicar la salud general de un cuerpo de agua en función de diversos

parámetros físicos, químicos y biológicos. Este índice es fundamental para comprender la idoneidad del agua para el consumo humano, la vida acuática y otros usos. Los índices de calidad del agua se basan en la medición de diferentes variables, como la concentración de contaminantes químicos (por ejemplo, nutrientes, metales pesados, compuestos orgánicos) y la evaluación de aspectos físicos y biológicos del agua. Estos parámetros se comparan con estándares establecidos para determinar la calidad general del agua. En resumen, el índice de calidad del agua es una herramienta esencial para evaluar y gestionar la calidad del agua, proporcionando información valiosa para la conservación de ecosistemas acuáticos y la seguridad del suministro de agua potable. Su aplicación contribuye a la toma de decisiones efectiva en la gestión ambiental y la protección de los recursos hídricos.

Por otra parte el Carbón activado se produce mediante la activación térmica o química de materiales carbonosos, como madera, cáscaras de coco, carbón, totora entre otros, el carbono activado es un material versátil con propiedades adsorbentes únicas, lo que lo convierte en una herramienta crucial en diversas aplicaciones. Su capacidad para adsorber una amplia gama de compuestos químicos lo hace esencial en procesos de purificación, tratamiento de aguas, protección ambiental, y diversas industrias donde se requiere eliminar contaminantes para garantizar la seguridad y la calidad de los productos y entornos.

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 Internacionales

Joanes y Almeida (2020) aplica el ICA desarrollado WQI-CCME, para comunicar la calidad del agua por tramo de la cuenca del río Joanes en Brasil. WQICME es un procedimiento estadístico que originalmente requiere la ejecución de al menos cuatro campañas de monitoreo por ubicación de monitoreo y la medición de al menos cuatro parámetros, el WQI-CCME con un nuevo método de agregación es adecuado para comunicar la calidad del agua en un momento dado.

Las empresas de agua potable en Europa se enfrentan a una presencia creciente de micro contaminantes orgánicos en sus fuentes de agua. El objetivo de esta investigación fue evaluar la solidez de una planta de tratamiento de agua potable equipada con ósmosis inversa y posterior filtración con CA para la eliminación de estos contaminantes. Los resultados indicaron que la eliminación de la mayoría de los micro contaminantes orgánicos fue alta para todas las membranas probadas (Schoonenberg et al., 2020).

Se investiga la contaminación de la Laguna Tendo, La temperatura, pH, turbidez, OD, conductividad eléctrica, nitratos, y fosfato se evaluaron los niveles utilizando muestras tomadas durante las estaciones húmedas y secas para evaluar la variación habilidades en la calidad del agua en la zona. Se evalúa el ICA utilizando el modelo del CCME. La prueba t de muestras pareadas confirmó que la calidad del agua superficial varía significativamente entre las muestras de la estación húmeda y la estación seca  $p < 0.05$  (Miyittah et al., 2020).

La variabilidad hídrica espacio-temporal del embalse de la Central Hidroeléctrica de Irapé (Brasil) y sus principales afluentes se evaluó mediante el método de CCME WQI, utilizando datos de 2008 hasta 2018. El hierro disuelto presentó el mayor porcentaje de violaciones a los estándares (31.7% a 80.5%), con mayor frecuencia en los afluentes del embalse. Pruebas de Kendall indicó que las estaciones de monitoreo mostraron una tendencia creciente de 4 y 64.1%. Durante el período evaluado, las aguas del embalse fueron clasificado como excelente (1.2%), bueno (61.3%), aceptable (29.5%) y deficiente (8.0%) (Oliveira et al., 2021).

En el estudio se utilizó Carbón Activado (CA), con cuatro tratamientos y controles no modificados en dos sitios. Las parcelas fueron observadas durante dos años. El CA disminuyo las concentraciones de metil mercurio MeHg en un 90% en un mes. El CA fue menos eficaz para reducir el Hg total en el agua intersticial, produciendo una reducción de alrededor del 70 % al mes y una reducción del 50 al 65 % a los 8 meses. El biocarbón proporcionó una reducción menor y más variable en el MeHg del agua intersticial, pero no fue eficaz para reducir el Hg total. La enmienda de biocarbón también aumentó el MeHg del suelo (Gilmour et al., 2018).

Marselina et al. (2022) analiza el Índice de la Calidad del Agua (ICA) puede expresar el estado general de la calidad del agua en un solo término. Por lo tanto, esta investigación evalúa que método de evaluación ICA era el más adecuado para determinar la calidad del agua del río Citarum.

El método de evaluación CCME WQI mostró que el río Citarum tenía una calidad de agua 'Regular', 'Marginal' y 'Mala' con WQI que oscilaba entre 12.683 y 31.503 durante los meses secos, 21.231 y 33.127 durante los meses húmedos, 12.683 y 31.503 durante los años secos. 12.134 y 28.748 durante años húmedos, 13.621 y 30.569 (de Rosemond et al., 2019).

Este estudio al norte de China presentó y analizó las variaciones espacio-temporales y las tendencias de 16 parámetros de calidad del agua y doce valores WQI promedio estacionales que van desde 87.67 a 91.82 (Nong et al., 2020).

Para evaluar la calidad del agua potable, se tomaron muestras de agua para analizar el pH del agua en el laboratorio, se recolectaron muestras de agua potable de 12 de 24 sitios. Resultados: El agua potable en los sitios de muestreo era ligeramente alcalina ( $\text{pH } 7.4 \pm 0.4$ ). Las concentraciones de manganeso variaron de 0.1 a 5.5 mg/L con un valor medio de 0.2 mg/L. Las concentraciones medianas de hierro en el agua excedieron los estándares de la OMS (0.3 mg/L) en la mayoría de los sitios de muestreo y excedieron los estándares de Bangladesh (1.0 mg/L) en algunos sitios de muestreo. La salinidad fue relativamente más alta en los distritos costeros (Akter et al., 2021).

Wu et al. (2018) realizó 24 muestreos cada 3 meses en 15 sitios desde Enero de 2009 hasta Octubre de 2014 en el lago Poyang, los resultados de la evaluación basados en el índice de calidad del agua (WQI) mostraron que la calidad del agua en el lago Poyang era generalmente "moderada", según la clasificación del estándar de calidad del agua superficial (GB3838-2002) en China.

En el objetivo de esta investigación desarrollaron un ICA basado en lógica difusa, que permite encontrar el nivel de la calidad del agua en el río Utcubamba. La metodología utilizada fue propuesta por ICAGA en 2007. Para evaluar el WQI propuesta llamada Índice difuso de calidad del agua (DWQI), fueron varios puntos

de muestreo en total 16, se estimó el coeficiente de correlación  $R^2$  entre los resultados obtenidos y los del índice de calidad del agua NSF WQI reportado por el Water Research Center (T y Milla, 2019).

Se determinó parámetros físicos y químicos en la bahía interior de Puno específicamente en la isla Espinar lugar donde desemboca las aguas servidas de la ciudad de Puno con 2 diferentes tipos de metodología el EPA y APHA esta zona está muy contaminada porque tanto el pH, temperatura, OD, y otros parámetros están fuera de los LMP por otra parte se concentra en demasía los coliformes fecales ya que no tiene ni un tipo de tratamiento (Beltrán et al., 2018).

Se determinó la calidad química del agua a partir de la diversidad de microalgas en el río Lurín, encontrándose niveles bajos de pH y una alta mineralización esto debido a que el hombre contamina este río (Vélez y Torres, 2019).

### 1.2.2 Nacionales

El CCME WQI convencional ignora las incertidumbres en el medio acuático, lo que puede provocar sesgos y cambios abruptos en los resultados de la evaluación. Para superar esta deficiencia, este estudio mejora el cálculo de CCME WQI utilizando el método de grado relacional gris trapezoidal, un modelo que trata las incertidumbres introducidas por información incompleta (Yan et al., 2021).

Este trabajo se basó en la aplicación de la metodología IQA-CCME, para clasificar el agua distribuida, a partir de informes mensuales de monitoreo de la calidad del agua, con base en análisis de cloro residual libre, color aparente, turbidez, y coliformes totales. Los resultados mostraron una calidad de agua satisfactoria, con un IQA-CCME de 90 y 81, clasificándola como agua “buena”. La concentración de cloro residual y el color aparente fueron los parámetros que más contribuyeron negativamente al índice (Rezende et al., 2019).

Dos materias primas como son la pepa de la ciruela y la coronta del maíz fueron utilizados para obtener CA, las capacidades de absorber contaminantes a partir de estos dos elementos fueron de la siguiente manera: El CA del maíz redujo hasta en un 96.31% y la de la ciruela redujo los contaminantes hasta en un 60.31% (José et al., 2019).

En el parque industrial de río Seco en la ciudad blanca de Arequipa se utilizó un reactor anaeróbico para la remoción de colorante azul agregándolo 2 tipos de CA, uno fue el CA granular y el otro CA pulverizado los resultados obtenidos fueron que: Con el CA pulverizado se extrajo colorante azul hasta en un 41% y con el CA granular se extrajo hasta un 61 % llegando a la conclusión que el CA granular tiene una mayor eficiencia de remoción de contaminantes (Zavala et al., 2018).

En el estudio se hizo uso de 2 tipos de CA mineral, pero solo uno de ellos fue activado con radiación de microondas para eliminar resto de Cromo, el CA mineral de forma convencional absorbió en un 34 % el cromo y el CA mineral activado con radiación de microondas absorbió hasta en un 41% esto nos indica que una doble activación resulta mejor (De la Torre et al., 2019).

### 1.2.3 Locales

El investigador Bonilla et al. (2019) emplea el CA de cáscara de naranja para la adsorción de plomo, presente en el efluente río Anticona de la minería de Cerro de Pasco. El experimento se llevó a cabo a potencial de Hidrogeno de 3 y 5, por un tiempo de contacto de 120 minutos. El objetivo fue determinar la acción del carbón activado para la adsorción de iones de Pb. La técnica adsorción fue analizada mediante espectroscopia de absorción atómica, con capacidad de adsorción de 478,5mg Plomo, que representa el 96 % la erradicación de plomo.

Navarro et al. (2018) experimentaron obteniendo CA con coronta de maíz y pepa de ciruela para poder activarlo con cloruro de zinc a este proceso lo lavaron varias veces con ácido clorhídrico y mucha agua destilada secándolo a 100°C en un tiempo de 12 horas, el producto obtenido fue tamizado y secado finalmente usarlo en procesos de descontaminación.

Se obtuvo dos muestras de CA a partir del aguaje su semilla una de las muestras modificándolo con MnO<sub>2</sub> para su posterior comparación, el objetivo fue la remoción de Hg, llegando a los resultado que el CA modificado tenía una mejor absorción del Mercurio (Obregón et al., 2020).

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

El agua es absolutamente imprescindible para nuestra supervivencia y bienestar, afortunadamente es un bien más o menos accesible y fácil de encontrar, dependiendo del lugar en el que nos encontremos desde luego, en el mundo 1100 millones de personas carecen hoy de agua, La mayoría del agua, un 97% es salada, aun así, el 3% restante del agua debería ser suficiente, de este 3% el 90% se encuentra fuera de nuestro alcance en glaciares, aguas subterráneas profundas y en los hielos polares. Así que de todo el agua del planeta, solo podríamos utilizar un 0.3% a lo mucho (Jimenez, 2008).

Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338 (2009) en su artículo N° 1 nos manifiesta que, “el agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación” Es necesario tomar medidas para remediar el bajo ICA que posee las aguas de nuestro lago Titicaca porque viene afectando el estado de salud de la población puneña, son varios los parámetros que nos indica la mala calidad del agua superficial del Lago Titicaca como: Clorofila, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Fosforo total, Oxígeno disuelto. Potencial de hidrogeno (pH), Zinc, Nitrógeno total y Conductividad eléctrica el agua superficial que la empresa EMSA Puno capta para abastecer a la gran mayoría de la ciudad de Puno es del sector Chimu lugar de estudio y lugar que se extrajo Totora para su conversión en carbón activado, es necesario mencionar que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) realiza sus monitoreos anuales en 45 puntos en todo el lago es decir: Bahía interior del lago, Bahía del lago, Lago menor y Lago mayor, pero estas muestra son tomadas a una profundidad de no más de 50cm lo que nosotros observamos al momento de tomar la muestra, una la realizamos de la misma manera que ellos lo realizan siguiendo los protocolos de toma de muestra, pero la sorpresa fue cuando tomamos nuestra segunda muestra que fue en el ducto que está a unos 280 metros del punto de captación de agua (puerta de entrada a la central de EMSA) que fue una agua turbia de aspecto insalubre y el ingeniero nos comentó que esa agua esta captada del lugar sin ningún tratamiento y se dirige así hasta las plantas de la empresa en mención y ahí solo lo hacen un filtrado y lo clorifican esto lo realizan para eliminar patógenos del agua.

Utiliza el método de clorificación y no se menciona que el cloro al reaccionar con la Materia Orgánica Natural (MON) produce los Trihalometanos que son considerados cancerígenos aumentan el de cáncer de vejiga y causan defectos reproductivos (Shuh et al., 2007).

Es en tal sentido nuestra gran preocupación es, que el agua captada del sector de Chimu está contaminada y así es que la gran parte de la población viene consumiendo este líquido elemento por eso nos propusimos a investigar que una solución es el filtrado con carbón activado que se produciría con la misma vegetación denominada Totora que también es un problema para los lugareños que viven en las riveras de nuestro lago que en los meses de Junio, julio y Agosto realizan quemas de esta vegetación para que posteriormente brote una nueva Totora y así lo utilizan para diversas actividades como alimento de animales, para la realización de artesanía y la misma belleza paisajística porque la totora al cumplir su ciclo de vida esta tiende a morir y causa una degradación no tan favorable.

Lo que no se les informo a la población que vive de este material orgánico es que cada vez que se quema el tamaño de esta vegetación viene disminuyendo su tamaño y está perdiendo varias propiedades de la misma (Loza, 2020).

Es por eso que nos hacemos las siguientes interrogantes.

## 2.2 Enunciados del problema

### 2.2.1 Problema general

- ¿Cómo se podrá incrementar el índice de calidad del agua superficial en el sector Chimu del lago Titicaca con el tratamiento con carbón activado obtenido de la Totora (*Schoenoplectus californicus*)?

### 2.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuánto es el índice de calidad del agua superficial del sector Chimu del lago Titicaca respecto a la calidad de agua de otras áreas del lago?
- ¿La activación química permitirá obtener carbón activado a partir de la totora (*Schoenoplectus californicus*)?
- ¿En qué medida el Carbón activado de totora mejorará el índice de calidad de agua superficial del sector Chimu del lago Titicaca?

## 2.3 Justificación

El presente trabajo de investigación se realiza porque hoy en día las aguas de nuestro lago Titicaca sector Chimú vienen siendo contaminadas por agentes antropogénicos y naturales y esto afecta a su baja calidad de agua que hoy se tiene y los agentes que contaminan son: El crecimiento poblacional, sobre pesca, uso de artes inadecuadas, pescadores informales, residuos sólidos, ingreso de aguas servidas, minería informal transporte lacustre informal, etc. Las autoridades realizan una débil intervención de estos agentes contaminantes y es por tal motivo la pérdida de calidad del agua, por ultimo nuestro lago se viene secando dejando una gran cantidad de totorales secos y muertos que se están descomponiendo causando malos olores y ya no es una buen hábitat para la biota que existía por la zona (peces, aves y otros).

La riqueza que años anteriores poseía nuestro lago sagrado era de gran importancia causando al mundo un asombro por sus diversidad de vida que poseía en su entorno, pero que hoy en día no se ve, esto se debe a que muchas aves migraron a lugares de mejor ambiente y los peces endémicos están en peligro de extinción como muchos ya se extinguieron caso de la Boa el Suche y otros, en el caso de los peces exóticos son criados de forma descontrolada y sin orden por lo tanto tenemos aquí algunos de los factores que afectan a este proceso: Mal monitoreo ambiental por las diversa entidades (ANA , PEBLT y otros), deterioro de la totora producto de la quema de este, el mal aprovechamiento del paisaje que posee, perturbación de actividades turísticas, turismo informal, transporte lacustre informal, débil gestión de turismo comunitario, la mala limpieza de las riveras del lago, la lentitud de la construcción de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), el no poner filtros de residuos en los 16 canales que ingresan a la bahía interior del lago producto de las lluvias.

## 2.4 Objetivos

### 2.4.1 Objetivo general

- Evaluar en qué medida se incrementa el índice de la calidad del agua superficial en el sector Chimú del lago Titicaca con el tratamiento con carbón activado obtenido de la Totora (*Schoenoplectus californicus*).

### 2.4.2 Objetivos específicos

- Estimar el índice de la calidad del agua superficial del sector Chimu del lago Titicaca en el año 2023 respecto a otras áreas del lago.
- Realizar un proceso de obtención de carbón activado a partir del tratamiento de la Totora (*Schoenoplectus californicus*) mediante activación química.
- Tratar el agua superficial del sector Chimu con carbón activado obtenido de la Totora (*Schoenoplectus californicus*) para mejorar el Índice de calidad del agua.

## 2.5 Hipótesis

### 2.5.1 Hipótesis general

- El índice de la calidad del agua superficial en el sector Chimu del lago Titicaca incrementa su calidad con el tratamiento con carbón activado obtenido de la Totora (*Schoenoplectus californicus*).

### 2.5.2 Hipótesis específicas

- El índice de la calidad del agua superficial del sector Chimu del lago Titicaca no está dentro de los estándares de calidad de agua para consumo humano respecto a otras áreas del mismo lago.
- Se obtiene carbón activado a partir del tratamiento de la Totora (*Schoenoplectus californicus*) mediante activación química.
- El tratamiento del agua superficial de Chimu con carbón activado obtenido de la Totora (*Schoenoplectus californicus*), mejora el índice de la calidad del agua.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de estudio

##### 3.1.1 Ubicación geográfica

El lago Titicaca se encuentra en América del Sur, en la frontera entre Perú y Bolivia. Es el lago navegable más alto del mundo y se sitúa a una altitud de aproximadamente 3812 metros sobre el nivel del mar. La mayor parte del lago pertenece a Perú, pero una parte significativa también se encuentra en Bolivia, presenta 2 sectores el lago mayor (Chucuito) y el lago menor (Huiñaymarca), unidas por estrecho de Tiquina de 800 m de ancho la profundidad máxima del lago mayor es de 285m y del lago menor solo 40m se puede observar con más detalle en la Figura 3.

#### Figura 3

*Ubicación del lago Titicaca*



*Nota.* Extraído de Google earth.

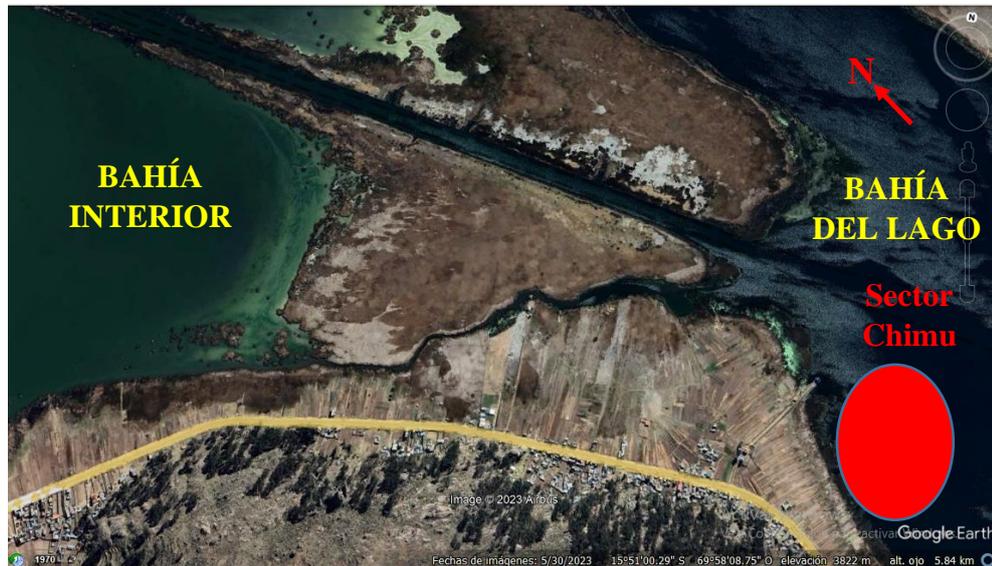
##### 3.1.2 Ubicación hidrográfica

La ubicación de estudio es el punto llamado Chimu lugar donde EMSA Puno realiza la captación de agua para su posterior potabilización y consumo de la ciudad de Puno coordenadas UTM WGS82 Este 399844 y Norte 8246416 altitud sobre el nivel del mar 3808 m.s.n.m. y está a 5 Km de la ciudad de Puno,

este lugar presenta dos conexiones de aguas entre la bahía interior y la bahía del lago como se visualiza en la siguiente figura.

#### Figura 4

*Conexión de aguas con la bahía interior del lago Titicaca y la bahía de Puno (punto de muestreo)*



Nota. *Extraído de Google earth.*

### 3.2 Población

Para el primer objetivo específico la población es el total de cuerpo de agua que constituye el lago Titicaca, en su totalidad del lado peruano tiene una superficie de 460 000 hectáreas.

Para el segundo objetivo específico se tendría como población la gran cantidad de totora existente en el lago Titicaca en sus diferentes especies tango del Lago Mayor, Lago Menor, Bahía del Lago y Bahía interior del lago.

Para nuestro tercer y último objetivo específico tendremos la cantidad de agua existente en la bahía del lago.

### 3.3 Muestra

Para el primer objetivo se tuvo las muestras de análisis de agua del año 2019 realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) con un total de muestras de 45 puntos muestreados y parámetros analizados en su totalidad del lago Titicaca sector

peruano (bahía interior 6 muestras, bahía lago 9 muestras, lago mayor 23 muestras y lago menor 7 muestras).

