

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del
Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA DE LAS PRINCIPALES
BAHIAS DEL LAGO TITICACA LADO PERUANO-PUNO EN EL PERIODO 2015-2020**

Tesis presentada por el bachiller:

Lino Riva, Thais Fiorella

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Asesor:

Mg. Lazarte Arredondo, Sonia

Arequipa – Perú

2022

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA AMBIENTAL
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 05 de Noviembre del 2021

Dictamen: 002713-C-EPIA-2021

Visto el borrador del expediente 002713, presentado por:

2015220862 - LINO RIVA THAIS FIORELLA

Titulado:

**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA DE LAS
PRINCIPALES BAHÍAS DEL LAGO TITICACA LADO PERUANO-PUNO
EN EL PERIODO 2015-2020**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**2829 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO
DICTAMINADOR**



**3043 - PAREDES ZAVALA JOSHELYN MARIANGELA
DICTAMINADOR**



**3124 - CAMPOS OLAZAVAL LIZBETH MARIANELLA
DICTAMINADOR**

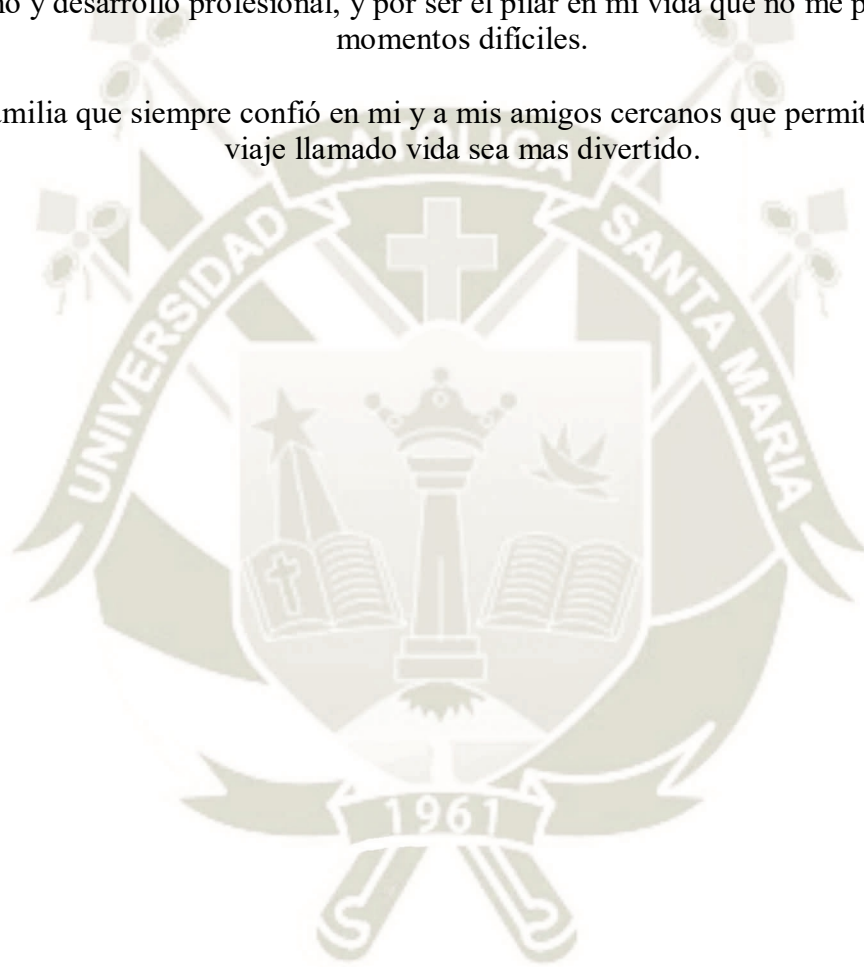


DEDICATORIA

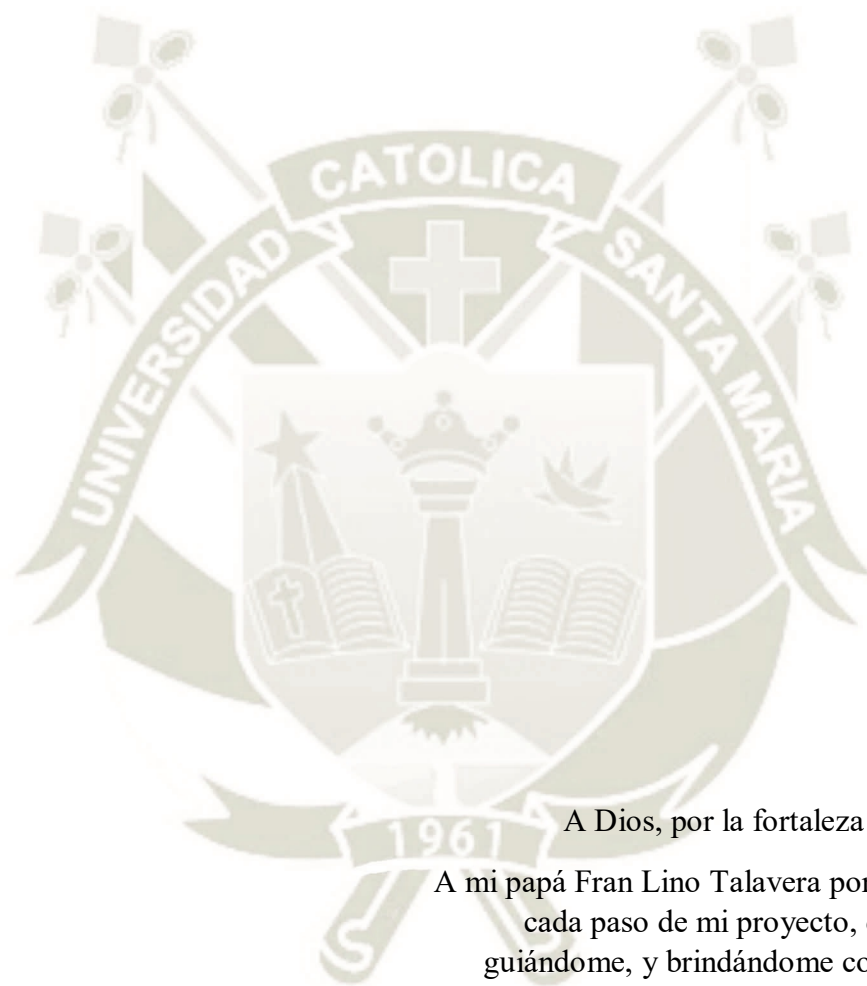
Esta dedicatoria va dirigida a mi mamita, mi abuelita amada, Amanda Salomé Talavera, que siempre me brindó su amor incondicional y que ahora desde el cielo sigue intercediendo por mi y mi familia.

A mi papá Fran y a mi hermano Bruno por su apoyo y cariño absoluto, por ser motivo de mi desempeño y desarrollo profesional, y por ser el pilar en mi vida que no me permite caer en momentos difíciles.

A toda mi familia que siempre confió en mi y a mis amigos cercanos que permiten que este corto viaje llamado vida sea mas divertido.



AGRADECIMIENTO



A Dios, por la fortaleza de todos los días.