En el segundo objetivo se extrajo 150 kilos de Totora como materia prima que al secarse el mismo se redujo en una sexta parte (26.01 Kg) para obtener carbón activado se hizo reaccionar químicamente con ácido sulfúrico (600mL) realizando diferentes procesos para obtener CA de Totora.

En el tercer objetivo específico se obtuvo dos muestras de forma particular por el investigador, de un pre y post tratamiento con carbón activado de Totora en polvo en noviembre del año 2023 en el laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno como se muestra en el anexo N° 4. Cada muestra se obtuvo del mismo sector Chimu, la primera muestra se analizó en laboratorio sin ningún tipo de tratamiento y la segunda muestra se filtró con el carbón activado de Totora en polvo y su posterior análisis de 14 parámetros en laboratorio.

### Figura 5

*Punto de muestreo lugar Chimu*



*Nota.* Extraído de Google earth.

### 3.3.1 Periodo de investigación

El Periodo de investigación se realizó con los datos obtenidos de la institución Autoridad Nacional del Agua (ANA) del año 2019 y un monitoreo permanente por el investigador los años 2022 – 2023 realizando muestras en noviembre del 2023 exceptuando datos de los años 2020-2021-2022 por los motivos del COVID 19 donde no se realizaron muestreos por parte de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) ni del Proyecto Especial Binacional lago Titicaca (PEBLT) los puntos de muestreo lo visualizamos en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Puntos de muestro con su respectivo código (45 puntos )*

Código	Descripción
LTiti59	Bahía interior de puno, frente de muelle principal (Puno)
LTiti60	Bahía interior de Puno, frente de zona Huajje (Puno)
LTiti61	Bahía interior de Puno, frente de zona Chimu (Puno)
LTiti62	Bahía interior de Puno, en trayecto principal de tránsito de lacustre
LTiti63	Bahía interior de Puno, próximo al vertimiento de EMSA Puno
LTiti64	Bahía interior de Puno, próximo a isla Esteves y trayecto a Los Uros
LTiti65	Bahía de Puno, frente al sector callejón – Chimu
LTiti66	Bahía de Puno, frente al sector Ojjerani
LTiti67	Bahía de Puno, frente al sector Kcapi – Uros
LTiti68	Bahía de Puno, frente al sector Cusipata (Chucuito)
LTiti69	Bahía de Puno frente a Chucuito
LTiti70	Bahía de Puno, frente a Tacasaya (península de Chucuito)
LTiti71	Bahía de Puno, frente a Luquina (península de Luquina)
LTiti72	Bahía de Puno, entre Península de Chucuito y península de Capachica
LTiti73	Bahía de Puno, frente a Tangra (península de Capachica)
LTiti01	Lago mayor, desembocadura de río Ramis
LTiti02	Lago mayor, zona Vilquechico – Huancané
LTiti03	Lago mayor, zona de Taraco - Pusi
LTiti04	Lago mayor, zona entre Huancane y Moho
LTiti05	Lago Mayor, zona frente a Moho
LTiti06	Lago mayor, zona frente a Escallani (Capachica)
LTiti07	Lago mayor, zona frente a aprox. 17 Kmde Moho
LTiti08	Lago mayor, zona frente a Conima
LTiti09	Lago mayor, zona frente a Ccotos (Capachica)
LTiti10	Lago mayor, zona próxima a la isla Soto
LTiti12	Lago mayor, zona entre Llachon (Capachica) y la isla Taquile
LTiti13	Lago mayor, zona próxima a la isla Amantani
LTiti14	Lago mayor, zona frente a Tilali
LTiti16	Lago mayor, zona próxima a la isla Taquile
LTiti18	Lago mayor, zona Huencalla (Plateria), producción acuícola PISCIS
LTiti19	Lago mayor frente a Villa Socca (Acora)
LTiti20	Lago mayor, zona céntrica del lago Titicaca
LTiti23	Lago mayor, zona próxima a la desembocadura del río Ilave
LTiti26	Lago mayor, zona frente a Pilcuyo
LTiti29	Lago mayor, zona frente a Juli
LTiti33	Lago mayor, zona Chucasuyo (Juli), producción acuícola menor escala
LTiti34	Lago mayor, zona el faro(Pomata), producción acuícola a menor escala

Código	Descripción
LTiti35	Lago mayor, frente a Cuturapi
LTiti41	Lago menor, frente a Unicachi
LTiti46	Lago menor, frente a Ollaraya
LTiti47	Lago menor, frente a Ollaraya
LTiti50	Lago menor, frente a Copani
LTiti53	Lago menor, frente a Copani - Zepita
LTiti54	Lago menor, frente a Zepita
LTiti56	Lago menor, frente a Desaguadero

*Nota.* Extraído de la AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, 2019.

### 3.4 Métodos de investigación

- En nuestro primer objetivo la metodología utilizada fue de tipo descriptivo de acuerdo al protocolo Binacional para el monitoreo de la calidad de agua del lago Titicaca, elaborado por la Autoridad Nacional del agua (ANA) - Perú, y el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riega (VRHR) - Bolivia, con la participación de la Unidad Operativa Boliviana (UOB) el Instituto Boliviano de Ciencia y tecnología Nuclear (IBTEN) el Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca (PEBLT) y la Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó. Salar de Coipasa - TDPS (ALT), cuyo uso obligatorio de ambos países para el monitoreo del lago Titicaca, de conformidad al cumplimiento de los acuerdos binacionales celebrados Perú y Bolivia. Dicho protocolo establece los criterios y procedimientos metodológicos para realizar mediciones de los parámetros de campo; temperatura ( $T^{\circ}$ ) y turbidez, mediante el uso de equipos calibrados, la recolección, preservación y conservación de muestras de agua para los parámetros físicos, químicos y biológicos se siguió el protocolo de toma de muestras para agua. así como para su traslado y posterior análisis en laboratorio.
- En nuestro segundo objetivo la metodología fue experimental se realizó la elaboración de Carbón Activado (CA) usando Totora (*Schoenoplectus californicus*) como materia prima (150 Kg), extraída del sector Chimu de la Bahía del Lago Titicaca y como sustancia activante se uso el ácido sulfúrico. La materia prima fue sometida a una evaluación previa de sus propiedades fisicoquímicas como son: densidad aparente, materia volátil, contenido de humedad, cenizas totales, carbono fijo y granulometría. Para la obtención de carbón activado se utilizó el método de activación química con  $H_2SO_4$  por la accesibilidad en el mercado (ácido sulfúrico) en el cual la materia prima Totora (*Schoenoplectus californicus*)

es impregnada con diferentes concentraciones de agente activador ácido sulfúrico , durante 30 minutos se carbonizo la Totora a 400°C y se impregno con ácido sulfúrico durante 18 horas para luego ser lavado con abundante agua hervida fría, en el desarrollo de carbonización-activación de acuerdo a los resultados está probado el rol definitivo que cumple el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> como activador químico, no solamente mejora las propiedades adsorbentes del carbón, sino que influye en el rendimiento de producción. De acuerdo a la cantidad de Totora (*Schoenoplectus californicus*) para 150 Kg de Totora en materia prima se utilizó 600 mL de ácido sulfúrico en 3 tipos diferentes de impregnación.

- En nuestro último y tercer objetivo específico se realizó la filtración del agua en total 6 litros de H<sub>2</sub>O las muestras fueron obtenidas del sector Chimú a la salida de la zona de captación de EMSA Puno y en un tiempo de 3 horas en total de las 12 muestras que se fraccionó (0.5 L de fracción de agua), cada fracción tardó un promedio de 15 min en filtrarse aproximadamente la filtración fue con diferentes cantidades de CA de Totora en polvo y granulado (25gr, 50gr y 100gr), las muestras fueron tomados del lugar a una temperatura de 5 °C obteniendo diferentes resultados.

### 3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

#### 3.5.1 Para el primer Objetivo específico la que se utilizó fue la Metodología WQI CCME de tipo exploratorio

Esta metodología está dentro de la resolución jefatural N° 68 – 2018 establecida por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y vinculado a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM del Perú. Esta metodología esta propuesta específicamente por el Canadian Council of Ministers of the Environment CCME (2017) y su resultado es el Índice de Calidad del Agua (ICA) o su traducción en inglés Water Quality Index (WQI), que nos proporciona un medio conveniente para resumir datos complejos sobre la calidad del agua y facilitar su comunicación a una audiencia general. El Índice incorpora tres elementos: alcance-el número de parámetros que no cumplen con las pautas de calidad del agua; frecuencia-la cantidad de veces que no se cumplen estas pautas; y amplitud-la cantidad por la cual no se cumplen las pautas.

El índice produce un número entre 0 (peor calidad del agua) y 100 (mejor calidad del agua). Estos números se dividen en cinco categorías descriptivas para simplificar la presentación como se muestra en la Tabla 5.

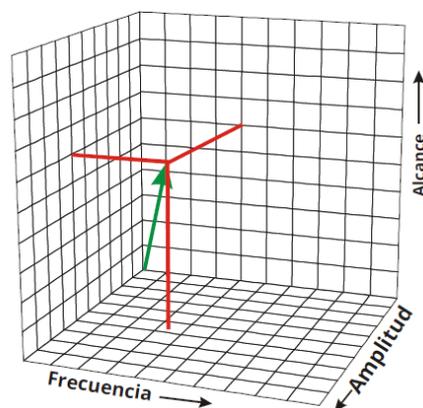
Los parámetros específicos, las pautas y el período de tiempo utilizado en CCME WQI no se especifican y, de hecho, pueden variar de una región a otra, según las condiciones locales, el propósito del uso del índice y los problemas de calidad del agua. La metodología recomendaba que, como mínimo, se usaran cuatro parámetros muestreados de los valores CCME WQI; Sin embargo, una revisión reciente encontró que generalmente se obtienen puntajes CCME WQI más consistentes y confiables cuando se usa una cantidad de parámetros mayor que la mínima (preferiblemente un mínimo de ocho). El CCME WQI se puede utilizar tanto para realizar un seguimiento de los cambios en un sitio a lo largo del tiempo como para realizar comparaciones entre sitios. Si se utiliza para este último propósito, se debe tener cuidado para garantizar que exista una base válida para la comparación.

**A. El CCME WQI se basa en una combinación de tres factores:**

- El número de parámetros cuyas pautas no se cumplen (Alcance)
- La frecuencia con la que no se cumplen las directrices (Frecuencia),  
y
- La cantidad por la cual no se cumplen las pautas (Amplitud).

**Figura 6**

*Factores que representan al CCME WQI.*



**Tabla 4**

*Parámetros para medir el ICA en lagos y lagunas categoría 04*

<b>Categoría 04</b>		
<b>E1: Lagunas y lagos ( Lago Titicaca sector Chimú)</b>		
<b>N°</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>
01	Aceites y grasas (MEH)	mg/L
02	Clorofila A	mg/L
03	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L
04	Fósforo total	mg/L
05	Amoniaco _ N	mg/L
06	Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo)	mg/L
07	Potencial de Hidrogeno (pH)	Unid. De pH
08	Arsénico	mg/L
09	Cadmio	mg/L
10	Mercurio	mg/L
11	Plomo	mg/L
12	Zinc	mg/L
13	Hidrocarburos de Petróleo HTTP	mg/L
14	Coliformes Termotolerantes (44.5°)	NMP/100ml
15	Solidos suspendidos Totales	mg/L
16	Nitrógeno Total	mg/L
17	Conductividad Eléctrica	μS/cm

*Nota.* Extraído de la ANA (2018).

El CCME WQI se calcula fácilmente y es lo suficientemente flexible como para que se pueda aplicar en una variedad de situaciones. El índice puede ser muy útil para rastrear los cambios en la calidad del agua en un sitio determinado a lo largo del tiempo o puede usarse para comparar directamente entre sitios. Sin embargo, si los parámetros y las pautas que alimentan el índice varían de un sitio a otro, las comparaciones serán menos confiables.

### **B. Descripción general del índice CCME WQI**

El CCME WQI se basa en medidas del alcance; frecuencia y amplitud de las desviaciones de las guías (ver la siguiente sección). Una vez que se ha calculado el valor CCME WQI, la calidad del agua se clasifica en una de las siguientes categorías

### C. Cálculo del índice de calidad de agua (ICA – PE)

Para la determinación del índice de calidad de agua se aplica la fórmula canadiense, que comprende tres factores (alcance, frecuencia y amplitud), lo que resulta del cálculo matemático un valor único (entre 0 – 100 puntos), que va representar y describir el estado de la calidad del agua de un punto de monitoreo, un curso de agua, un río o una cuenca.

#### La determinación y definición se describen así:

**Ecuación 1:**  $F_1$  = Alcance, representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa, Estándares de Calidad Ambiental (ECA - Agua) vigente, respecto al total de parámetros a evaluar.

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}}$$

**Ecuación 2:**  $F_2$  = Frecuencia, representa la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental (ECA – Agua) respecto al total de datos de los parámetros a evaluar (datos que corresponden a los resultados de un mínimo de 4 monitoreos)

$$F_2 = \frac{\text{Nro de parámetros que no cumplen el ECA Agua de los datos}}{\text{Número total de datos evaluados}}$$

**Datos** = Resultados de los monitores

**Ecuación 3:**  $F_3$  = Amplitud, es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F_3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de excedentes}}{\text{Suma normalizada de excedentes} + 1} \right) * 100$$

**Ecuación 4:** Suma normalizada de excedentes (sne):

$$\text{sne} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente}_i}{\text{Total de datos}}$$

Excedente, se da para cada parámetro, siendo el valor que representa la diferencia del valor ECA y el valor del dato respecto al valor del ECA – Agua.

**Ecuación 5:** Caso 1 cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA–Agua, el cálculo del excedente se realiza de la manera siguiente:

$$\text{Excedente}_i = \left( \frac{\text{Valor del parametro que no cumple el ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}} \right) - 1$$

**Ecuación 6:** Caso 2 cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA –Agua, incumpliendo la condición señalada en el mismo, como ejemplo: el Oxígeno Disuelto (>4), pH (>6.5, <8.5), el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente}_i = \left( \frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}}{\text{Valor del parametro que no cumple el ECA Agua}} \right) - 1$$

Una vez obtenido los valores de los factores ( $F_1, F_2, F_3$ ) se procede a realizar el Cálculo de Índice de Calidad de Agua: que es la diferencia de un rango de 0 – 100, siendo 100 el valor que representa un ICA de EXCELENTE calidad y 0 el valor que representa un ICA de PÉSIMA calidad, la diferencia se realiza con el valor que viene dado por la raíz cuadrada del promedio de la suma de cuadrados de los tres (03) factores,  $F_1, F_2, F_3$ , se expresa en la siguiente ecuación:

**Ecuación 7:** Cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA)

$$\text{ICA-PE} = 100 - \left( \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}} \right)$$

**Tabla 5**

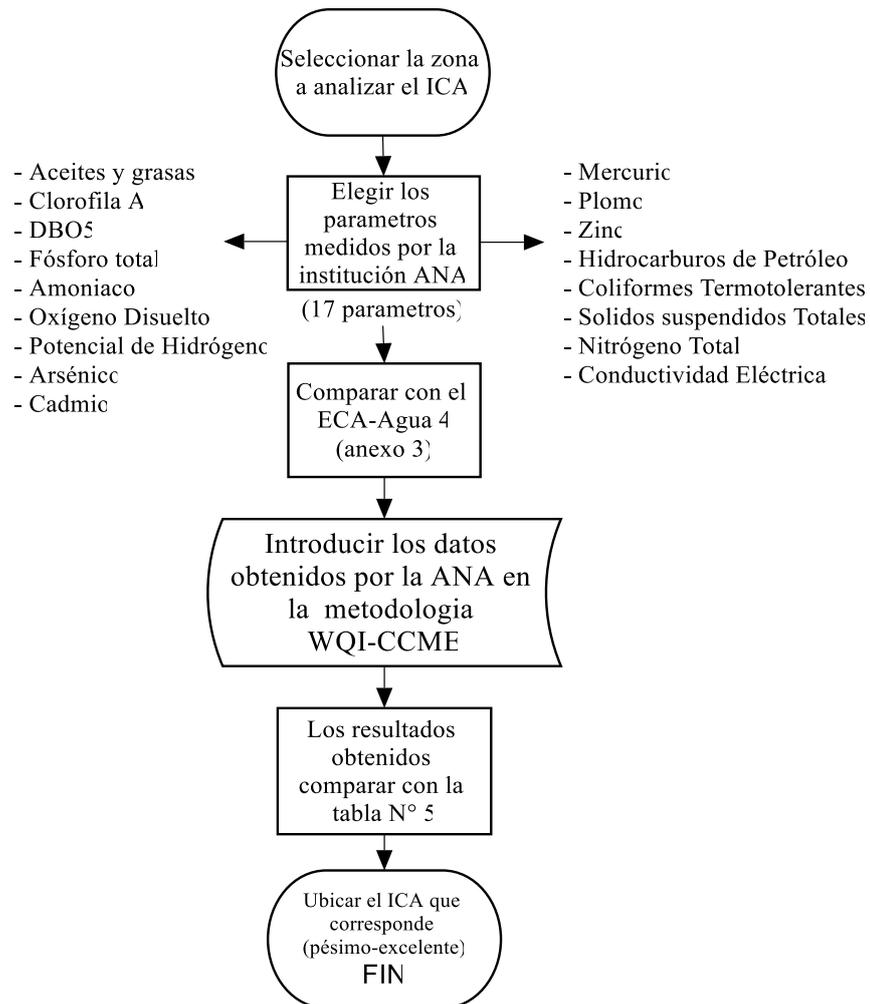
*Tabla de calificación del índice de calidad del agua*

CCME - WQI	Calificación	Interpretación
95 – 100	<b>Excelente</b>	La calidad de agua está sin contaminación alguna su condición y naturaleza son favorables para el consumo de los seres humano o animales.
80 -94	<b>Bueno</b>	Hay probabilidad de existencia de amenazas que puedan causar algún daño al consumo de este líquido elemento, pero su magnitud de contaminación es muy baja y su calidad es aceptable.
65 – 79	<b>Regular</b>	En esta etapa la calidad del agua es amenazada por agentes contaminantes a partir de este punto el H2O necesita tratamiento porque sus valores del ECA se alejan de los permitidos.
45 – 64	<b>Malo</b>	La calidad de agua ya no cumple con los objetivos de calidad permitidos, las condiciones que se puedan desear para un líquido están amenazadas o dañadas. En esta etapa ya el H2O necesita tratamiento para consumo o para riego.
0 - 44	<b>Pésimo</b>	En este punto los parámetros que se midieron la mayoría no cumple con los ECAs para agua, siempre está sufren de amenazas o están dañadas. Todos los parámetros necesitan tratamientos.

Nota. Extraído de la metodología del ICA.

**Figura 7**

*Procesos para encontrar el ICA de los 4 sectores del lago Titicaca*



**3.5.2 Para el segundo objetivo específico la metodología es de tipo experimental tomando datos y experiencias de otros autores.**

Para la obtención del carbón activado se utilizó como materia prima la Titora (*Schoenoplectus californicus*) procedente del sector Chimu, un total de 150 Kg de material húmedo y fresco, la cual fue sometida a una evaluación previa de sus propiedades físicas como son: humedad, cenizas, materia volátil, densidad aparente y granulometría cuyos resultados son mostrados en los diferentes Tablas. El tratamiento de la materia prima se realizó con ácido sulfúrico a diferentes concentraciones con una impregnación la materia prima fue carbonizada a 400°C y luego del molidos lo impregnamos con ácido sulfúrico durante 18 horas luego las muestras fueron lavadas con abundante H<sub>2</sub>O hervida y fría, posterior a este

secadas tamizadas a 200 y 10 mesh y depositadas en bolsas de polipropileno como se explica en el procedimiento que está en seguida.

### **Procedimiento de la obtención del Carbón activado de Totora.**

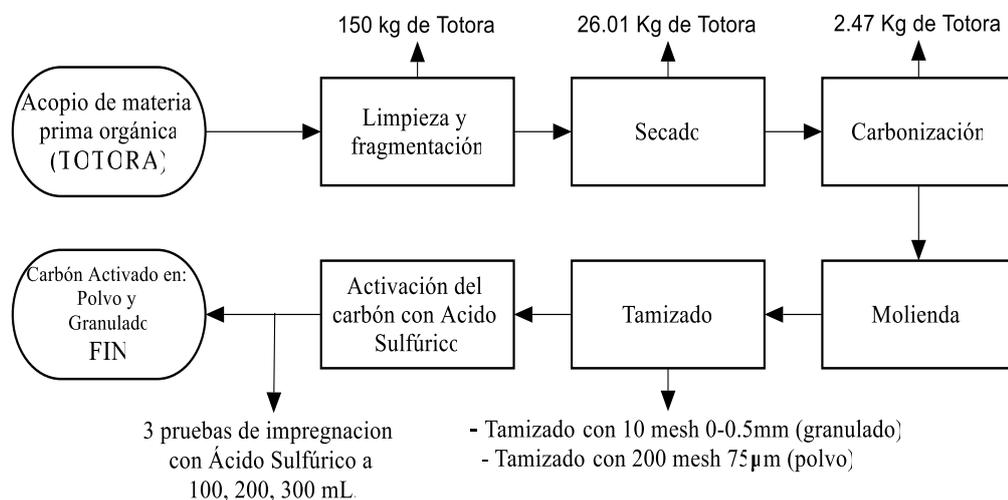
- Segado y extracción de la totora en cantidad de 150 kilos del mismo sector Chimu.
- Secado de la Totora en 3 tipos de ambiente.
- Ambiente al aire libre que demora 15 días en estar completamente seco.
- Ambiente cerrado (huerto) que demoró 20 días en estar completamente seco.
- Ambiente de techo de casa que demoró 17 días en estar seco.
- La Totora se convirtió en partículas más pequeñas para su fácil manejo de carbonización.
- Se introdujo a una caldera para ser carbonizada a 400°C en ausencia del aire (proceso anaeróbico)
- El carbón obtenido del caldero fue enfriado por un tiempo de 2 horas al ambiente libre.
- Cuando la Totora estuvo completamente carbonizado y antes que el fuego lo consuma en cenizas se dejó enfriar por un tiempo de 2 horas.
- Con la ayuda de una piseta se empezó a lavar el carbón de totora con abundante agua desmineralizada (hervidas y fría) repitiendo este proceso 5 veces.
- El carbón de totora se procedió a secar en un tiempo de 5 días en un ambiente cerrado y tapado.
- Este carbón de Totora completamente seco se procedió a moler en un mortero para convertirlo en material particulado.
- El carbón seco y particulado es sometido a un tamizador para separar las partículas.
- El Carbón micro particulado es impregnada con agente activante ácido sulfúrico, durante 18 horas en frascos cerrados con 100, 200 y 300 mg de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> cada 0.5 Kg de CA.
- Nuevamente se procedió a lavarlo con abundante agua (hervida y fría) y secarlo por otros 5 días hasta que quede sin humedad.

- Con la ayuda de diferentes tamices se fue seleccionando hasta quedar un material particulado (granulado y polvo).
- El Carbón activado obtenido se envasó en frascos completamente sellados.

El carbón activado obtenido sus propiedades físico químicas fueron analizadas según los estudios ya existentes en diferentes artículos y libros, en la Figura 8 nos muestra de forma gráfica el proceso de obtención del CA.

**Figura 8**

*Proceso de obtención del Carbón Activado*



### 3.5.3. Para el tercer objetivo específico usamos el método experimental

Con la ayuda de una embarcación se procedió a tomar las muestras de agua del sector Chimu zona de captación de agua que realiza la empresa EMSA Puno a 5 metros del punto de captación de la empresa EMSA esto al interior del lago Titicaca y en 4 puntos a su alrededor se procedieron a tomar 4 muestras (cada muestra de 1 litro) para él envió a laboratorio; sin embargo el laboratorista nos pidió más cantidad de muestra de agua el cual retornamos al lugar denominado Chimu y tomamos muestras del punto de extracción (puerta de la empresa EMSA) donde tienen un grifo y el encargado del lugar nos dijo que esa agua de ahí es la misma que se toma del punto de extracción del líquido elemento y que se envía a

los sitios de bombeo sin ningún tipo de tratamiento, pero al tomar las muestra que lo hicimos en cantidad de 6 litros nos dimos con la sorpresa que era un agua turbia y con micro organismos en su interior en la Figura 9 podemos observar de forma clara la turbiedad que presenta una de las muestras estas son las 2 muestra que se envió a laboratorio para encontrar el ICA del sector Chimu del lago Titicaca.

### Figura 9

*Muestras de agua para laboratorio ( M1 sin filtrar turbiedad evidente y M2 después de pasar el filtro con CA*



**Para la toma de las muestras de agua se siguieron los siguientes pasos:**

- Preparación del muestreo
- Preparación de los envases para la toma de muestra
- Coordinación para el transporte de las muestras
- Calibración y preparación de los equipos de campo para análisis “in situ”
- Preparación del equipo de muestreo (guantes, GPS, cámara fotográfica, coolers, etc.)
- Preparación de los equipos de seguridad
- Organización de la logística para la campaña de muestreo
- Criterio para la selección del punto de muestreo

- Llenar el recipiente de muestreo con una porción de agua del cuerpo hídrico muestreado.
- Registro de localización del punto de muestreo real con GPS (esperando que la precisión sea la mayor posible)
- Caracterizar del sitio con fotografías
- Identificación de la muestra
- La toma de muestras se la realiza sumergiendo y tapando el envase dentro del cuerpo de agua.

Después de tomadas las muestras en el cuerpo de agua, se miden los parámetros “in situ” establecidos en el plan de muestreo:

- Se sumerge la sonda limpia del equipo de campo en el cuerpo de agua.
- Los análisis de temperatura, pH, conductividad y salinidad.
- Las mediciones se hacen según los procedimientos e instructivos de operación del equipo.

### **Protocolos de entrega de las muestras**

#### **A. Lacrado de recipientes**

Después de que las muestras hayan sido envasadas y preservadas (si lo requieren) se lacran las botellas, secando la parte de arriba de la botella con papel absorbente o un paño limpio y se ponen cinta de embalaje (masking tape) alrededor de la tapa y la boca del recipiente, para asegurar que la tapa no se afloje.

#### **B. Almacenamiento de las muestras**

Se debe evitar usar hielo en pocas cantidades para las muestras se mantengan a 7°C, y así evitar que los recipientes se abran o se rompan y en determinados casos se puede alterar las muestras.

#### **C. Para el transporte**

Se debe utilizar un cooler y verificar que los recipientes de almacenamiento de las muestras estén suficientemente temperadas (7°C) para asegurar que la refrigeración se mantendrá hasta la llegada al

laboratorio. Asegurar que las tapas de los recipientes estén bien cerradas, de tal manera que durante el viaje no se destapen.

#### **D. Entrega de muestras al laboratorio**

El personal responsable del muestreo debe mantener la custodia permanente de las muestras hasta que sean confiadas al laboratorio en la Figura 10 visualiza los envases de las muestras. En las instalaciones del laboratorio el responsable del muestreo debe entregar las muestras al responsable del laboratorio, junto con los registros de cadena de custodia.

#### **Figura 10**

*Primeras muestras tomadas in situ*



Filtrado de agua (0.5 L) con carbón activado en polvo tiempo de filtrado 12.8 minutos promedio el agua turbia obtenido del sector chimú se convierte claramente en un agua cristalina se realizaron 12 repeticiones con diferentes cantidades de carbón activado en polvo y granulado el proceso están en la Figura 11.

**Figura 11**

*Filtro con carbón activado de Totora*

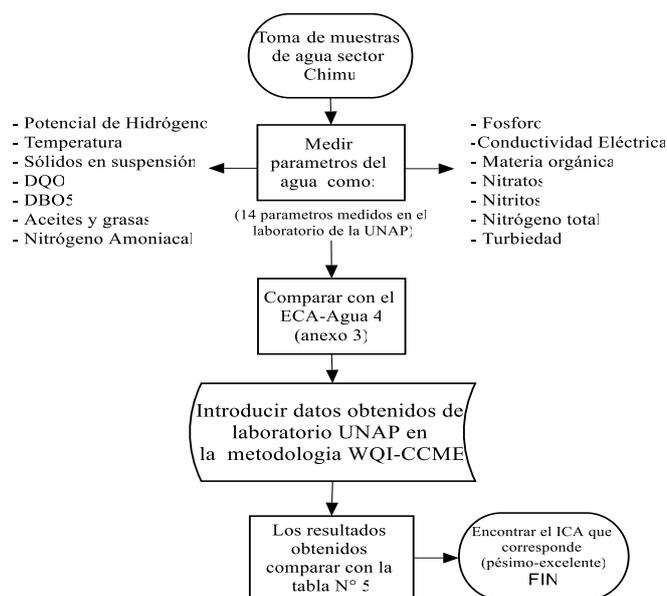


**E. Diagrama de flujo del procedimiento para hallar Índice de Calidad del Agua (ICA) sector Chimú de la bahía del lago**

Como se puede observar en la Figura 12 el proceso de la obtención del ICA es similar al primer objetivo con la diferencia que en este proceso utilizamos datos obtenidos in situ y llevados a laboratorio se utilizaron 14 parámetros para analizar y obtener los resultados del ICA.

**Figura 12**

*Proceso de obtención del Índice de Calidad del Agua sector Chimú*



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Índice de la calidad del agua superficial del sector Chimú del lago Titicaca en el año 2023 respecto a otras áreas del lago

##### 4.1.1 Resultados del índice de calidad de agua de los 4 sectores del lago Titicaca

Parámetros que afectan la calidad del agua del Lago Titicaca En abril 2019:

- Conductividad eléctrica presentó mayor frecuencia superando el ECA-4 (1 000 uS/cm), en 43 puntos de 45 (96%). Con una media integral da 1 542.47 uS/cm. Siendo una condición recurrente, que según nuestra investigación es una característica natural del Lago Titicaca por la salinidad existente.
- El Nitrógeno Total representa el 31% de afectación Lago Titicaca (14 de 45 puntos), se presentó entre 0,0830 mg/L (LTit23) a 3,12 mg/L (LTit61), con una media de 0.544 mg/L. La mayor afectación es en la Bahía Interior de Puno (media: 2,6150 mg/L) incumpliendo el ECA-4 en sus 6 puntos afectados por la eutrofización; el Lago menor con afectación en sus 7 puntos (media de 0,4761 mg/L). La menor afectación es en el Lago Mayor (sólo en el punto LTit08) y la Bahía de Puno, sin ninguna excedencia al ECA4 – Agua.
- El Fósforo total presentó afectación en 8 de 45 puntos, superando el ECA-4 (0,035 mg/L), con una media general de 0,1071 mg/L, La Bahía Interior de Puno presenta la media más alta (0,7160 mg/L), considerado como hipereutrófico porque supera el ECA4-Agua, los demás sectores no presentan afectación.
- La Clorofila A es el cuarto parámetro más frecuente, que se presenta superando el valor establecido en el ECA4 – Agua (0,008 mg/L) en 6 de 45 puntos del lago Titicaca (sector peruano), que representa el 13% de afectación (Bahía Interior de Puno) en un rango de 0.01422 a 0,08935 y una media general de Clorofila A de 0.066 mg/L. superando en 7.25 veces al ECA-4 considerado como un lago hipereutrófico debido a que el valor

promedio registrado ( $0.066 \text{ mg/L} = 66 \text{ } \mu\text{g/L}$ ) es mayor a  $10 \text{ } \mu\text{g/L}$  ( $=0.01 \text{ mg/L}$ ).

- El  $\text{DBO}_5$  presenta una media integral de  $2,64 \text{ mg/L}$  con valores por encima del ECA-4 en la bahía Interior de Puno con el mayor promedio  $4,17 \text{ mg/L}$ , y 2 puntos incumpliendo el ECA-4, en los puntos LTit59 y LTit60 con  $5 \text{ mg/L}$  respectivamente; el segundo promedio más alto corresponde al lago menor ( $3,50 \text{ mg/L}$ ) con 2 puntos LTit54 ( $8 \text{ mg/L}$ ) y LTit56 ( $7 \text{ mg/L}$ ) en el lago mayor el punto LTit35 ( $5 \text{ mg/L}$ ) es el único afectado por  $\text{DBO}_5$ .
- Los sulfuros afectan sólo a la Bahía Interior de Puno con 4 de 6 puntos (media de  $0,0041 \text{ mg/L}$ ), sobrepasando en 4 de 6 puntos, el ECA 4 – Agua ( $0,002 \text{ mg/L}$ ). Este parámetro se presenta por segunda vez, pudiendo estar vinculado, al proceso de eutrofización.
- El pH con un promedio general de 8.69 y en su mayoría en el rango del ECA-4 (6.5-9), La bahía Interior de Puno con un promedio de 8.98 es la más afectada con 3 de 6 puntos superando el ECA-4; la bahía de Puno con 8.63 de promedio, el lago mayor presenta un promedio de 8.64 y el lago menor con 8.68 de promedio no presentan afectación.
- El Oxígeno Disuelto presentó una media de  $5.89 \text{ mg/L}$ , el único punto con hipoxia es LTit59 con  $2.84 \text{ mg/L}$ , bahía Interior de Puno. El promedio alto estuvo en el Lago menor ( $6.23 \text{ mg/L}$ ), seguido del Lago Mayor ( $6.03 \text{ mg/L}$ ).
- Sólidos Totales Suspendidos presento una alta concentración en la desembocadura del río Ramis, con  $59 \text{ mg/L}$ , vinculado a la alta turbiedad registrada ( $74.2 \text{ NTU}$ ), apreciable organolépticamente con una coloración café - pardo tenue.
- El Plomo total, sólo se presentó en el punto LTit01 (desembocadura del río Ramis) con  $0.0027 \text{ mg/L}$ , ello representa un comportamiento atípico para este parámetro poco frecuente, probablemente vinculado a los lastres de plomo utilizados para las redes de pesca artesanal, pejerrey argentino (*Odontesthes bonariensis*) y carachi amarillo (*Orestias luteus*), que se presentan en la zona y la minería informal existente aguas arriba.
- El Zinc total en altas concentraciones se produce en 3 puntos de la Bahía Interior de Puno, en LTit61 con  $0.3230 \text{ mg/L}$  ( $>\text{ECA-4}$  que es de  $0.12 \text{ mg/L}$ ).

- El resumen de los descrito se observa en la Tabla 6 y con más detalle se visualiza en las tablas 6,8,10 y 12.

**Tabla 6**

*Parámetros medidos que se sobrepasan los ECA Agua en los 4 setores de lago Titicaca*

Parámetro medido	Parámetro que sobrepasa el ECA4 Agua (media integral)	Estándares del ECA 4 Agua	Cuantos puntos sobrepasan de 45
Conductividad eléctrica	1542.47 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1000( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	43
Nitrógeno total	1.58 mg/L	0.315 mg/L	14
Fosforo total	0.1071 mg/L	0.035 mgP/L	8
La Clorofila A	0.066 mg/L	0.008 mg/L	6
DBO <sub>5</sub>	5 mg/L	5 mg/L	4
Zinc	0.323 mg/L	0.12 mg/L	3
Oxígeno disuelto	2.84mg/L	$\geq 5$ mg/L	1
Solidos suspendidos totales	59 mg/L	25 mg/L	1
Plomo	0.0027 mg/L	0.0025 mg/L	1
pH	8.69	6.5 - 9	-

Los parámetros que vimos en el Tabla 6 nos permitirá medir el ICA tal como los hicieron los analistas Israel y Quintanilla (2013) en estudio donde evaluaron la calidad del agua en el lago Poopó - Uru, en base a un índice de calidad del agua que resulta teniendo en cuenta una clasificación de los resultados de los análisis químicos con respecto a los límites permisibles considerados en el desarrollo del proyecto CAMINAR, estos están expresados como porcentaje del agua pura; así el agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento, en tanto que en el agua en excelentes condiciones tendrá un valor del índice será cercano a 100% lo que no nos dan estos autores es que significa el porcentaje si el 100% es bueno o malo. Los parámetros que se analizaron en el cuadro superior son los que superaron el ECA4-Agua otros autores como Roque y Aravena (2021) investigaron y hallaron las diferencias en la interacción y la forma de percibir la problemática ambiental del lago Titicaca entre los pobladores rurales y urbano la contaminación de la bahía es el problema principal, y en lo rural, se ve la sobreexplotación de recursos naturales. Se puede percibir

que la contaminación a la larga causara enfrentamientos entre los pobladores urbanos y rurales.

#### **A. Calidad de agua en la Bahía Interior de Puno**

La Bahía Interior de Puno para abril 2023 presentó una transparencia media de 0.77 m, con un rango entre 0.50 m a 0.90 m, y se caracteriza por estar afectada de manera recurrente en los 6 puntos evaluados por la Conductividad Eléctrica con valores que sobrepasan el valor ECA 4-Agua (1 000 uS/cm) en promedio 1 708.00 uS/cm, la Clorofila A (ECA 4 – Agua : 0.008 mg/L) con un promedio de 0.06 rmg/L, el Nitrógeno total (ECA 4 – Agua : 0.315 mg/L) con un promedio de 2.6150, Fósforo total (ECA 4 - Agua: 0.035) con 0.7160 rmg/L en promedio; le sigue el pH básico con una media de 8.98, sobrepasando el ECA 4 – Agua sólo en 4 puntos, Sulfuros (ECA-4: 0.002 mg/L) en 4 puntos; y Oxígeno disuelto (LTit59) y Zinc total (LTit61 ) en 1 punto respectivamente,

Los indicadores de Eutrofización en la Bahía Interior de Puno son recurrentes y se relacionan estrechamente a los vertimientos municipales y la acumulación de sedimentos y materia orgánica en este sector y también está afectando a la bahía de Puno por el intercambio de agua que existe con este lugar.

En la Tabla 6 podemos observar que 9 de los 17 parámetros elegidos que fueron medidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) sobre pasan y no llegan a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en lagos y lagunas (ECA 4 – Agua), Estos parámetros que están fuera de los límites permitidos son sometidos a una evaluación matemática utilizando las ecuaciones del 1 al 7 para poder encontrar en que rango de ICA se encontraban, para el caso de la bahía interior del lago que es la más alarmante se obtuvo un ICA de MALO con puntaje promedio de 30.62 como se muestra en la Tabla 7 y en Tabla 8 podemos observar los parámetros excedentes donde se utilizaron las ecuaciones 5 y 6 para poderlos medir.

**Tabla 7**

*Puntos de muestreo de 17 parámetros en la bahía interior del lago Titicaca*

N°	Parámetros	Unidades	ECA	LTi659	LTi660	LTi661	LTi662	LTi663	LTi664
1	Aceites y Grasas	mg/L	5	0.9	0.9	4.0	0.9	2.6	0.9
2	Clorofila	mg/L	0.008	0.08935	0.11894	0.05262	0.08058	0.01422	0.04012
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	5	5	4	3	4	4
4	Fósforo Total	mg P/L	0.035	0.743	0.729	0.772	0.602	0.811	0.639
5	Clorofila	mg/L	0.008	0.08935	0.11894	0.05262	0.08058	0.01422	0.04012
6	Oxígeno Disuelto (OD) (Valor mínimo)	mg/L	≥ 5	2.84	5.64	6.45	5.91	5.43	5.44
7	Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad	6.5 a	8.96	9.02	9.13	8.92	9.01	8.83
8	Arsénico (As)	mg/L	0.15	0.01347	0.01324	0.01363	0.01360	0.01365	0.01434
9	Cadmia (Cd)	mg/L	0.00025	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
10	Mercurio (Hg)	mg/L	0.0001	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
11	Plomo (Pb)	mg/L	0.0025	0.00080	0.00030	0.00090	0.00030	0.00060	0.00040
12	Zinc (Zn)	mg/L	0.12	0.01280	0.00900	0.32300	0.00900	0.01780	0.01060
13	Hidrocarburos Totales de Petróleo HTP	mg/L	5	0.00079	0.1412	0.0602	0.0542	0.0558	0.0545
14	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000	49	46	4	9.2	26	4
15	Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	25	21.00	19.00	19.00	18.00	20.00	15.00
16	Nitrógeno Total	mg N/L	0.315	2.67000	2.38000	3.12000	2.30000	2.89000	2.33000
17	Conductividad	(µS/cm)	1000	1570.00	1770.00	1736.00	1674.00	1748.00	1750.00

Valor que excede el ECA – Agua

**Tabla 8**

*Valores de Excedentes de 17 parámetros en la bahía interior del lago Titicaca*

Parámetros	LTit59	LTit60	LTit61	LTit62	LTit63	LTit64
Aceites y Grasas						
Clorofila	10.16875	13.8675	5.5775	9.0725	0.7775	4.015
Demanda Bioquímica de Oxigena (DBOS)	0	0				
Fósforo Total	20.2285714	19.8285714	21.05714286	16.2	22.1714286	17.2571429
Clorofila	10.16875	13.8675	5.5775	9.0725	0.7775	4.015
Oxígeno Disuelto (OD) (Valor mínimo)	0.76056338					
Potencial de Hidrógeno (pH)		0.00222222	0.01444444		0.00111111	
Nitrógeno Total	7.47619048	6.55555556	8.904761905	6.3015873	8.17460317	6.3968254
Conductividad	0.57	0.77	0.736	0.674	0.748	0.75
<b>Calculo del ICA</b>						
Sumatoria de excedentes	49.3728253	54.8913492	43.55901587	41.3205873	32.6501429	32.4339683
Número de parámetros que no cumplen el ECA	7	7	7	5	6	5
Número total de parámetros a evaluar	17	17	17	17	17	17
Número de datos que no cumplen el ECA	7	7	7	5	6	5
Número total de datos	17	17	17	17	17	17
F1	0.41176471	0.41176471	0.411764706	0.29411765	0.35294118	0.29411765
F2	0.41176471	0.41176471	0.411764706	0.29411765	0.35294118	0.29411765
Sumatoria normalizada de excedentes	49.37	54.89	43.55	41.32	32.65	32.43
F3	189.943523	226.039036	205.3969022	226.554364	200.678384	200
ICA	36.6851947	24.6534048	31.53409077	24.4817512	33.1069984	33.3331892
Calificación del ICA	<b>MALO</b>	<b>MALO</b>	<b>MALO</b>	<b>MALO</b>	<b>MALO</b>	<b>MALO</b>
Valores excedentes	Valores de calificación del ICA					

En la investigación que realizo en la bahía interior del lago Titicaca los estudiosos Beltrán et al. (2015) evaluaron la calidad acuática de la bahía interior de Puno, fijaron 12 estaciones de muestreo aleatoriamente, que se evaluaron de forma mensual entre diciembre del 2010 a abril del 2011. Se diagnosticaron parámetros fisicoquímicos utilizando las metodologías validadas de EPA y APHA, los nutrientes se resolvieron mediante espectrofotometría. La temperatura, fosfatos, nitratos oxígeno disuelto, pH, y nitritos del agua indicaron que el área próxima a la desembocadura de la laguna de estabilización de la ciudad (isla Espinar) es una zona muy crítica.

#### **B. Calidad de agua en el lago menor del Lago Titicaca (sector peruano)**

En abril 2023, el Lago menor del Lago Titicaca presentó una transparencia promedió de 3.96 m, Presenta en los 7 puntos evaluadas (100%) elevada Conductividad eléctrica (media: 1 887.43 uS/cm), considerado el más alto del lago Titicaca en este periodo de evaluación. Así mismo, el Nitrógeno total sobrepasa el ECA-4 (0,315 mg/L) en los 7 puntos evaluados (media de 0.4761 mg/L): también se presenta DBO por encima de los 5 mg/L. (ECA-4) en 2 puntos evaluados (LTit54 y LTit56), El análisis y evaluación detallado de la información de campo y reportes de ensayo de laboratorio (ALS LS PERU S-A, CJ).

En la Tabla 9 (color amarillo) podemos observar que 3 de los 17 parámetros elegidos que fueron medidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) sobrepasan y no llegan a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en lagos y lagunas (ECA 4 – Agua), Estos parámetros que están fuera de los límites permitidos son sometidos a una evaluación matemática utilizando las ecuaciones del 1 al 7 para poder encontrar en que rango de ICA se encontraban, para el caso del lago menor del lago se obtuvo un ICA de EXCELENTE con puntaje promedio de 97.60 y en la Tabla 10 podemos observar los parámetros excedentes que se utilizaron las ecuaciones 5 y 6 para poderlos medir.

**Tabla 9**

*Puntos de muestreo de 17 parámetros en el Lago menor del lago Titicaca*

Parámetros	ECA	LTit41	LTit46	LTit47	LTit50	LTit53	LTit54	LTit56
Aceites y Grasas	5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Clorofila	0.008	0.00265	0.00192	0.00313	0.00280	0.00221	0.00187	0.00447
Demanda Bioquímica de Oxigena (DBOS)	5	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	8	7
Fósforo Total	0.035	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
Amoniaco N								
Oxígeno Disuelto (OD)	≥ 5	5.75	6.25	6.00	6.33	6.35	6.50	6.45
(Valor mínimo)	6.5 a 9.0	8.64	8.71	8.68	8.75	8.81	8.66	8.51
Potencial de Hidrógeno (pH)	0.15	0.12460	0.01302	0.01389	0.01418	0.01381	0.01424	0.01367
Arsénico (As)	0.00025	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Cadmia (Cd)	0.0001	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
Mercurio (Hg)	0.0025	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019
Plomo (Pb)	0.12	0.01020	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900
Zinc (Zn)								
Hidrocarburos Totales de Petróleo HTP	5	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079
Coliformes Termotolerantes	1000	1.79	27	1.79	1.79	1.79	1.79	70
Sólidos Totales Suspendidos	25	3	3	3	4	3	3	1.9
Nitrógeno Total	0.315	0.4810	0.5090	0.3520	0.4350	0.4570	0.4910	0.6080
Conductividad	1000	1901.00	1911.00	1903.00	1888.00	1873.00	1883.00	1818.00

Valor que excede el ECA – Agua

**Tabla 10**

*Valores de Excedentes de 17 parámetros en el Lago menor del lago Tiicaca*

Parámetros	LTit41	LTit46	LTit47	LTit50	LTit53	LTit54	LTit56
Aceites y Grasas							
Clorofila							
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBOS)							
Fósforo Total						0.6	0.4
Amoniaco N							
Oxígeno Disuelto (OD) (Valor mínimo)							
Potencial de Hidrógeno (pH)							
Hidrocarburos Totales de Petróleo HTP							
Coliformes Termotolerantes							
Sólidos Totales Suspendidos							
Nitrógeno Total	0.526984	0.615873	0.11746032	0.38095238	0.45079365	0.55873016	0.930158
Conductividad	0.901	0.911	0.903	0.888	0.873	0.883	0.818
	1.4279841						
Sumatoria de excedentes	3	1.52687302	1.02046032	1.26895238	1.32379365	1.44173016	1.74815873
Núm. de parámetros que no cumplen el ECA	2	2	2	2	2	3	3
Número total de parámetros a evaluar	17	17	17	17	17	17	17
Número de datos que no cumplen el ECA	2	2	2	2	2	3	3
Número total de datos	17	17	17	17	17	17	17
F1	0.117647	0.11764	0.117647	0.11764706	0.11764706	0.17647059	0.176470
F2	0.117647	0.117647	0.117646	0.11764706	0.11764706	0.17647059	0.176470
Sumatoria normalizada de excedentes	0.083999	0.089816	0.060027	0.07464426	0.07787021	0.08480766	0.102832
F3	7.748993	8.241396	5.66278	6.94595045	7.22445186	7.81775976	9.32442
ICA	98.35548	97.25230	98.11158	97.6840191	97.5912109	97.3927526	96.8907
Calificación del ICA	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.
Valores excedentes	Valor de calificación del ICA						

Existen estudios donde llegan a resultados que el Índice de Calidad del agua está en óptimas condiciones como lo demuestran en su investigación los autores Aguirre et al. (2016) donde nos expresan que la contaminación de los cuerpos de agua superficiales es un proceso incipiente debido a la acción humana entre otras, la agricultura de exportación, la ganadería y la expansión de zonas residenciales tanto a nivel urbano como rural. Esta investigación basada en registros históricos de características fisicoquímicas. Características del agua evaluadas para los años 2005-2014, el estado de salud del Lago de Izabal mediante el índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de América (ICA-NSF). Se concluyó que la calidad del agua del Lago de Izabal se cataloga como BUENA, solo que en este estudio utilizan otra metodología como es la ICA-NSF que también catalogo desde MALA – EXCELENTE.

### **C. Calidad de agua en la Bahía de Puno**

El sector de la Bahía de Puno, comprendida entre la península de Chucuito y la península de Capachica, presenta una transparencia al disco Secchi con una media de 6.45 m menor a 8,533 m de noviembre 2023, mayor julio 2023 (5.465 m). La transparencia media de la Bahía de Puno es de 6.45 m, y se caracteriza por presentar afectaciones por la elevada Conductividad Eléctrica (ECA-4  $> 1\ 000$  uS/cm) con un promedio de 1438.91 uS/cm en 8 de 9 puntos superando el ECA-4. Como se puede observar en la Tabla 12 este sector tiene un ICA de EXCELENTE. En la Tabla 11 podemos observar solo 1 de los 17 parámetros elegidos que fueron medidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) sobrepasa o no llega a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en lagos y lagunas (ECA 4 – Agua), Este parámetro que está fuera del límite permitido es sometido a una evaluación matemática utilizando las ecuaciones del 1 al 7 para poder encontrar en que rango de ICA se encontraban, para el caso de la bahía del lago se obtuvo un ICA de EXCELENTE con puntaje promedio de 98.60 podemos observar el resultado del parámetro excedente para el que se utilizó las ecuaciones 5 y 6.

**Tabla 11**

*Puntos de muestreo de 17 parámetros en la bahía lago del lago Titicaca*

Parámetros	ECA	LTit65	LTit66	LTit67	LTit68	LTit69	LTit70	LTit71	LTit72	LTit73
Aceites y Grasas	5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Clorofila	0.008	0.00251	0.00229	0.00111	0.00182	0.00313	0.00166	0.000191	0.00213	0.00195
Demanda Bioquímica de Oxigena (DBOS)	5	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Fósforo Total	0.035	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
Nitratos NO3	13	0.0089	0.567	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.442
Oxígeno Disuelto (OD) (Valor mínimo)	≥ 5	5.75	5.74	5.94	5.89	5.77	5.92	5.59	5.51	5.12
Potencial de Hidrógeno (pH)	6.5- 9.0	8.65	8.62	8.76	8.63	8.63	8.66	8.65	8.63	8.41
Arsénico (As)	0.15	0.01166	0.01174	0.01137	0.01154	0.01164	0.0123	0.0119	0.01201	0.01253
Cadmia (Cd)	0.00025	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Mercurio (Hg)	0.0001	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
Plomo (Pb)	0.0025	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.0005
Zinc (Zn)	0.12	0.009	0.0328	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.0107
Hidrocarburos Totales de Petróleo HTP	5	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079
Coliformes Termotolerantes	1000	6.8	4.5	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79
Sólidos Totales Suspendidos	25	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Nitrógeno Total	0.315	0.113	0.169	0.158	0.165	0.152	0.164	0.191	0.157	0.272
Conductividad	1000	1503	1500	1500	1450	1490	1480	1490	1496	977.2

Valor que excede el ECA – Agua

**Tabla 12**

*Valores de Excedentes de 17 parámetros de la bahía lago del lago Tiicaca*

<b>Cálculos del ICA</b>	<b>LTit65</b>	<b>LTit66</b>	<b>LTit67</b>	<b>LTit68</b>	<b>LTit69</b>	<b>LTit70</b>	<b>LTit71</b>	<b>LTit72</b>
Sumatoria de excedentes	0.503	0.5	0.5	0.45	0.49	0.48	0.49	1.496
Número de parámetros que no cumplen el ECA	1	1	1	1	1	1	1	1
Número total de parámetros a evaluar	17	17	17	17	17	17	17	17
Número de datos que no cumplen el ECA	1	1	1	1	1	1	1	1
Número total de datos	17	17	17	17	17	17	17	17
F1	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588
F2	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588
Sumatoria normalizada de excedentes	0.0298	0.0294	0.0294	0.0264	0.0288	0.028	0.0288	0.088
F3	2.8737	2.8572	2.8571	2.5787	2.8016	2.7459	2.8016	8.0885
ICA	98.745	99.047	99.047	99.13	99.065	99.084	99.06	97.3037
<b>Calificación del ICA</b>	<b>EXC.</b>							

Valores excedentes

Valor de calificación del ICA

Existen estudios como los de Rosemond *et al.* (2009) donde evaluó la capacidad del CCME WQI para diferenciar la calidad del agua de las minas de metal en Canadá en los sitios de exposición de los sitios de referencia utilizando dos tipos diferentes de objetivos numéricos de calidad del agua: (1) las pautas de calidad del agua para la protección de la vida acuática de agua dulce y (2) los objetivos de calidad del agua determinados utilizando datos de referencia regionales denominados Objetivos específicos de la región. Se encontró que la aplicación de WQI CCME es un buena herramienta para evaluar la calidad absoluta del agua en relación con las pautas nacionales de calidad del agua. para la protección de la vida acuática llegando a resultados que las aguas que al igual que de la bahía lago eran BUENAS esta metodología no solo hallará lo malo también nos indicará si el líquido elemento si está en EXCELENTES condiciones.

#### **D. Calidad de agua en el lago mayor del Lago Titicaca (sector peruano)**

El sector más grande presenta la mayor transparencia media con 9.91 además en 22 de 23 puntos de monitoreo (96%) presenta alta Conductividad Eléctrica (ECA-4  $>1\ 000$  uS/cm) con un promedio de 1436.34 uS/cm. También se presenta el Fósforo total superando el ECA-4 (0.035 mg/L) en 2 puntos de monitoreo y Sólidos Totales Suspendidos(LTit01), DBO5 (LTit35), Nitrógeno total y Plomo total (LTit01)

Podemos observar que 5 de los 17 parámetros elegidos que fueron medidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) sobrepasan y no llegan a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en lagos y lagunas (ECA 4 – Agua), Estos parámetros que están fuera de los límites permitidos es sometido a una evaluación matemática utilizando las ecuaciones del 1 al 7 para poder encontrar en que rango de ICA se encontraba, para el caso del Lago Mayor se obtuvo un ICA de EXCELENTE con puntaje promedio de 98.78 como se muestra en la Tabla 14 en la misma podemos observar el resultado del parámetro excedente para el que se utilizó las ecuaciones 5 y 6.

**Tabla 13**

*Puntos de muestreo de 17 parámetros en el lago mayor del Titicaca*

Parámetros	LTit01	LTit02	LTit03	LTit04	LTit05	LTit06	LTit07	LTit08	LTit09	LTit10	LTit12	LTit13
Aceites y Grasas	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Clorofila	0.00118	0.00114	0.00229	0.00085	0.00085	0.00055	0.00026	0.00059	0.00059	0.00055	0.00119	0.00059
Demanda Bioquímica de Oxigena (DBOS)	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Fósforo Total	0.056	0.009	0.009	0.022	0.009	0.009	0.023	0.009	0.009	0.009	0.013	0.009
Nitratos. NO3-	0.477	0.0089	0.318	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.198	0.0089	0.354	0.0089	0.0089
Oxígeno Disuelto (OD) (Valor mínimo)	5.59	5.77	5.78	5.5	5.61	5.68	5.54	5.92	5.85	5.92	6.02	5.89
Potencial de Hidrógeno (pH)	8.49	8.61	8.69	8.6	8.68	8.58	8.62	8.72	8.64	8.7	8.73	8.67
Arsénico (As)	0.01030	0.01028	0.01084	0.01027	0.01021	0.01114	0.01090	0.01255	0.01151	0.01239	0.01164	0.01201
Cadmio (Cd)	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Mercurio (Hg)	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
Plomo (Pb)	0.00270	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019
Zinc (Zn)	0.03290	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900
Hidrocarburos Totales de Petróleo HTTP	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079
Coliformes	700	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79
Termotolerantes	59.00	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Sólidos Totales	0.2540	0.1230	0.1400	0.1330	0.1160	0.1290	0.1380	0.4520	0.1310	0.2540	0.1418	0.1250
Suspendidos	383.80	1410.00	1463.00	1426.00	1476.00	1496.00	1490.00	1496.00	1492.00	1496.00	1477.00	1500.00
Nitrógeno Total												
Conductividad												
Valor que excede el ECA – Agua												

**Tabla 13**

(continuación de tabla 12) Puntos de muestreo de 17 parámetros en el lago mayor del Titicaca

LTit14	LTit16	LTit18	LTit19	LTit20	LTit23	LTit26	LTit29	LTit33	LTit34	LTit35
0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	9	9
0.00051	0.00004	0.0003	0.00059	0.00055	0.00055	0.00055	0.0003	0	0.00026	0.00026
1.9	1.9	1.9	3	1.9	4	1.9	1.9	1.9	4	5
0.078	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.034
0.421	0.257	0.441	0.202	0.535	0.0089	0.0089	0.039	0.0089	0.105	0.118
5.49	5.18	5.49	5.58	5.54	5.37	5.88	5.91	6.4	5.52	13.2
8.6	8.56	8.64	8.62	8.66	8.62	8.68	8.75	8.68	8.54	8.64
0.01239	0.01216	0.01218	0.01171	0.01187	0.01177	0.01094	0.01089	0.01090	0.01087	0.01099
0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019
0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900
0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079
1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79
1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
0.1640	0.1230	0.1980	0.1060	0.1480	0.0830	0.1940	0.1400	0.2390	0.1980	0.1900
1500.00	1508.00	1497.00	1506.00	1494.00	1418.00	1503.00	1502.00	1504.00	1492.00	1505.00

Valor que excede el ECA – Agua

**Tabla 14**

*Valores de excedentes de 17 parámetros en el lago mayor del Titicaca (parte 1)*

Cálculo del ICA	LTit01	LTit02	LTit03	LTit04	LTit05	LTit06	LTit07	LTit08	LTit09	LTit10	LTit12	LTit13
Sumatoria de excedentes	2.04	0.41	0.463	0.426	0.476	0.496	0.49	0.930	0.492	0.496	0.477	0.5
Número de parámetros que no cumplen el ECA	3	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
Número total de parámetros a evaluar	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Número de datos que no cumplen el ECA	3	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
Número total de datos	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
F1	0.17647	0.0588	0.058	0.05	0.05	0.05	0.058	0.117	0.05	0.058	0.058	0.058
F2	0.1764	0.0588	0.058	0.05	0.058	0.05	0.058	0.11	0.058	0.058	0.058	0.058
Sumatoria normalizada de excedentes	0.12	0.024	0.027	0.02	0.028	0.02	0.028	0.05	0.02	0.029	0.028	0.029
F3	10.714	2.3549	2.658	2.44	2.72	2.8	2.801	5.19	2.812	2.834	2.729	2.857
ICA	96.42	99.21	99.11	99.1	99.0	99.05	99.06	98.26	99.06	99.05	99.08	99.047
Calificación del ICA	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.
Valor de calificación del ICA	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.

**Tabla 14**

(Continuación de la Tabla 14) Valores de excedentes de 17 parámetros en el lago mayor del Titicaca

Cálculo del ICA	LTi14	LTi16	LTi18	LTi19	LTi20	LTi23	LTi26	LTi29	LTi33	LTi34	LTi35
Sumatoria de excedentes	1.728	0.508	0.497	0.506	0.494	0.418	0.503	0.502	0.504	0.492	0.505
Núm. de parámetros que no cumplen el ECA	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Número total de parámetros a evaluar	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Número de datos que no cumplen el ECA	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Número total de datos	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
F1	0.1176	0.0588	0.058	0.05	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.117
F2	0.1176	0.0588	0.058	0.058	0.058	0.058	0.0588	0.058	0.058	0.058	0.11
Sumatoria normalizada de excedentes	0.1016	0.0298	0.029	0.029	0.02	0.024	0.029	0.029	0.029	0.028	0.029
F3	9.229	2.9015	2.840	2.890	2.823	2.399	2.8737	2.868	2.879	2.812	2.884
ICA	96.92	99.032	99.052	99.03	99.05	99.19	99.041	99.04	99.039	99.06	99.03
Calificación del ICA	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.

Valor de calificación del ICA = EXCELENTE

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) tiene 46 parámetros medidos entre físicos, químicos y biológicos en 45 puntos del lago de los 46 parámetros solo se eligieron 17 parámetros para ser evaluados tal como lo propone la metodología WQI CCME ; sin embargo existen estudios como los de Joanes y Almeida, (2018) que solo trabajaron con 4 parámetros en 4 tramos del río Joanes en Brasil fue aplicada la misma metodología llegando a resultados no muy convincentes por la poca cantidad de parámetros utilizados.

De los resultados obtenidos en las tablas 7, 9, 11, 13 y 14 podemos evidenciar que el único sector que presenta un ICA = MALA es de la zona de la bahía interior del lago el cual nos refleja que las aguas servidas de la población de Puno y que no tiene ni un tipo de tratamiento está afectando visiblemente la calidad del agua, por otra parte los otros 3 sectores ( bahía Lago, lago mayor y lago menor) tienen un ICA = EXCELENTE esto nos da entender que una zona poblada y zona minera pueden afectar con gran magnitud como demuestra los resultados tomados en el punto LTit01 con presencia de plomo este punto de muestreo se ubica en la desembocadura del río Ramis se tiene conocimiento que este río presenta en su cuerpo de agua metales pesados producto de la minería tal como los demostraron los investigadores Israel y Quintanilla (2013) evaluaron el Índice de Calidad del agua en la cuenca del lago Poopó - Uru, , estos están expresados como porcentaje del agua pura; sí el agua está altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero% , en tanto que en el agua presente excelentes condiciones tendrá un valor del índice será próximo al 100%, a este índice le aplicaron herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG) para que el público pueda interpretar de forma sencilla el trabajo realizado y aplicaron la metodología WQI- CCME los resultados que obtuvieron fueron que el índice de calidad del agua de todo el lago , donde existe zonas de agricultura presentan un ICA de mejor postura, las zonas donde existen actividad minera presentan un ICA de menor calidad de sus aguas y se observa el fenómeno de disolución de minerales .

Por otra parte los investigadores Marselina et al. (2022) utilizaron datos de monitoreo de la provincia de Java Occidental recopilados de cuatro estaciones de monitoreo a lo largo del río Citarum. El ICA fueron

calculados con datos de monitoreos de nueve años se agruparon y analizaron de acuerdo con los meses húmedos secos, los años húmedos y secos, la estación de monitoreo y el año el río Citarum obtuvo una calificación de calidad del agua de 'Regular' y 'Mala' con un ICA que oscila entre 38.212 y 60.903 durante los meses secos, 49.089 y 62.348 durante los meses húmedos, 42.935 y 65.696 durante los años secos y 39.002 y 58.898 durante años húmedos. Los datos oscilaron entre 41.458 y 61.206 de cada estación de monitoreo, y entre 35.920 y 58.713 para los datos de cada año de monitoreo. El método de evaluación CCME WQI mostró que el río Citarum tenía una calidad de agua 'Regular', 'Marginal' y 'Mala', este trabajo nos demostró que es mejor realizar cálculos con monitoreos continuos de varios años que nos permitan dar resultados muy acertados.

El trabajo del autor Rezend et al. (2019) que titula la aplicación del IQA – CCME en la sede del municipio de Itabaina se percataron los especialistas que para dar un mejor servicio a la población se tenía que monitorear el río, este monitoreo lo realizaron en base a los parámetros que se dictaminaba en su legislación de Brasil; sin embargo la cantidad de parámetros monitoreados eran demasiado y hacían que el manejo sea dificultoso es por eso que optan por hacer uso de la metodología Canadiense IQA-CCME y con la ayuda de informes mensuales al igual que se usó los informes de la ANA en el presente trabajo llegaron a mostrar resultados que se satisfacían y que su ICA estaba en un rango de entre lo bueno solo usando pocos parámetros que la metodología requiere, finalmente concluyeron que la flexibilidad la formulación matemática convierte a la metodología en una alternativa viable para determinar la calidad del agua de suministro al igual que nosotros demostramos que este método es eficiente de fácil manipulación y que con pocos datos podemos llegar a determinar la calidad del agua que se tiene.

#### **4.1.2. Resultados del análisis de varianza entre los 4 sectores de 17 parámetros del lago Titicaca**

En los parámetros Aceites y grasas, Clorofila A, DBO5, Fosforo total, pH, Hidrocarburos de petróleo, Solidos suspendidos totales, Nitrógeno total y Conductividad eléctrica todas las medias son iguales no hay cambios y diferencias

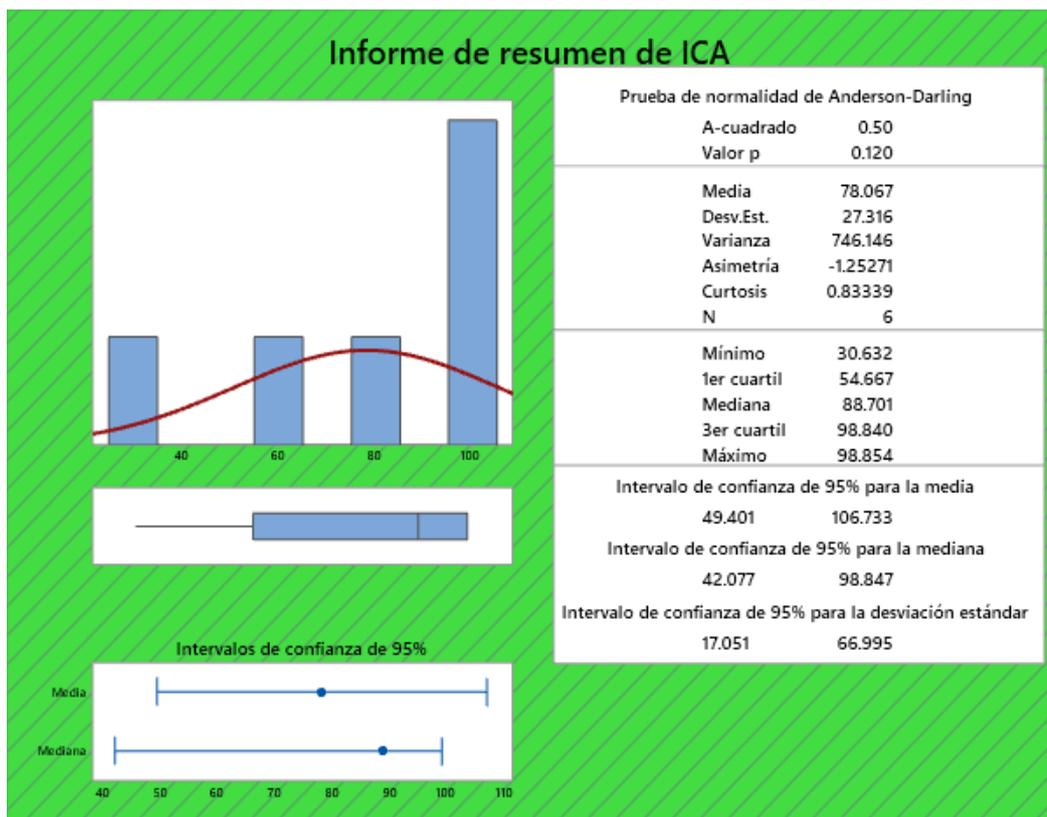
porque tienen un valor  $P < 0.05$ . los datos no siguen una distribución normal por tal motivo rechazamos la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptamos la hipótesis alterna ( $H_1$ ).

Por otro lado, los parámetros Amoniaco, Oxígeno Disuelto, Arsénico, Cadmio, Mercurio, Plomo, Zinc y Coliformes termotolerantes eléctrica todas las medias son iguales no hay cambios y diferencias porque tienen un valor  $P > 0.05$  podemos decir que tienen una normalidad y aceptamos el  $H_0$  los datos mencionados los encontramos en las tablas del anexo 3.

En la Figura 13 podemos observar que los datos provienen de una población normal ya que nuestro P value obtenido es de  $P > 0.05$ , P obtenido = 0.12 y una media de 78.67.

**Figura 13**

*Prueba de normalidad*



Otros autores realizaron un análisis factorial a sus resultados como es el caso de Miyittah et al. (2020) de los datos para identificar los principales factores que influyen en las variaciones en la calidad del agua. La extracción de los factores

arrojó tres PC con valores propios  $>1$  que, en conjunto, representan el 73,65 % de la variabilidad total en el conjunto de datos de calidad del agua observado. Se puede aplicar diversos análisis estadísticos para validar nuestras hipótesis.

En la investigación de Bonilla et al. (2019) se hizo una remoción de plomo del casi 96%, en nuestro trabajo de investigación aseveramos que hicimos una remoción de agentes contaminantes que no cumplían el ECA 4 – Agua de un 95% ya que de los 14 parámetros contaminados hicimos la remediación de 13 parámetros a excepción del fosforo (por un mal lavado en la etapa seguida de la impregnación).

#### **4.2 Obtención de carbón activado a partir del tratamiento de la Totora mediante activación química.**

Para la elaboración del CA de Totora se inició con el segado de la totora en un total de, los 150 kilos el cual se hizo secar en 3 diferentes ambientes cuales se secaron, carbonizaron a 400 °C, molieron, tamizaron en 2 mallas diferentes tamaños de 10 y 200 mesh que nos resultó 2 muestras distintas (granulado y polvo) y finalmente se activó con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) en 3 pruebas de impregnación con 100, 200 y 300 mL de  $H_2SO_4$  como se muestra en la tabla 16. Una vez obtenido el carbón activado se elaboró 1 filtro utilizando 2 botellas de 0.5 L cada una y posterior a ello realizar las pruebas de filtrado.

#### **Análisis del rendimiento del proceso de carbonización - activación química**

Los trabajos anteriores influyeron en gran medida en nuestra investigación ya que obtuvimos datos como los de Narasimha (1964), que produjo CA a temperaturas de alrededor de 500°C, por otra parte Fornwalt (1963), que señala una escala de 550 a 650°C; el de Banerjee (1976), que reporta datos mayores de 300 a 600°C otro de los factores que influyen fue es el tiempo de impregnación de los agentes activantes y hallamos datos de 18 horas a 30 horas de impregnación, otro de los investigadores Santana (1974), trabajando con Pino y activando con cloruro de zinc, da temperaturas de 500 a 700°C y tiempos de 24 horas. Determinándose para el presente trabajo de investigación la temperatura óptima de 400°C con un tiempo de calcinación de 40 minutos e impregnación con ácido sulfúrico de 24 horas la temperatura y tiempo fueron extraído de los promedios que mencionamos anteriormente.

## Efecto de la concentración del agente activante

La concentración del agente activante influye en gran medida en el proceso de activación utilizando como agente activante el ácido sulfúrico (activación química) a determinadas concentraciones tal como se muestra en la tabla 16 estas proporciones 0.85 Kg de Totorá carbonizada seca al aire libre con 100 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y nos resultó una pasta no muy húmeda, el segundo experimento fue tomar 0.79 Kg de Totorá carbonizada que seco en ambiente cerrado con 200 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> el cual nos produjo una pasta uniforme y nuestro tercer experimento fue tomar 0.83Kg de Totorá carbonizada que seco en las orillas del lago mezclarlo con 300 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pero nos dio una pasta muy acuosa. Y tomamos la decisión para el filtrado del agua elegir la segunda opción: Uno porque nos dio una pasta uniforme y dos porque el secado de la totora fue en un ambiente cerrado sin contacto con agentes contaminantes como pudo suceder con las otras 2 muestras como se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Proporciones de materia prima (Totorá) frente al agente activante ácido sulfúrico*

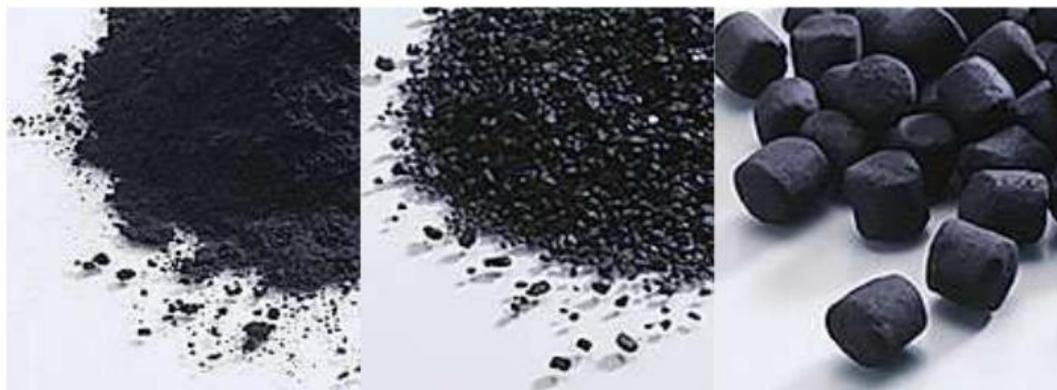
Muestra	Totorá fresca	Totorá seca	Totorá seca carbonizada	Impregnación con ácido sulfúrico H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Totorá 1 secado al aire libre	50 kg	8,89 kg	0,85 kg	100 mL
Totorá 2 secado en ambiente cerrado	50kg	8,38 Kg	0,79 kg	200 mL
Totorá 3 secado en techo	50kg	8,74 Kg	0,83 kg	300 mL

## Tipos de tamizado de carbón activado

Se obtuvieron 2 tipos de carbón activado el primero fue con un tamizado de 200 mesh que nos dieron unas partículas de alrededor de 75 µm y el segundo lo tamizamos con un mesh 10 que nos dieron unas partículas de 2 mm en la Figura 14 se observa las 2 partículas en polvo y granulado.

## Figura 14

*Tres etapas del CA activado de Totora*



PARTICULAS EN POLVO - PARTICULAS GRANULADAS - TROZOS DE TOTORA

### Contenido de Humedad

El promedio de humedad del CA de Totora es como se muestra en la siguiente Tabla 16 donde se tomó 3 muestras, realizando el secado de distintas maneras, el contenido de humedad se realizó en el laboratorio de Ingeniería Química siguiendo los métodos existentes de laboratorio. El contenido de cenizas se vale al contenido de inorgánicos presentes en el producto, este nos indica el contenido de impurezas en el CA por eso este parámetro es tomado en cuenta en los procesos de absorción.

**Tabla 16**

*Contenido de humedad de la Totora (3 muestras)*

Muestra	% Humedad
Totora 1 secado al aire libre	6.31
Totora 2 secado en ambiente cerrado	5.28
Totora 3 secado y compadrado	6.57
Promedio	

### Materia Volátil

Estos valores de materia volátil son bajos porque se trabajó en la activación del CA con Ácido Sulfúrico a la temperatura ambiente que ayudó a que el compuesto no se volatilice para la presente investigación el que tuvo menos porcentaje fue la Totora secado en ambiente cerrado porque no tuvo contacto con materiales que hubieran contaminado a la materia prima.

**Tabla 17***Determinación del contenido de materia volátil del CA de Totorá*

Muestra	% Materia Volátil
Totorá 1 secado al aire libre	13.85
Totorá 2 secado en ambiente cerrado	12.75
Totorá 3 secado y compadrado	14.65

**Potencial de Hidrogeno (pH)**

El valor del pH puede incrementarse por la presencia del activante en este caso el ácido sulfúrico, es por eso que se hizo esta medición y por eso se el lavado con abundante agua hasta en 5 ocasiones. En nuestra investigación el que menos pH presenta (menos ácido) es la muestra de Totorá 2 ya que presenta un valor de 6.89 más tendencia a estar dentro de los parámetros de pureza (mas alcalino).

**Tabla 18***Determinación del contenido de pH de la Totorá*

Muestra	pH
Totorá 1 secado al aire libre	6.79
Totorá 2 secado en ambiente cerrado	6.89
Totorá 3 secado y compadrado	6.53

**Densidad Aparente**

Las partículas del carbón activado son muy importantes para obtener el parámetro de Densidad aparente y los valores obtenidos en las tres zonas de tamaño 0.07mm, tamaño que corresponde a las partículas de tamizado malla 200 de la serie Tyler.

**Tabla 19***Determinación de la Densidad aparente para el CA de Totorá*

Muestra	Densidad aparente (g/(cm <sup>3</sup> ))
Totorá 1 secado al aire libre	0.36
Totorá 2 secado en ambiente cerrado	0.38
Totorá 3 secado y compadrado	0.41
Promedio	

En la Tabla 20 se presentan las 12 muestras que se hicieron pasar por el filtro de carbón activado elaborado el fin de utilizar 4 muestras de 0.5 L es que en laboratorio nos pidió llevar 2 litros de agua filtrada para realizar los diferentes ensayos de los parámetros, se utilizó cantidades de 25gr, 50gr y 100 gr de CA de 2 tipos, el primero de partículas finas tamizado en 200 mesh, 75  $\mu\text{m}$  polvo y el segundo de partículas más granuladas tamizadas a 10 mesh partículas de 2 mm, se observa que a mayor cantidad utilizada de Carbón activado el tiempo que tarda en filtrar la muestra del líquido el tiempo de filtrado es mayo se satura por lo que disminuye la velocidad de filtración.

**Tabla 20**

*Tipo y cantidad de CA utilizado y tiempo en atravesar el filtro*

Tipo de carbón activado	Cantidad de CA	Cantidad de H <sub>2</sub> O	Tiempo en atravesar el filtro
Polvo	25 gr.	0.5 L	10 min.
Polvo	25 gr.	0.5 L	10 min.
Granulado	25 gr.	0.5 L	7 min.
Granulado	25 gr.	0.5 L	7 min.
Polvo	50 gr.	0.5 L	15min.
Polvo	50 gr.	0.5 L	15min.
Granulado	50 gr.	0.5 L	10 min.
Granulado	50 gr.	0.5 L	10 min.
Polvo	100 gr.	0.5 L	20 min.
Polvo	100 gr.	0.5 L	20 min.
Granulado	100 gr.	0.5 L	15 min.
Granulado	100 gr.	0.5 L	15 min.

Durante las últimas décadas en todo el mundo se han desarrollado nuevas alternativas y tecnologías que muestran propiedades apropiadas para reducir la contaminación ambiental a un nivel muy bajo (de Kevlar, 2007).

En Puno se puede producir Carbón Activado (CA) a escala industrial en base a la Totora no solo para remediar el agua sino para eliminar otros contaminantes que afectan al medio ambiente tal como lo realizaron diferentes autores como son: Mukosha, (2013) fabricaron CA activado de pino sudafricano (*Pinus pátula*), Junior et al. (2017) prepara y caracteriza el carbón activado a base de fibra textil de poliacrilonitrilo, así mismo otro investigador como es (D.Montenegro y MéndezC, 2021) produjeron y caracterizaron el

carbón activado a partir de rastrojos de piña, otro de los productos de CA que tuvo un gran impacto e incluso se industrializó fue el carbón activado a base de cascara de coco realizado por los investigadores Torres y Abonia, (2007), en cerro de Pasco - Perú utilizaron carbón activado en base a cascara de naranja para la adsorción de plomo realizado por (Bonilla Mansilla et al., 2019).

En Puno la empresa EMSA Puno con ayuda del municipio, gobierno regional o la ayuda del gobierno central puede implementar filtros de carbón activado obtenido de la misma Titora ya que en esta investigación se está demostrando la eliminación de contaminantes que hacen que el agua aumente su ICA y superen el ECA – 4 para agua, en otros estudio implementaron filtros con carbón activado, pero a su vez con una tecnología de ósmosis inversa que nos resultaría de mayor costo de inversión tal como lo dice: Kegel et al., (2010) en su estudio en Europa existen empresas de agua potable que se enfrentan a una presencia creciente de micro contaminantes orgánicos en sus fuentes de agua ellos propusieron una técnica de ósmosis inversa y posterior filtración con carbón activado para la eliminación de estos contaminantes. Se investigó la eficiencia de eliminación total de 47 micro contaminantes orgánicos.

#### **4.3 Agua superficial del sector Chimú tratada con carbón activado obtenido de la Titora para mejorar el Índice de Calidad del Agua**

Para este último objetivo se volvió a tomar muestras de agua del sector Chimú, pero con la diferencia que esta vez no se ingresó al lago solo se tomó muestras del mismo ducto que conduce el líquido elemento a los reservorios de EMSA Puno para su posterior tratamiento, cabe destacar que las muestras que se tomó no tenían ningún tipo de tratamiento, por otra parte el agua tomada presentaba una turbiedad muy significativa como se muestra en la Figura 9 es por esta razón que tomamos esas muestras para los posteriores pruebas y experimentos porque era un agua real que se conducía para la población de Puno, se tomaron 2 muestras cada una de 3L, la muestra 1 se analizó sin tratamiento de ningún tipo más a lo contrario la muestra 2 tiene el tratamiento con Carbón Activado en polvo obtenido de la Titora, estas 2 muestras fueron llevadas al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA Puno, en la Tabla 21 se visualiza los 14 parámetros que se analizaron en laboratorio el documento de informe de laboratorio se puede ver en el anexo 5.

**Tabla 21**

*Valores físico químicos del laboratorio de control de calidad de la facultad de Ingeniería química de la UNA Puno*

Parámetro físico químico	Unidad	Muestra 1 sin tratamiento	Muestra 2 con tratamiento con CA	Método analítico
Potencial de Hidrogeno	pH	6.16	8.67	Electrométrico
Temperatura	°C	15.2	15.2	Termómetro
Sólidos en suspensión	mg/L	50	1	Gravimétrico
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	47.58	57.99	Digestión cerrada
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	7	2	Método Res. Mét.
Aceites y grasas	mg/L	66.83	13.8	Soxlex
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	2.47	0.5	Espectrofotómetro
Fosforo	mg/L	0.62	1.5	Espectrofotómetro
Conductividad Eléctrica	µS/cm	1905	1985	Electrométrico
Materia orgánica	%	99.82	0	Por calcinación
Nitratos	mg/L	50	0	Calorimétrico
Nitritos	mg/L	14	0.5	Calorimétrico
Nitrógeno total	%	0.035	0	Micro keldal
Turbiedad	UNT	12.4	1	Disco Secchi

*Nota.* Los Valores son obtenidos del laboratorio de control de calidad de la facultad de Ingeniería Química de la UNA Puno.

En los informes que emite la Autoridad Nacional del Agua (2019) analizan 46 parámetros en 45 puntos de los 4 sectores del lago Titicaca (bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor) nosotros en nuestra investigación solo realizamos un análisis de 14 parámetros y tuvimos resultados muy distintos a los que el ANA obtiene, y lo realizamos en un solo punto como es la muestra 1 que se muestra en la Tabla 21.

Otros autores como Bolaños *et al.* (2017) analizan la concentración de sulfatos, fosfatos nitrosos y nitratos, en agua potable de los cantones de Grecia y Poás, de la provincia de Alajuela, Costa Rica. La investigación la realizan durante los meses de junio, julio y diciembre de los años 2015 a 2016. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores-alerta y máximos indicados en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, N.º 38924-S, y se establecieron las posibles causas de contaminación de origen humano, según las actividades industriales, el crecimiento demográfico y el manejo de las aguas residuales, entre otros factores que afectan las distintas zonas en estudio, este tipo de contaminantes pueden alterar la salud humana, ya que los valores encontrados están por encima de la normativa en los parámetros de concentración de nitratos, sulfatos y fosfatos, por lo que deben ser monitoreados como indicadores de contaminación. Se tiene que tener un Estandar con el cual comparar en que grado de alteración se encuentran

las aguas analizadas y el periodo de tiempo es importante se debe tener en cuenta que para un buen analisis minimo deberiamos monitorear las aguas durante todo el año.

### **Resultados del ICA de las 2 muestras llevadas al laboratorio**

De las 2 muestras llevadas al laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería química 13 de los 14 parámetros evaluados no cumplían con el ECA 4 – Agua; sin embargo, luego del tratamiento con CA de Totora hubo una mejora significativa de los 13 parámetros que no cumplían 10 mejoraron su condición quedando solo 3 que aún no cumplían con los ECA los parámetros que incrementaron sus cantidades de concentración fueron: EL pH (de 6.16 – 8.67), la DQO (de 47.58 – 57.99 mg/L) , el Fosforo ( de 0.62 – 1.5 mg/L) y la conductividad eléctrica ( de 1905 - 1985  $\mu$ S/cm) este incremento no tiene una tendencia negativa como para el caso del pH se incrementó y entró al Estándar de Calidad Ambiental para Agua. Por otra parte, los parámetros que tuvieron una reducción en sus cantidades de concentración fueron: Sólidos en suspensión (de 50 – 1 mg/L), DBO<sub>5</sub> (de 7 – 2 mg/L), Aceites y grasas (de 66.83 – 13.8 mg/L), Nitrógeno amoniacal ( de 2.47 – 0.5 mg/L), materia orgánica (de 99.82 – 0 %), nitratos (de 50 – 0 mg/L), nitritos (de 14 – 0.5 mg/L), nitrógeno total ( de 0.035 – 0 mg/L) y la turbiedad (de 12.4 – 1 UNT) todo esto gracias a la filtración del agua con carbón activado en polvo obtenido de la Totora como se observa en la Tabla 22.

**Tabla 22**

*Análisis de ICA con datos de laboratorio de la facultad de Ingeniería Química de la UNA Puno*

N°	Parámetro físico químico	Unidad	ECA Agua	Muestra 1	Muestra 2	Excedente M1	Excedente M2
1	Potencial de Hidrógeno	pH	6.5 a 9.0	6.16	8.67	0.055194805	
2	Temperatura	°C	Δ3	15.2	15.2		
3	Sólidos en suspensión	mg/L	25	50	1		
4	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	20	47.58	57.99	1.379	1.8995
5	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5	7	2	0.4	
6	Aceites y grasas	mg/L	20	66.83	13.8	2.3415	
7	Nitrógeno Amoniacal	mg/L	1.5	2.47	0.5	0.646666667	
8	Fosforo	mg/L	0.035	0.62	1.5	16.71428571	18.332
9	Conductividad Eléctrica	μS/cm	1000	1905	1985	0.905	0.985
10	Materia orgánica	%	0.1	99.82	0	997.2	
11	Nitratos	mg/L	10	50	0	4	
12	Nitritos	mg/L	1	14	0.5	13	
13	Nitrógeno total	%	0.0315	0.035	0	0.1111111111	
14	Turbiedad	UNT	5	12.4	1	1.48	
<b>Sumatoria de excedentes</b>						<b>1039.232758</b>	<b>21.2165</b>

Valor que excede el ECA – Agua

Valores excedentes

### Cálculos realizados con los datos obtenidos de laboratorio

Realizando los cálculos para determinar su ICA de las 2 muestras como se ve en la Tabla 23 pudimos calcular que la muestra N° 1 que no tenía tratamiento tuvo un ICA de calificación=MALO y la muestra N° 2 que ya había pasado el tratamiento obtuvo un ICA de calificación=BUENO mejorando su calidad, para hallar estos resultados se utilizaron las ecuaciones del 1-7, esto nos demuestra que el CA de Titora es un buen agente descontaminador y se puede usar para mejorar la calidad de nuestras aguas del lago Titicaca.

**Tabla 23**

Valor del ICA con los datos obtenidos en laboratorio de Ingeniería Química

Cálculo del ICA	M1 sin tratamiento	M2 con tratamiento con CA de Titora
Número de parámetros que no cumplen el ECA	13	3
Número total de parámetros a evaluar	14	14
Número de datos que no cumplen el ECA	13	3
Número total de datos	14	14
F1	0.92857143	0.21428571
F2	0.92857143	0.21428571
Sumatoria normalizada de excedentes	74.2309113	1.51546429
F3	98.6707592	60.2459075
ICA	62.67	79.9177768
Calificación del ICA	<b>MALO</b>	<b>BUENO</b>


 Valor de calificación del ICA

En los estudios de Rezende et al. (2019) solo se estudió cinco parámetros (cloro residual libre, color aparente, turbidez, coliformes totales y Escherichia coli), por otra parte el estudio de Almeida, (2018) solo utiliza en su monitoreo 4 parámetros llegando a conclusiones no muy contundentes. En la investigación de Miyittah et al. (2020) utilizaron 7 parámetros para evaluar el ICA de la laguna Aby en Ghana. Para Nuestro estudio utilizamos 14 parámetros de los 17 que nos recomiendan hacer la razón que tuvimos para utilizar solo 14 parámetros es que nos fijamos que en los otros parámetros como: Cadmio, Mercurio y Plomo no presentan alteraciones en ninguna parte de los 4 sectores estudiados y la segunda razón fue de que el laboratorio de la facultad de química de la UNA Puno solo tiene 13 parámetros para estudiar y aumentamos un parámetro como es el de turbidez midiendo de forma personal en los 4 lugares del lago.

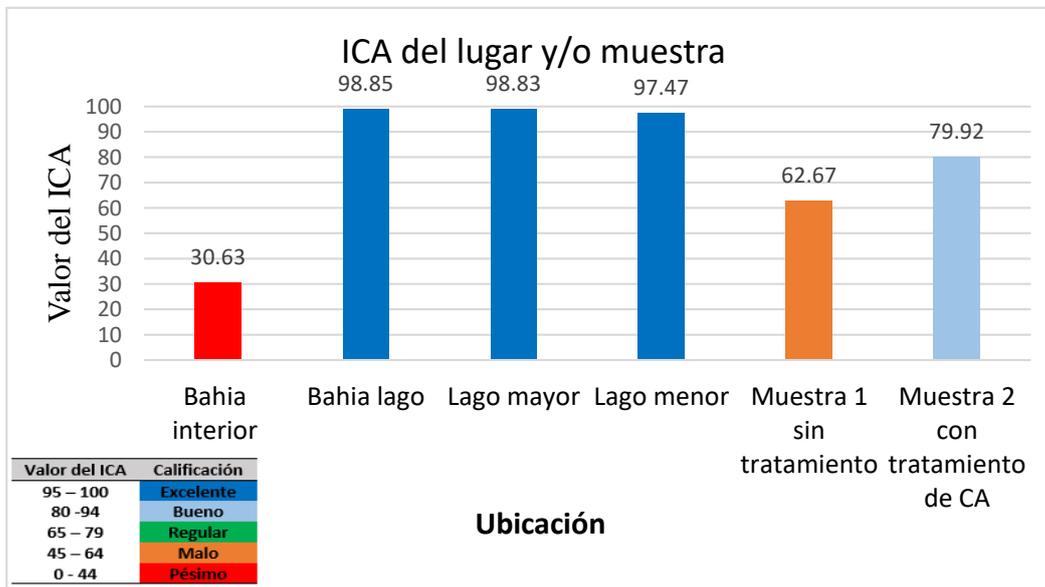
El WQI CCME convencional ignora las incertidumbres en el medio acuático, lo que puede provocar sesgos y cambios abruptos en los resultados de la evaluación. Para superar esta deficiencia, este estudio mejora el cálculo de CCME WQI utilizando el método de grado relacional gris trapezoidal, un modelo que trata las incertidumbres introducidas por información incompleta. Comparado con el CCME WQI convencional, el CCME WQI gris tiene un método de cálculo más estricto en la evaluación sintética y una mejor capacidad en la advertencia de la calidad del agua. Se evalúa la calidad del agua del Canal New Tongyang y el resultado muestra que su entorno se deteriora con el aumento de las precipitaciones y mejora con la disminución de las precipitaciones. Para disminuir su riesgo ambiental (Yan et al., 2016). Nuestra investigación confía en el método WQI CCME por su fácil manejo y libre disponibilidad para cualquier investigador.

#### **Valores del ICA en los 4 sectores del lago Titicaca**

En la Figura 15 se observa que los sectores bahía lago, lago mayor y lago menor tienen un ICA con calificación excelente (puntuación 98.85, 98.83 y 97.47 respectivamente), pero en la bahía interior del lago se tiene una calificación de pésimo con una puntuación de 30.63 reflejando que estas aguas son muy contaminadas, por otra parte las muestras que se tomaron de forma personal, la muestra 1 sin ningún tipo de tratamiento presenta un ICA de 62.67 que lo coloca en una calificación de malo y luego del tratamiento (filtración) con CA de Totora en polvo esta misma agua (muestra 2) pudimos mejorar su ICA dándole un valor de 79.92 que lo pone en la posición de bueno

**Figura 15**

*Valores del ICA de los 4 sectores del lago Titicaca y 2 muestras de agua analizadas particularmente*



Los resultados que obtuvieron Wu et al. (2017) respecto a las condiciones de calidad del agua. De acuerdo con el método WQI, la calidad general del agua en el lago Poyang fue "moderada" y el valor medio estuvo cerca del umbral "bueno". Estos resultados indicaron que la calidad del agua del lago Poyang aún cumplía con los requisitos de agua potable de China durante el período de estudio, pero que se estaba deteriorando a escala interanual y variaba estacionalmente, es por tal sentido que los monitoreos de ICA se deben realizar de forma permanente.

Es de mucha responsabilidad de las autoridades tener un agua de buena calidad para su posterior potabilización y consumo humano, las aguas naturales tienden a tener mucha Materia Orgánica Natural (MON) es un indicador que el agua tiene vida, pero el problema es cuando se clorifica, este líquido reacciona y produce los Trihalometanos. Dudamel y Rivero (2015) tuvieron la visión de evaluar el proceso de adsorción, como mecanismo para la reducción de la MON del agua que causa la presencia de subproductos de cloración como los Trihalometanos en el agua destinada al consumo humano. Los Trihalometanos son agentes cancerígenos y atacan a la vejiga (Villanueva et al., 2001).

## CONCLUSIONES

- En la presente investigación se determina que el Índice de Calidad del Agua (ICA) de la bahía del lago Titicaca y específicamente en el sector Chimu se califica con un ICA=EXCELENTE y está dentro de los parámetros para su posterior uso de potabilización y consumo humano evaluando 17 parámetros físicos, químicos y biológicos como lo indica la metodología WQI- CCME, la zona llamado lago mayor del lago tiene un ICA=EXCELENTE, al lago menor del lago se lo atribuye un ICA=EXCELENTE, por otra parte la zona de la bahía interior del lago que está próximo a la ciudad de Puno califica con un ICA=MALO este es el único sector del lago donde presenta esta calificación y no estaría apta para ningún tipo de uso (agrícola, ganadero, potabilización y otros). Estos resultados nos permiten rechazar nuestra hipótesis planteada ya que el ICA obtenido es de excelentes condiciones y esta apta para el uso de cualquier tipo.
- Se experimentó que la Totora posee las características necesarias para poder obtener de esta materia prima el Carbón Activado (CA) con activación química con y así ser considerado como material absorbente para realizar la absorción de agentes contaminantes, su alta disponibilidad y su bajo costo lo hacen muy factible para las investigaciones, el carbón activado que se obtuvo tiene una gran porosidad para atrapar agentes o microorganismos, se trabajó con dos tipos de CA, uno granulado (tamizado con 10 mesh partículas de 2mm) y CA en polvo (tamizado con 200 mesh partículas de 75µm) siendo este último el más eficiente en cuanto a filtrado y tiempo, estos indicadores nos demuestran que si es posible obtener carbón activado de la Totora mediante la activación química con Ácido Sulfúrico.
- Las dos muestras de agua (c/u 3 L) que se tomaron por parte del investigador in situ y fueron llevados al laboratorio de la UNA Puno FIQ donde analizaron 14 parámetros, la primera muestra sin ningún tipo de tratamiento califica con un ICA=MALO y la segunda muestra con tratamiento CA en polvo califica con un ICA=BUENO esto nos demostró que si es posible elevar el Índice de Calidad de Agua de nuestro lago Titicaca en el sector Chimu y su posterior potabilización y consumo humano.

## RECOMENDACIONES

- Se deben realizar trabajos de muestreo del Índice de Calidad del Agua (ICA) en diferentes periodos del año para poder estimar con más certeza el ICA correspondiente en especial en los lugares donde el líquido elemento es captado para su posterior potabilización ya sean: ríos, lagos, lagunas u otros sitios, porque la mala calidad del agua puede causar enfermedades que a la larga puede afectar la salud de los seres humanos.
- Realizar nuevas investigaciones para la obtención de Carbón Activado (CA) de Totora con diferentes activadores químicos o físicos y así poder comparar la eficiencia de este material, es de conocimiento que la Totora es de fácil acceso y su posible industrialización como CA es posible con nuevos experimentos, realizar pruebas de adsorción con otros tipos de carbón activado comercial o extraídos de otras materias primas existentes en la región como el Ichu (*Stipa Ichu*), troncos de la quinua (*Chenopodium quinoa Willdeno*), la Thola (*Parastrephia quadrangularis*) y otros que existen en abundancia en nuestro altiplano de Puno para evaluar las isothermas y compararlas con la Totora, en la parte de lavado recomendamos analizar las soluciones para poder recuperar el agente activante Ácido Sulfúrico para poder reutilizarlo.
- Para un mejor hallazgo del ICA se deben realizar más pruebas de agua en laboratorio y en diferentes puntos de muestreo aledaños al lugar de estudio tanto en su etapa sin tratamiento (filtrado con CA en polvo) y la etapa luego del filtrado con (CA en polvo) en la presente investigación solo se hizo 2 pruebas uno antes del filtrado y el otro después, sabemos que los costos de las pruebas de laboratorio son altos, pero se puede buscar financiamientos de empresas o municipalidades que puedan costear dichos análisis.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, S., Giraldo, L., & Carlos Moreno-Piraján, J. (2017). Caracterización de carbones activados modificados con agentes quelantes para la adsorción de metales tóxicos en solución acuosa. *Afinidad LXXIV*, 578(June), 101–107. <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/326510>
- Aguirre, M. R., Vanegas, E. A., & García, N. (2016). Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(2), 39–43. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542016000200006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542016000200006)
- Akter, T., Jhohura, F. T., Akter, F., Chowdhury, T. R., Mistry, S. K., Dey, D., Barua, M. K., Islam, M. A., & Rahman, M. (2016). Water Quality Index for measuring drinking water quality in rural Bangladesh: A crosssectional study. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 35(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s41043-016-0041-5>
- Alsayednasser, B., Widnall, E., Mahen, H. O., Wright, K., Warren, F., Ladwa, A., Khazanov, G. K., Byford, S., Kuyken, W., Watkins, E., Ekers, D., Reed, N., Fletcher, E., Mcmillian, D., Farrand, P., & Dunn, B. D. (2022). Caracterización del comportamiento térmico, resistencia mecánica y reacción al fuego de los paneles de totora (*Schoenoplectus tatora*) y su potencial uso como material de construcción sustentable. *Behaviour Research and Therapy*, 104185. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.105984>
- Alvarez, A., Panta, E. R., Reyes, F. G., José, J., Cabañero, A., Acosta, E. H., Ayala, C. R., Saenz, E. M., Salcedo, F. P., Nicolas, E. N., & Sosa, E. S. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac , Hidalgo , México : Diagnóstico y Predicción. *Revista Internacional de Botanica Experimental*, 72–83. <http://www.scielo.org.ar/pdf/phyton/v75/v75a07.pdf>
- ANA. (2018). Metodología para la determinación del Índice de Calidad de Agua de los Recursos Hídricos Superficiales en el Perú (ICA-PE). *Ediciones ANA*, 44. [http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/propuesta\\_metodologia\\_ica-pe.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/propuesta_metodologia_ica-pe.pdf)

- ANA. (2020). Índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARHS). *Autoridad Nacional Del Agua - ANA*, 15. [https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4479/ANA0002895\\_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4479/ANA0002895_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Arguijo-Portillo, N. V., Guerrero-Peña, A., Domínguez-Rodríguez, V. I., Carrillo-Ávila, E., & Zavala-Cruz, J. (2019). Calibration models for the spectrophotometric quantification of total oil hydrocarbons in soil. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 35(2), 469–479. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.02.17>
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Resultados Del Monitoreo Binacional De La Calidad Del Agua Del Lago Titicaca* (pp. 1–172). <https://www.ana.gob.pe/noticia/autoridad-nacional-del-agua-difunde-resultados-del-monitoreo-binacional-de-la-calidad-del>
- Bastidas, M., Buelvas, L. M., Márquez, M. I., & Rodríguez, K. (2010). Activated carbon production from carbonaceous precursors of the Department of Cesar, Colombia. *Informacion Tecnologica*, 21(3), 87–96. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4289it.09>
- Beltrán Farfán, D. F., Palomino Calli, R. P., Moreno Terrazas, E. G., Peralta, C. G., Montesinos-Tubée, D. B., para correspondencia, A., Científica, N., Farfán, B. D., Palomino Calli, R., Moreno Terrazas, E., & Peralta, C. (2015). Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011. *Revista Peruana de Biología*, 22(223), 335–340. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v22i3.11440>
- Bernardis, A. C., Fernandez, J. A., Céspedes Flores, F., Goldfarb, M. C., & Casco, J. F. (2008). Efecto de la quema prescrita de un pastizal sobre el balance de CO<sub>2</sub>. *Agrotecnia*, 18(18), 11. <https://doi.org/10.30972/agr.018401>
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología En Marcha*, 30(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>

- Bonilla Mansilla, H. D., Tejada Tovar, C., & Del Pino Moreyra, J. (2019). Obtención De Isotermas De Adsorción Del Plomo (Ii) Del Efluente Minero Río Anticona-Cerro De Pasco Utilizando El Carbón Activado De Cáscara De Naranja. *Ciencia & Desarrollo*, 16(21), 29–36. <https://doi.org/10.33326/26176033.2017.21.727>
- Cabrera Molina, E., Hernández Garciadiego, L., Gómez Ruíz, H., & Cañizares Macías, M. D. P. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de La Sociedad Química de México*, 47(1), 88–92. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/475/47547114.pdf>
- Cacciola, G., Restuccia, G., & Mercadante, L. (1995). Composición de carbón activado para maquinas de adsorción de refrigeración. *Carbon*, 33(9), 1205–1210. [https://doi.org/10.1016/0008-6223\(95\)00051-E](https://doi.org/10.1016/0008-6223(95)00051-E)
- Carranco, María Elena; Castillo, Rosa María; Escamilla, Adelina; Martínez, Marisol; Pérez-Gil, F.; Stephan, E. (2018). *Composicion química , extracción de proteína foliar y perfil de aminoácidos de siete plantas acuáticas. November*. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193018103009.pdf>
- Carrillo Quijano, C. C., Albarracin Caballero, J., & Pereira Hernandez, X. (2013). Producción de carbón activado y sílice a partir de cascarilla de arroz - una revisión. *Scientia et Technica*, 18, 422–429. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84929153019.pdf>
- CCME. (2017). CCME Indice de calidad de agua, Manual del usuario 2017. *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*, 1–5. [http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI User's Manual \(en\).pdf](http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI%20User's%20Manual%20(en).pdf)
- Chen, Y., Zhu, Y., Wang, Z., Li, Y., Wang, L., Ding, L., Gao, X., Ma, Y., & Guo, Y. (2011). Estudios de aplicación de carbón activado derivado de cascarilla de arroz producido por proceso químico térmico una revisión. *Advances in Colloid and Interface Science*, 163(1), 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2011.01.006>
- Coello, J. R., Ormaza, R. M., Recalde, C. G., & Rios, A. C. (2015). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador. *Revista Del Instituto de*

- Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica*, 16(31), 66–71.  
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11281/10118>
- Collot, D. (1980). Les macrophytes de quelques lacs andins (lac Titicaca, lac Poopo, lacs des vales d'Hichu Kkota et d'Ovejhujo). *O.R.S.T.O.M.*, 115.  
<http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:00655>
- D.Montenegro, & MéndezC, \* N. Monteroara hernandezbJ. (2021). Producción y caracterización de carbón activado a partir de rastrojos de piña para la eliminación de azul de metileno y tensoactivos. *Revista de Investigación y Tecnología Aplicadas*. [https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.14482/INDES.30.1.303.661](https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.14482/INDES.30.1.303.661)
- De la Torre Ostos, J., Echevarría Flores, D., Álvarez Bautista, J., & Barreda Gutiérrez, N. (2017). Remoción de Cromo total en agua, usando carbón mineral activado con radiación de microondas. *Industrial Data*, 20(2), 43.  
<https://doi.org/10.15381/idata.v20i2.13947>
- de Rosemond, S., Duro, D. C., & Dubé, M. (2009). Comparative analysis of regional water quality in Canada using the Water Quality Index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 156(1–4), 223–240. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0480-6>
- Dejoux, C. Iltis, A. (1991). El lago Titicaca: Sintesis del conocimiento limnologico actual. *Historia y Vida*, 232, 42–51. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers08-10/36603.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-10/36603.pdf)
- Dias, J. M., Alvim-Ferraz, M. C. M., Almeida, M. F., Rivera-Utrilla, J., & Sánchez-Polo, M. (2007). Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 85(4), 833–846. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.07.031>
- do Amaral Junior, M. A., Matsushima, J. T., Rezende, M. C., Gonçalves, E. S., Marcuzzo, J. S., & Baldan, M. R. (2017). Production and characterization of activated carbon fiber from textile PAN Fiber. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 9(4), 423–430. <https://doi.org/10.5028/jatm.v9i4.831>
- Dudamel D., W. J., & Rivero de Cinelli, T. M. (2015). Adsorción de la materia orgánica

natural del agua para reducir la formación de trihalometanos. *Revista Digital de Investigación y Postgrado*, ISSN-e 2244-7393, Vol. 5, N°. 3, 2015 (Ejemplar Dedicado a: V Jornadas), 5(3), 1.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5329323&info=resumen&idoma=SPA%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5329323>

Fernando torres, Y. gallo, & Abonia, D. M. (2007). Obtencion de carbon activado a partir de la cascara de coco. *ContactoS*.  
<https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/7562/TESIS%20-%20FAJARDO%20SANCHEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ganjoo, R., Sharma, S., Kumar, A., & Daouda, M. M. A. (2023). Activated Carbon: Fundamentals, Classification, and Properties. *Activated Carbon*, May, 1–22.  
<https://doi.org/10.1039/bk9781839169861-00001>

Gilmour, C., Bell, T., Soren, A., Riedel, G., Riedel, G., Kopec, D., Bodaly, D., & Ghosh, U. (2018). Activated carbon thin-layer placement as an in situ mercury remediation tool in a Penobscot River salt marsh. *Science of the Total Environment*, 621, 839–848. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.050>

Guilcamaigua Anchatuña, D. X., Quintero Quiñonez, N., Jiménez Cercado, M. E., & Muñoz Naranjo, D. (2019). Absorción de aceites y grasas en aguas residuales de lavadoras y lubricadoras de vehículos utilizando absorbentes naturales. *3C Tecnología\_Glosas de Innovación Aplicadas a La Pyme*, 8(3), 12–23.  
<https://doi.org/10.17993/3ctecno/2019.v8n3e31.12-23>

Hernandez, L. A., Gutiérrez, D. A., Jiménez de Blas, O., Santiago, M., & Manzano, B. D. M. (1998). Estudio de los Niveles de Pb, Cd, Zinc y As, en aguas de la provincia de Salamanca. *Revista Española, Salud Pública*, 72(1), 53–65.  
[https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-57271998000100007](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57271998000100007)

Hidalgo-Cordero, J. F., & García-Navarro, J. (2018). Totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják) y su potencial como material de construcción. *Industrial Crops and Products*, 112(January), 467–480.  
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.029>

- Huanca, I. Y. (2012). Análisis y propuesta del modelo de gestión del lago Titicaca. *Universidad Internacional de Andalucía*, 83. <https://dspace.unia.es/handle/10334/1702>
- Israel, & Quintanilla, J. (2013). Índice de calidad del agua en la cuenca del lago Poopó - uru uru aplicando herramientas SIG. *Revista Boliviana de Química*, 30(1), 91–101. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-54602013000100013&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602013000100013&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Jimenez Lopez, F. (2008). *La sexta extinción* (2008 Editorial Planeta S.A (Ed.)). [https://www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/Situación del Mundo/2012/Biodiversidad\\_combatir\\_la\\_sexta\\_extincion\\_masiva\\_B.\\_Normander.pdf](https://www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/Situación%20del%20Mundo/2012/Biodiversidad_combatir_la_sexta_extincion_masiva_B._Normander.pdf)
- Joanes, R., & Almeida, G. S. De. (2018). *Aplicación del índice WQI-CCME con agregación de datos por campaña de monitoreo y por tramo del río : estudio de caso-*. <https://cmad.ama.cu/index.php/cmاد/article/view/141>
- Jorge, Q., & Daza Pelaez, C. (2014). Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos e hidrobiológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca. *Institut de Recherche Pour Le Developpement*, 252–263. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers14-09/010062838.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers14-09/010062838.pdf)
- José, L., León, G., & Mónica, M. (2016). *Comparison With Commercial Carbons*. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08327823.1999.11688398>
- Lim, W. C., Srinivasakannan, C., & Balasubramanian, N. (2010). Activation of palm shells by phosphoric acid impregnation for high yielding activated carbon. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 88(2), 181–186. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2010.04.004>
- Loza, A. (2020). *Productividad primaria, desarrollo fenológico y valor nutricional de la totora Schoenoplectus tatora (Kunth) Palla en hábitats perturbados por quema - lago Titicaca*. <http://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16844>
- Marselina, M., Wibowo, F., & Mushfiroh, A. (2022). Water quality index assessment methods for surface water: A case study of the Citarum River in Indonesia.

*Heliyon*, 8(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09848>

Mateos, et al. (2016). *Eliminación de cobre en aguas residuales mediante sistemas bioelectroquímicos*.

<https://www.aguasresiduales.info/revista/articulos/eliminacion-de-cobre-en-aguas-residuales-mediante-sistemas-bioelectroquimicos>

Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338, 1 (2009). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N°-29338.pdf>

MINAM. (2017). Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. *El Peruano*, 6–9. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

MITECO. (2000). Libro blanco del agua en España. In *Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente*. [http://www.cedex.es/CEDEX/LANG\\_CASTELLANO/ORGANISMO/CENTYLAB/CEH/Documentos\\_Descargas/LB\\_LibroBlancoAgua.htm](http://www.cedex.es/CEDEX/LANG_CASTELLANO/ORGANISMO/CENTYLAB/CEH/Documentos_Descargas/LB_LibroBlancoAgua.htm)

Miyittah, M. K., Tulashie, S. K., Tsyawo, F. W., Sarfo, J. K., & Darko, A. A. (2020). Assessment of surface water quality status of the Aby Lagoon System in the Western Region of Ghana. *Heliyon*, 6(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04466>

Moreau, S., & Le Toan, T. (2003). Biomass quantification of Andean wetland forages using ERS satellite SAR data for optimizing livestock management. *Remote Sensing of Environment*, 84(4), 477–492. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00111-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00111-6)

Mukosha, L. (2013). (*Pinus pátula*) *Aserrín : Caracterización y Adsorción comparativa de fenol*. 27(0), 546–556. <https://www.redalyc.org/journal/3420/342068240006/html/>

Navarro Santos, D., Cruz Cerro, G., Rimaycuna Ramírez, J., Solís, J. L., Keiski, R., & Gómez, m. m. (2016). Adsorción de azul de metileno en medio acuoso empleando carbones activados y carbones activados modificados con nanopartículas de zno. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 82(1), 61–71.

<https://doi.org/10.37761/rsqp.v82i1.52>

- Neill, R. (2007). California bulrush, *Schoenoplectus californicus*. *Plant Fact Sheet*, 2. [https://plants.usda.gov/DocumentLibrary/factsheet/pdf/fs\\_scca11.pdf](https://plants.usda.gov/DocumentLibrary/factsheet/pdf/fs_scca11.pdf)
- Nong, X., Shao, D., Zhong, H., & Liang, J. (2020). Evaluation of water quality in the South-to-North Water Diversion Project of China using the water quality index (WQI) method. *Water Research*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115781>
- Obregón Valencia, D., Ilse Acostaa, I. D., & Sun Kou, R. (2020). REMOCIÓN DE MERCURIO EMPLEANDO CARBÓN ACTIVADO PREPARADO A PARTIR DE AGUAJE (*Mauritia flexuosa*). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 86(1), 70–87. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i1.274>
- Ocampo-Duque, W., Osorio, C., Piamba, C., Schuhmacher, M., & Domingo, J. L. (2013). Water quality analysis in rivers with non-parametric probability distributions and fuzzy inference systems: Application to the Cauca River, Colombia. *Environment International*, 52, 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.11.007>
- Oliveira, K. L. De, Ramos, R. L., Oliveira, S. C., & Christofaro, C. (2021). Índice de calidad del agua y perspectiva espacio-temporal de una gran reserva de agua brasileña Karla Lorrane de Oliveira, Ramatisa Ladeia Ramos, Sílvia Corrêa Oliveira y Cristiano Christofaro. *Federal University of Minas Gerai*, 971–982. <https://iwaponline.com/ws/article/21/3/971/79156/Water-quality-index-and-spatio-temporal>
- Orellana Gavidia, S. (2023). Compartiendo El Agua: Conflictos (Micro) Políticos En El Acceso Y Distribución Del Agua -- El Caso De La Isla De Amantaní, Lago Titicaca, Perú. *Livros, El Derecho al agua*, 145–163. <https://doi.org/10.38116/9786556350486cap5>
- Padilha, P. M., Maria, A., & Silva, M. (1997). *Eclética Química*. 22. <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2020/02/od-dbo-dqo-poluicao-botucatu-sp.pdf>
- PELT. (1997). *Conducción, tratamiento y manejo integral de las aguas servidas - ciudad de Puno (Sistema Salcedo - Cancharani)*.

<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2020/02/od-dbo-dqo-poluicao-botucatu-sp.pdf>

- Pérez, H., Luccini, E., Herrera, L., Parodi, M., Matar, M., Barrea, L., Mechni, M., & Masramón, E. (2015). Cuantificación de la captura de CO<sub>2</sub> por la flora nativa de totora en un humedal costero en Perú. *Energeia*, 13(13), 73–80. [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_All\\_Topics.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf)
- Pérez Petitón, J., López Seijas, T., Hernández Cuello, G., & González Robaina, F. (2009). Modelo matemático para determinar la calidad del agua en dos puntos del arroyo Guachinango. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(3), 19–23. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215944004>
- Portillo, A., Reyes, V., Rodrigo, L., Aguilar, G., & Guadalupe, Á. (2015). *Humedales*. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/9655/09HUMEDALESB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quiñones Huatangari, L., Ochoa Toledo, L., Kemper Valverde, N., Gamarra Torres, O., Bazán Correa, J., & Delgado Soto, J. (2020). Red neuronal artificial para estimar un índice de calidad de agua. *Enfoque UTE*, 11(2), 109–120. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n2.633>
- Quiroz Castelán, Mora Zúñiga, I. M., & Astudillo, y G. R. (2004). *Variación de los Organismos Fitoplanctónicos y la Calidad del Agua en el Lago de Chapala, Jalisco, México*. <https://www.redalyc.org/pdf/416/41614105.pdf>
- Rezende Azevedo, C., De Jesus Lima, A., & De Gois Santos, D. C. (2019). Aplicación de la IQA-CCME en el suministro de agua en la sede de la municipio de Itabaiana / SE. *XII Encuentro de Recursos Hídricos En Sergipe*, 0–4. <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/100/ENREHSE0054-1-20190228-185550.pdf>
- Roque, D. Q., & Aravena, C. (2021). Interacción con la Reserva Nacional del Titicaca y percepción de la problemática ambiental. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 22(1), 35–58. <https://doi.org/10.7201/EARN.2021.01.02>
- Sabio, F. R. R. y M. M. (2019). *El carbón activado en procesos de descontaminación*. 4.

[http://www.elaguapotable.com/El\\_carbon\\_activo\\_en\\_procesos\\_de\\_descontaminacion.pdf](http://www.elaguapotable.com/El_carbon_activo_en_procesos_de_descontaminacion.pdf)

Samudio Oggero, A., Nakayama, H., Avalos, C. R., Cantero, I., Benitez, J. V., Ayala, J., Elkhali, R., & Peralta, I. (2021). Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por *Typha domingensis*. *Revista de La Sociedad Científica Del Paraguay*, 26(2), 100–113. <https://doi.org/10.32480/rscp.2021.26.2.100>

Schoonenberg Kegel, F., Rietman, B. M., & Verliefe, A. R. D. (2010). Reverse osmosis followed by activated carbon filtration for efficient removal of organic micropollutants from river bank filtrate. *Water Science and Technology*, 61(10), 2603–2610. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.166>

SERNANP. (2020). *Plan Maestro de la Reserva Nacional del Titicaca 2021 - 2025*. 2, 1–75. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per206905anx.pdf>

Shuh, G., Chen, Y., & Lin, T. (2007). Evaluación del riesgo de cáncer de los trihalometanos en el agua potable. *Science of the Total Environment*, 387, 86–95. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.07.029>

T, L. O., & Milla-pine, M. E. (2014). Índice de calidad del agua usando lógica difusa Río Utcubamba , Perú. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 37(1), 6–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.22267/rcia.203701.124>

UNESCO-WWAP. (2003). Agua para todos, agua para la vida. *United Nations*, 36. <http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>

UNESCO. (2021). El valor del agua - Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. In *Ecología Política* (Vol. 26, Issue 19). <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/es/node/24>

Van Auken, O. W. (2009). Causes and consequences of woody plant encroachment into western North American grasslands. *Journal of Environmental Management*, 90(10), 2931–2942. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.04.023>

Vélez Azañero, A. S. L., & Torres, K. C. (2016). *En La Cuenca Baja Del Río Lurín , Lima , Perú Phytoplankton Diversity As an Indicator of Water Quality in*. 70–79.

<http://www.redalyc.org/pdf/341/34149036002.pdf>

- Villanueva, C. M., Kogevinas, M., & Grimalt, J. O. (2001). Cloración del agua potable en España y cáncer de vejiga. *Gaceta Sanitaria*, 15(1), 48–53. [https://doi.org/10.1016/s0213-9111\(01\)71517-8](https://doi.org/10.1016/s0213-9111(01)71517-8)
- Wong, H., & Hu, B. Q. (2013). Aplicación del enfoque de agrupamiento de intervalos para la evaluación de la calidad del agua. *Journal of Hydrology*, 491(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.03.009>
- Wu, Z., Zhang, D., Cai, Y., Wang, X., Zhang, L., & Chen, Y. (2017). Water quality assessment based on the water quality index method in Lake Poyang: The largest freshwater lake in China. *Scientific Reports*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18285-y>
- Yan, F., Qiao, D., Qian, B., Ma, L., Xing, X., Zhang, Y., & Wang, X. (2016a). Improvement of CCME WQI using grey relational method. *Journal of Hydrology*, 543, 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.10.007>
- Yan, F., Qiao, D., Qian, B., Ma, L., Xing, X., Zhang, Y., & Wang, X. (2016b). Improvement of CCME WQI using grey relational method. *Journal of Hydrology*, 543, 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.10.007>
- Yusuf Sukman, J. (2017). Utilização do índice de qualidade da água (iqa-ccme) para verificação de conformidade ao enquadramento no ribeirão são joão em porto nacional - to. *Universidade federal do tocantins pró-reitoria de pós-graduação e pesquisa programa de pós-graduação em engenharia ambiental*, 4, 9–15. <http://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/746/1/Aurean%20de%20Paula%20Carvalho%20-%20Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>
- Zavala-Rivera, C., Dueñas Gonza, A. P., Huarachi Olivera, R. E., Yapo Pari, U. A., Mendoza-Puertas, R., Lázaro-Puma, R., & Bocardo-Delgado, E. (2015). Remoción anaerobia del colorante azul directo brl en Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) con carbón activado. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(2), 55–64. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n2.54276>
- Zhu, J., Hu, H., Tao, S., Chi, X., Li, P., Jiang, L., Ji, C., Zhu, J., Tang, Z., Pan, Y., Birdsey,



R. A., He, X., & Fang, J. (2017). Carbon stocks and changes of dead organic matter in China's forests. *Nature Communications*, 8(1), 1–10.  
<https://doi.org/10.1038/s41467-017-00207-1>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Pregunta general	Hipótesis general	Objetivo general	VARIABLES	Métodos	Prueba estadística
¿Cómo se podrá incrementar el índice de calidad del agua superficial en el sector Chimú del lago Titicaca con el tratamiento con carbón activado obtenido de la Totora ( <i>Schoenoplectus californicus</i> )?	El índice de la calidad del agua superficial en el sector Chimú del lago Titicaca incrementa su calidad con el tratamiento con carbón activado obtenido de la Totora ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ).	Evaluar en qué medida se incrementa el índice de la calidad del agua superficial en el sector Chimú del lago Titicaca con el tratamiento con carbón activado obtenido de la Totora ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ).	VI: Tratamiento con carbón activado de Totora  VD: Índice de la calidad del agua	Metodología en base a las normas peruanas.	Se realizará pruebas estadísticas
<b>Preguntas específicas</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Objetivos específicos</b>			
-¿Cuánto es el índice de calidad del agua superficial del sector Chimú del lago Titicaca respecto a la calidad de agua de otras áreas del lago?	-El índice de la calidad del agua superficial del sector Chimú del lago Titicaca no está dentro de los estándares de calidad de agua para consumo humano respecto a otras áreas del mismo lago.	-Estimar el índice de la calidad del agua superficial del sector Chimú del lago Titicaca en el año 2023 respecto a otras áreas del lago.	VI: Resultado de los monitoreos de las aguas del lago Titicaca. VD: Índice de la calidad del agua		Se realizará pruebas estadísticas T de student
-¿La activación química permitirá obtener carbón activado a partir de la totora ( <i>Schoenoplectus californicus</i> )?	-Se obtiene carbón activado a partir del tratamiento de la Totora ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ) mediante activación química.	-Realizar un proceso de obtención de carbón activado a partir del tratamiento de la Totora ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ) mediante activación química.	VI: Tratamiento de la Totora VD: Carbón activado		
-¿En qué medida el Carbón activado de totorá mejorará el índice de calidad de agua superficial del sector Chimú del lago Titicaca?	-El tratamiento del agua superficial de Chimú con carbón activado obtenido de la Totora ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ), mejora el índice de la calidad del agua.	-Tratar el agua superficial del sector Chimú con carbón activado obtenido de la Totora ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ) para mejorar el índice de calidad del agua.	VI: Carbón activado como descontaminador VD: Índice de calidad del agua		

## Anexo 2. D.S. N° 004 - 20147 ECA - Agua

10	NORMAS LEGALES	Miércoles 7 de junio de 2017 / El Peruano
<b>Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias</b>	publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;	
<b>DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM</b>	De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;	
EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA	DECRETA:	
CONSIDERANDO:	<b>Artículo 1.- Objeto de la norma</b>	
Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;	La presente norma tiene por objeto cumplir las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.	
Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;	<b>Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua</b>	
Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;	Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.	
Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;	<b>Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua</b>	
Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;	Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:	
Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;	<b>3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional</b>	
Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;	<b>a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable</b>	
Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;	Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:	
Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas,	<b>- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección</b>	
	Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.	
	<b>- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional</b>	
	Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.	
	<b>- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado</b>	
	Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro	

### Anexo 3. Estándares de calidad ambiental para agua categoría 4 para lagos (ECA 4)

18 **NORMAS LEGALES** Miércoles 7 de junio de 2017 / El Peruano

**Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<b>BTEX</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Bifenilos Policlorados</b>						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
<b>PLAGUICIDAS</b>						
<b>Organofosforados</b>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
<b>Organoclorados</b>						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrín	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

El Peruano / Miércoles 7 de junio de 2017		NORMAS LEGALES				19
Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Carbamato</b>						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ( $\text{NO}_3^-$ -N), multiplicar el resultado por el factor 4,43 para expresarlo en las unidades de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 5:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de  $\text{NH}_3$ ) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

(2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de  $\text{NH}_3$ ).

#### Anexo 4. ANOVA de los 17 parámetros analizados

Factor Aceites y grasas : 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor				
Hipótesis		Respuesta		
-Hipótesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipótesis alterna		-No todas las medias son iguales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
Análisis de varianza				
Fuente	GL	SC Ajust.	Valor F	Valor P
Aceites y grasas	3	3.328	5.25	0.004
Error	41	8.660		
Total	44	11.988		

ANOVA de un solo factor parámetro Clorofila de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

Factor Clorofila: 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor				
METODO		Respuesta		
-Hipótesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipótesis alterna		-No todas las medias son iguales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
Análisis de varianza				
Fuente	GL	SC Ajust.	Valor F	Valor P
Clorofila	3	0.021777	41.88	0.000
Error	41	0.007106		
Total	44	0.028883		

ANOVA de un solo factor parámetro: DBO5 de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

<b>Factor DBO5: 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor</b>				
<b>METODO</b>		<b>Respuesta</b>		
-Hipótesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipótesis alterna		-No todas las medias son iguales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
<b>Análisis de varianza</b>				
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
DBO5	3	27.32	5.77	0.002
Error	41	64.71		
Total	44	92.03		

ANOVA de un solo factor parámetro: Fosforo total de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

<b>Factor Fosforo total: 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor</b>				
<b>METODO</b>		<b>Respuesta</b>		
-Hipótesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipótesis alterna		-No todas las medias son iguales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
<b>Análisis de varianza</b>				
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Fosforo Total	3	2.57627	910.30	0.000
Error	41	0.03868		
Total	44	2.61495		

ANOVA de un solo factor parámetro: Nitratos de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

<b>Factor Nitratos: 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor</b>				
<b>METODO</b>		<b>Respuesta</b>		
-Hipótesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipótesis alterna		-No todas las medias son iguales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
<b>Análisis de varianza</b>				
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Nitratos	3	0.04924	1.79	0.165
Error	41	0.02755		
Total	44			

ANOVA de un solo factor parámetro: Oxígeno Disuelto de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

<b>Factor Oxígeno Disuelto: 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor</b>				
<b>METODO</b>		<b>Respuesta</b>		
-Hipótesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipótesis alterna		-No todas las medias son iguales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
<b>Análisis de varianza</b>				
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Oxígeno Disuelto	3	3.805	0.81	0.495
Error	41	64.108		
Total	44	67.913		

ANOVA de un solo factor parámetro: Potencial de Hidrogeno (pH) de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

<b>Factor pH: 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor</b>				
<b>METODO</b>		<b>Respuesta</b>		
-Hipótesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipótesis alterna		-No todas las medias son iguales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
<b>Análisis de varianza</b>				
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
pH Total	3	0.197679	31.33	0.000
Error	41	0.006309		
Total	44			

ANOVA de un solo factor parámetro: Arsénico de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

<b>Factor Arsénico: 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor</b>				
<b>METODO</b>		<b>Respuesta</b>		
-Hipótesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipótesis alterna		-No todas las medias son iguales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
<b>Análisis de varianza</b>				
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Arsénico	3	0.001900	2.46	0.076
Error	41	0.010538		
Total	44	0.012437		

ANOVA de un solo factor parámetro: Cadmio de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

<b>Factor Cadmio: 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor</b>	
<b>METODO</b>	<b>Respuesta</b>
-Hipótesis nula	- Todas las medias son iguales

-Hipótesis alterna		-No todas las medias son iguales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
Análisis de varianza				
Fuente	GL	SC Ajust.	Valor F	Valor P
Cadmio	3	0.0000	1.92	0.141
Error	41	0.0000		
Total	44	0.0000		

ANOVA de un solo factor parámetro: Mercurio de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

Factor Mercurio: 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor				
METODO		Respuesta		
-Hipótesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipótesis alterna		-No todas las medias son iguales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
Análisis de varianza				
Fuente	GL	SC Ajust.	Valor F	Valor P
Mercurio	3	0.00000	1.92	0.141
Error	41	0.00000		
Total	44	0.00000		

ANOVA de un solo factor parámetro: Plomo de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

Factor Plomo: 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor				
METODO		Respuesta		
-Hipótesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipótesis alterna		-No todas las medias son iguales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
Análisis de varianza				
Fuente	GL	SC Ajust.	Valor F	Valor P
Plomo	3	0.000001	1.08	0.367
Error	41	0.000006		
Total	44	0.000007		

ANOVA de un solo factor parámetro: Zinc de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

Factor Zinc: 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor				
METODO		Respuesta		
-Hipótesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipótesis alterna		-No todas las medias son iguales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
Análisis de varianza				
Fuente	GL	SC Ajust.	Valor F	Valor P
Zinc	3	0.01486	2.48	0.074
Error	41	0.08178		
Total	44	0.09664		

ANOVA de un solo factor parámetro: Hidrocarburos petroleo de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

<b>Factor Hidrocarburos Petroleo: 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor</b>				
<b>METODO</b>		<b>Respuesta</b>		
-Hipotesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipotesis alterna		-No todas las medias son guales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
<b>Análisis de varianza</b>				
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Hidrocarburos Petroleo	3	0.01892	25.42	0.000
Error	41	0.01017		
Total	44	0.02910		

ANOVA de un solo factor parámetro: Coliformes Termotolerantes de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

<b>Factor Coliformes termotolerantes: 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor</b>				
<b>METODO</b>		<b>Respuesta</b>		
-Hipotesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipotesis alterna		-No todas las medias son guales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
<b>Análisis de varianza</b>				
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Coliformes termotolerantes	3	7166	0.21	0.892
Error	41	475918		
Total	44	483083		

ANOVA de un solo factor parámetro: Sólidos suspendidos de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

<b>Factor Solidos suspendidos: 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor</b>				
<b>METODO</b>		<b>Respuesta</b>		
-Hipotesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipotesis alterna		-No todas las medias son guales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
<b>Análisis de varianza</b>				
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Solidos Suspendidos	3	1230	5.35	0.003
Error	41	3142		
Total	44	4372		

ANOVA de un solo factor parámetro: Nitrogeno de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

<b>Factor Nitrogeno : 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor</b>				
<b>METODO</b>		<b>Respuesta</b>		
-Hipotesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipotesis alterna		-No todas las medias son iguales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
<b>Análisis de varianza</b>				
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Nitrogeno	3	30.2270	550.08	0.000
Error	41	0.7510		
Total	44	30.9780		

ANOVA de un solo factor parámetro: Conductividad Eléctrica de 4 sectores del lago Titicaca 45 muestras

<b>Factor Conductividad Eléctrica: 4 niveles bahía interior, bahía lago, lago mayor y lago menor</b>				
<b>METODO</b>		<b>Respuesta</b>		
-Hipotesis nula		- Todas las medias son iguales		
-Hipotesis alterna		-No todas las medias son iguales		
-Nivel de significancia		$\alpha=0.05$		
<b>Análisis de varianza</b>				
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Conductividad Eléctrica	3	1342819	12.71	0.000
Error	41	1444443		
Total	44	2787262		

## Anexo 5. Certificado de análisis de agua del laboratorio de calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA Puno



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



FIQ Nro **LQ-2023**

Nº 002549

# Certificado de Análisis

**ASUNTO** : ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUA DEL LAGO TITICACA

**PROCEDENCIA** : SECTOR CHIMU, DISTRITO DE PUNO

**INTERESADO** : AGUILAR MAMANI, DANY ALEXANDER

**PROYECTO** : "ELEVAR EL INDICE DE CALIDAD DE AGUA DEL LAGO TITICACA SECTOR CHIMU CON CARBON ACTIVADO DE TOTORA (*Schoenoplectus californicus*)"

**MOTIVO** : ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA DEL LAGO TITICACA

**MUESTREO** : 24/11/2023, por el interesado

**ANÁLISIS** : 24/11/2023

**COD. MUESTRA** : B009-00536 Y B009-00538

### CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

**ASPECTO** : Líquido

**COLOR** : Característico Transparente

### CARACTERÍSTICAS FISICO - QUÍMICAS

PARÁMETRO FÍSICO QUÍMICO	UNIDAD	M-1	M-2	MÉTODO ANALÍTICO
Potencial de Hidrogeno	pH	6.16	8.67	Electrométrico
Temperatura	°C	15.2	15.2	Termómetro
Sólidos en suspensión	mg/L	50	1	Gravimétrico
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	47.58	57.99	Digestión cerrada
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	7	2	Método Respirómetro
Aceites y grasas	mg/L	66.83	13.8	Soxlex
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	2.47	0.5	Espectrofotómetro
Fosforo	mg/L	0.62	1.5	Espectrofotómetro
Conductividad Eléctrica	µS/cm	1905	1985	Electrométrico
Materia orgánica	%	99.82	0	Por calcinación
Nitratos	mg/L	50	0	Calorimétrico
Nitritos	mg/L	14	0.5	Calorimétrico
Nitrógeno total	%	0.035	0	Micro keldal

Puno, C.U. 30 de noviembre del 2023  
VºBº

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE  
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD  
PRO - UNA - CIP - 192293

DECANO - FID - UNA



Walter B. Apurich Aragón, Ph.D.  
DECANO - FID - UNA

Ciudad Universitaria Av. Floral N° 1153, Facultad de Ingeniería Química - Cel.: 951755420

## Anexo 6. Panel fotográfico



Preservar las muestras en coolers a 4° C .



Los recipientes para muestras microbiológicas.



Segado de la Totora en el sector Chimu



Pesaje de la Totora Fresca



Secado de la Totora en ambiente cerrado y aireado.

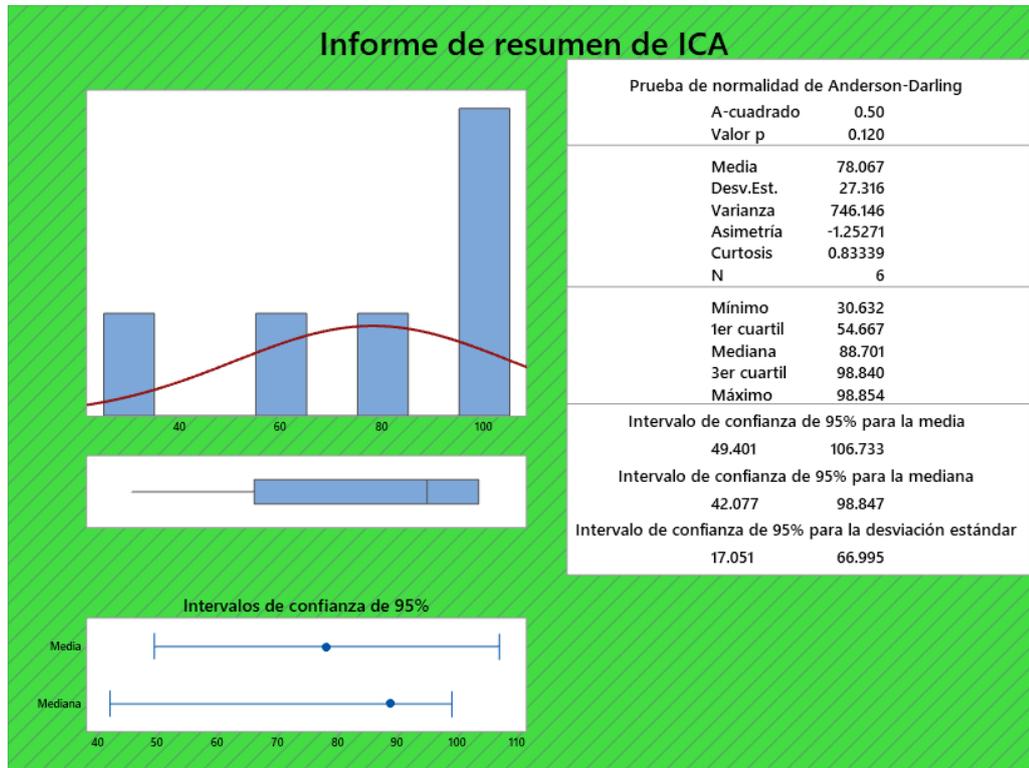


Proceso de secado en ambiente abierto.



Recojo de Totora seca en ambiente abierto

### Anexo 7. Informe de resumen del ICA de los 6 datos



## Anexo 8. Cuadros de resultados de parámetros de calidad de agua tomados por la institución ANA

Cuadro N° 7. Resultados de parámetros de calidad del agua en la Bahía Interior de Puno, Lago Titicaca (abril 2019)

Parámetro	Unidad	Reporte	21794-2019	21794-2019	21795-2019	21795-2019	21795-2019	21794-2019
		Fecha muestreo	4/04/2019	4/04/2019	4/04/2019	4/04/2019	4/04/2019	4/04/2019
		Hora muestreo	11:10:00	11:40:00	12:45:00	12:30:00	12:15:00	12:10:00
		Sector	Bahía Interior de Puno					
		DS N°004-2017-MINAM. ECA 4 E1:- Lagunas y Lagos	LTit59	LTit60	LTit61	LTit62	LTit63	LTit64
<b>Físico Químicos</b>								
Conductividad	(µS/cm)	1000	1570.00	1770.00	1736.00	1674.00	1748.00	1750.00
Oxígeno Disuelto (OD) (Valor mínimo)	mg/L	≥ 5	2.84	5.64	6.45	5.91	5.43	5.44
Temperatura de Hidrógeno (pH)	Unidad	6.5 a 9.0	8.96	9.02	9.13	8.92	9.01	8.83
Temperatura	°C	Δ 3	18.10	18.07	16.58	17.19	17.79	17.18
Turbiedad	UNT		12.40	8.99	10.30	8.75	13.40	18.10
Transparencia	m	---	0.50	0.90	0.90	0.90	0.70	0.70
Aceites y Grasas	mg/L	5	0.9	0.9	4	0.9	2.6	0.9
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	5	5	5	4	3	4	4
Clorofila	mg/L	0.008	0.08935	0.11894	0.05262	0.08058	0.01422	0.04012
Fósforo Total	mg P/L	0.035	0.743	0.729	0.772	0.602	0.811	0.639
Nitrógeno Total	mg N/L	0.315	2.6700	2.3800	3.1200	2.3000	2.8900	2.3300
Sólidos Totales Suspendedos	mg/L	25	21	19	19	18	20	15
Sulfuros	mg/L	0.002	0.0056	0.00039	0.0052	0.00039	0.0038	0.0094
<b>Aniones por Cromatografía Iónica</b>								
Nitratos. NO3-	mg NO3-/L	13	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089
Nitratos. (como N)	mg NO3-N/L	---	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019
<b>Metales Totales por ICP-MS</b>								
Plata (Ag)	mg/L	---	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Aluminio (Al)	mg/L	---	0.16700	0.08200	0.11500	0.08100	0.14100	0.07200
Arsénico (As)	mg/L	0.15	0.01347	0.01324	0.01363	0.01360	0.01365	0.01434
Boro (B)	mg/L	---	1.29100	1.21100	1.21200	1.28300	1.29800	1.31800
Bario (Ba)	mg/L	0.7	0.10280	0.09960	0.10130	0.09820	0.10090	0.10550
Berilio (Be)	mg/L	---	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
Calcio (Ca)	mg/L	---	79.32000	77.61000	78.95000	80.31000	80.84000	83.97000
Cadmio (Cd)	mg/L	0.00025	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Cobalto (Co)	mg/L	---	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Cromo (Cr)	mg/L	---	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009
Cobre (Cu)	mg/L	0.1	0.00082	0.00003	0.00160	0.00003	0.00086	0.00085
Hierro (Fe)	mg/L	---	0.15980	0.08790	0.10170	0.08300	0.13350	0.10430
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0001	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
Potasio (K)	mg/L	---	19.69000	19.26000	18.85000	19.46000	19.57000	20.54000
Litio (Li)	mg/L	---	0.30200	0.29390	0.29310	0.30910	0.30400	0.30740
Magnesio (Mg)	mg/L	---	39.44000	35.72000	39.12000	40.69000	39.65000	38.27000
Manganeso (Mn)	mg/L	---	0.14743	0.12710	0.12896	0.11410	0.14654	0.13129
Molibdeno (Mo)	mg/L	---	0.00067	0.00066	0.00065	0.00066	0.00064	0.00069
Sodio (Na)	mg/L	---	203.90000	182.60000	198.60000	207.30000	206.60000	196.40000
Níquel (Ni)	mg/L	0.052	0.00040	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019
Plomo (Pb)	mg/L	0.0025	0.00080	0.00030	0.00080	0.00030	0.00060	0.00040
Antimonio (Sb)	mg/L	0.61	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004
Selenio (Se)	mg/L	0.005	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039
Estaño (Sn)	mg/L	---	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
Estroncio (Sr)	mg/L	---	1.33900	1.29700	1.33000	1.34900	1.35400	1.39200
Titanio (Ti)	mg/L	---	0.00560	0.00290	0.00410	0.00300	0.00530	0.00300
Talio (Tl)	mg/L	0.0008	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
Vanadio (V)	mg/L	---	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009
Zinc (Zn)	mg/L	0.12	0.01280	0.00900	0.32300	0.00900	0.01780	0.01060
<b>Análisis microbiológicos</b>								
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000	49	46	4	9.2	26	4
<b>Orgánicos</b>								
Hidrocarburos Totales de Petróleo HTP	mg/L	5	0.00079	0.1412	0.0602	0.0542	0.0558	0.0545

Fuente: Informe de Ensayo con valor oficial N° 21794, 21795 - 2019 emitido por "ALS LS PERU S.A.C."

Leyenda: < Menor al límite de Detección del Método ///: No analizado .... No hay valor ECA Mayor al ECA - Agua.

Norma: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM "Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA)". Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático. Subcategoría E1: Lagunas y Lagos.



Cuadro N° 8. Resultados de parámetros de calidad del agua en la Bahía de Puno, Lago Titicaca (abril 2019)

Parámetro	Unidad	Reporte	21796-2019	21796-2019	22229-2019	22229-2019	22229-2019	22228-2019	22228-2019	22228-2019	22230-2019
		Fecha muestreo	4/04/2019	4/04/2019	5/04/2019	5/04/2019	5/04/2019	5/04/2019	5/04/2019	5/04/2019	5/04/2019
		Hora muestreo	13:30:00	13:10:00	08:10:00	08:40:00	10:00:00	10:20:00	11:10:00	11:45:00	12:40:00
		Sector	Bahía de Puno								
		DS N°004-2017-MINAM, ECA 4 Et: Lagunas y Lagos	LTit65	LTit66	LTit67	LTit68	LTit69	LTit70	LTit71	LTit72	LTit73
<b>Físico Químicos</b>											
Conductividad	(µS/cm)	1000	1503.00	1504.00	1500.00	1495.00	1496.00	1492.00	1490.00	1496.00	977.20
Oxígeno Disuelto (OD) (Valor mínimo)	mg/L	≥ 5	5.75	5.74	5.94	5.89	5.77	5.92	5.59	5.51	5.12
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad	6.5 a 9.0	8.65	8.62	8.76	8.63	8.63	8.66	8.65	8.63	8.41
Temperatura	°C	Δ 3	16.48	17.15	14.65	15.47	15.38	16.31	16.46	16.85	17.16
Turbiedad	UNT		0.79	0.80	0.61	0.77	0.74	0.53	0.37	0.29	1.87
Transparencia	m	---	5.20	5.20	5.50	6.10	5.80	7.20	9.14	9.80	4.10
Aceites y Grasas	mg/L	5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	5	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Clorofila	mg/L	0.008	0.00251	0.00229	0.00111	0.00182	0.00313	0.00166	0.00191	0.00213	0.00195
Fósforo Total	mg P/L	0.035	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
Nitrógeno Total	mg N/L	0.315	0.1130	0.1690	0.1580	0.1650	0.1520	0.1640	0.1910	0.1570	0.2720
Sólidos Totales Suspendedos	mg/L	25	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Sulfuros	mg/L	0.002	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039
<b>Aniones por Cromatografía Iónica</b>											
Nitratos NO3-	mg NO3-/L	13	0.0089	0.567	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.442
Nitritos (como N)	mg NO3-N/L	---	0.0019	0.128	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.1
<b>Metales Totales por ICP-MS</b>											
Plata (Ag)	mg/L	---	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Aluminio (Al)	mg/L	---	0.00190	0.00190	0.00190	0.00190	0.00190	0.00190	0.00190	0.00190	0.05100
Arsénico (As)	mg/L	0.15	0.01166	0.01174	0.01137	0.01154	0.01164	0.01230	0.01190	0.01201	0.01253
Boro (B)	mg/L	---	1.25000	1.18100	1.24100	1.22300	1.25900	1.07700	1.08100	1.12300	0.69500
Bario (Ba)	mg/L	0.7	0.06380	0.06280	0.06210	0.06360	0.06150	0.06030	0.06100	0.06210	0.04580
Berilio (Be)	mg/L	---	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
Calcio (Ca)	mg/L	---	63.07000	62.18000	61.90000	62.94000	62.64000	60.08000	59.20000	61.59000	40.26000
Cadmio (Cd)	mg/L	0.00025	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Cobalto (Co)	mg/L	---	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Cromo (Cr)	mg/L	---	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009
Cobre (Cu)	mg/L	0.1	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00093
Hierro (Fe)	mg/L	---	0.00580	0.00740	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.04600
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0001	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
Potasio (K)	mg/L	---	14.59000	14.46000	14.08000	14.06000	14.39000	13.96000	13.780000	14.29000	8.68000
Litio (Li)	mg/L	---	0.30200	0.29560	0.31000	0.29910	0.30900	0.27720	0.27260	0.27820	0.16460
Magnesio (Mg)	mg/L	---	33.38000	32.54000	32.61000	32.87000	32.68000	32.45000	32.10000	33.19000	17.86000
Manganeso (Mn)	mg/L	---	0.00424	0.00430	0.00149	0.00200	0.00201	0.00123	0.00098	0.00130	0.04089
Molibdeno (Mo)	mg/L	---	0.00072	0.00078	0.00077	0.00075	0.00069	0.00070	0.00073	0.00067	0.00064
Sodio (Na)	mg/L	---	168.60000	168.40000	167.50000	171.30000	170.40000	154.90000	152.90000	157.00000	96.41000
Níquel (Ni)	mg/L	0.052	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019
Plomo (Pb)	mg/L	0.0025	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00050
Antimonio (Sb)	mg/L	0.61	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004
Selenio (Se)	mg/L	0.005	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039
Estaño (Sn)	mg/L	---	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
Estroncio (Sr)	mg/L	---	1.12500	1.15000	1.10600	1.12800	1.14400	1.07700	1.05700	1.06200	0.72090
Titanio (Ti)	mg/L	---	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00015	0.00015	0.00015	0.00130
Talio (Tl)	mg/L	0.0008	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
Vanadio (V)	mg/L	---	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009
Zinc (Zn)	mg/L	0.12	0.00900	0.03280	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.01070
<b>Análisis microbiológicos</b>											
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000	6.8	4.5	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79
<b>Orgánicos</b>											
Hidrocarburos Totales de Petróleo HTP	mg/L	5	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079

Instituto Nacional del Agua
   
  
 Instituto Nacional de Estadística e Informática
   
  
 Instituto Nacional de Defensa Civil
   
  
 Instituto Nacional de Investigación Científica y Tecnológica

Fuente: Informe de Ensayo con valor oficial N° 21796, 22229, 22228, 22230-2019, emitido por "ALS LS PERU S.A.C."  
 Leyenda: < Menor al límite de Detección del Método //: No analizado .... No hay valor ECA Mayor al ECA - Agua.  
 Norma: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM "Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA)". Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático, Subcategoría Et: Lagunas y Lagos.



Cuadro N° 10. Resultados de parámetros de calidad del agua en el lago menor del Lago Titicaca (abril 2019)

Parámetro	Unidad	Reporte	24598-2019	24598-2019	24595-2019	24595-2019	24595-2019	24994-2019	24994-2019
		Fecha muestrec	15/04/2019	15/04/2019	15/04/2019	15/04/2019	15/04/2019	16/04/2019	16/04/2019
		Hora muestrec	11:10:00	10:25:00	11:40:00	12:15:00	12:40:00	07:25:00	11:00:00
		Sector	Lago menor						
		DS N°004-2017-MINAM, ECA 4 E1- Lagunas y Lagos	LTit41	LTit46	LTit47	LTit50	LTit53	LTit54	LTit56
<b>Físico Químicos</b>									
Conductividad	(µS/cm)	1000	1901.00	1911.00	1903.00	1888.00	1873.00	1883.00	1818.00
Oxígeno Disuelto (OD) (Valor mínimo)	mg/L	≥ 5	5.75	6.25	6.00	6.33	6.35	6.50	6.45
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad	6.5 a 9.0	8.64	8.71	8.68	8.75	8.81	8.66	8.51
Temperatura	°C	Δ 3	16.20	15.60	16.20	17.20	17.10	14.60	15.40
Turbiedad	UNT		2.90	4.30	1.10	0.90	1.10	1.40	1.60
Transparencia	m	---	4.50	4.00	4.50	4.50	4.50	3.90	1.80
Aceites y Grasas	mg/L	5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	5	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	8	7
Clorofila	mg/L	0.008	0.00265	0.00192	0.00313	0.0028	0.00221	0.00187	0.00447
Fósforo Total	mg P/L	0.035	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
Nitrógeno Total	mg N/L	0.315	0.4810	0.5090	0.3520	0.4350	0.4570	0.4910	0.6080
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	25	3	3	3	4	3	3	1.9
Sulfuros	mg/L	0.002	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039
<b>Aniones por Cromatografía Iónica</b>									
Nitratos. NO3-	mg NO3-/L	13	0.046	0.062	0.0089	0.02	0.0089	0.091	0.0089
Nitratos. (como N)	mg NO3-N/L	---	0.01	0.014	0.0019	0.005	0.0019	0.021	0.0019
<b>Metales Totales por ICP-MS</b>									
Plata (Ag)	mg/L	---	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Aluminio (Al)	mg/L	---	0.00190	0.00190	0.00190	0.00190	0.00190	0.00190	0.00190
Arsénico (As)	mg/L	0.15	0.12460	0.01302	0.01389	0.01418	0.01381	0.01424	0.01367
Boro (B)	mg/L	---	1.52700	1.46200	1.44800	1.60200	1.48900	1.41800	1.59800
Bario (Ba)	mg/L	0.7	0.06410	0.06620	0.06680	0.06720	0.06540	0.06450	0.05860
Berilio (Be)	mg/L	---	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
Calcio (Ca)	mg/L	---	57.54000	61.09000	58.41000	59.69000	60.05000	61.20000	59.74000
Cadmio (Cd)	mg/L	0.00025	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Cobalto (Co)	mg/L	---	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Cromo (Cr)	mg/L	---	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009
Cobre (Cu)	mg/L	0.1	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
Hierro (Fe)	mg/L	---	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.01230
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0001	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
Potasio (K)	mg/L	---	20.80000	21.78000	20.40000	20.72000	21.19000	21.80000	19.80000
Litio (Li)	mg/L	---	0.38450	0.38270	0.41170	0.41710	0.37670	0.40490	0.39280
Magnesio (Mg)	mg/L	---	42.49000	44.49000	44.25000	43.88000	44.94000	44.45000	40.42000
Manganeso (Mn)	mg/L	---	0.01213	0.01220	0.01146	0.01044	0.00952	0.01109	0.01688
Molibdeno (Mo)	mg/L	---	0.00040	0.00049	0.00049	0.00053	0.00040	0.00044	0.00046
Sodio (Na)	mg/L	---	240.50000	256.60000	220.40000	223.70000	229.30000	223.40000	202.70000
Niquel (Ni)	mg/L	0.052	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019
Plomo (Pb)	mg/L	0.0025	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019
Antimonio (Sb)	mg/L	0.61	0.00041	0.00048	0.00057	0.00050	0.00051	0.00046	0.00047
Selenio (Se)	mg/L	0.005	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039	0.00039
Estaño (Sn)	mg/L	---	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
Estroncio (Sr)	mg/L	---	1.27800	1.32500	1.36400	1.42100	1.33700	1.38900	1.31400
Titanio (Ti)	mg/L	---	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019
Talio (Tl)	mg/L	0.0008	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
Vanadio (V)	mg/L	---	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009
Zinc (Zn)	mg/L	0.12	0.01020	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900	0.00900
<b>Análisis microbiológicos</b>									
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000	1.79	27	1.79	1.79	1.79	1.79	70
<b>Orgánicos</b>									
Hidrocarburos Totales de Petróleo HTP	mg/L	5	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079	0.00079

Fuente: Informe de Ensayo con valor oficial N° 24598-2019, 24595, 24994-2019 emitido por "ALS LS PERU S.A.C."  
 Leyenda: < Menor al límite de Detección del Método ///: No analizado .... No hay valor ECA Mayor al ECA - Agua.  
 Norma: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM "Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA)". Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático. Subcategoría E1: Lagunas y Lagos.





### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo DANY ALEXANDER AGUIAR HAMANI,  
identificado con DNI 41979907 en mi condición de egresado de:

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

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

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

" ELEVAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO  
TITICACA SECTOR CHIMU CON CARBÓN ACTIVADO DE  
TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) "

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 17 de JUNIO del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

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

Por el presente documento, Yo DANY ALEXANDER AGUILAR MAMANI,  
identificado con DNI 41979907 en mi condición de egresado de:

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

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

" ELEVAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO  
TITICACA SECTOR CHIMU CON CARBÓN ACTIVADO DE  
TOTORA (SHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) "

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 17 de JUNIO del 20 24

Sf 70!

FIRMA (obligatoria)



Huella