A mi papá Fran Lino Talavera por estar presente en cada paso de mi proyecto, dándome soporte, guiándome, y brindándome conocimientos para lograr esta investigación.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se desarrolló la evaluación espacio temporal de la calidad del agua en las Bahías del Lago Titicaca lado peruano, para dicha evaluación se empleó información de 10 estaciones de monitoreo distribuidos en las Bahías del Lago Titicaca; Vilquechico, Pusi, Moho, Capachica, Chucuito Pilcuyo, Juli, Yunguyo, Pomata y Desaguadero, así mismo, el objetivo principal es determinar la calidad del agua mediante el Índice de Calidad de Agua (ICA) en las principales bahías del lago Titicaca lado peruano en el periodo 2015 – 2020, se elaboró Índices de Calidad de Agua (ICA) que pretenden clasificar en una escala de 0 a 100 la calidad representativa del agua, tomando como alternativas de evaluación las fórmulas para la determinación del ICA-PE y las fórmulas para la determinación del ICA –NSF, para cada bahía se tomaron dos puntos de monitoreo por año, dicha información se obtuvo por el Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca (PEBLT). Se desarrollo el ICA-PE para las 10 bahias tomando dos puntos de muestreo para cada año, se aplicaron los ECA-agua para verificar el cumplimiento de los parámetros y realizar el desarrollo de las formulas del ICA-PE que utiliza tres factores: alcance, frecuencia y amplitud, así mismo se tomo en consideración la categorización de cuerpos de agua emitida por el ANA que en el presente trabajo corresponde a la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático. Para el ICA- NSF desarrollado se considero ocho parámetros: pH, solidos totales disueltos, turbiedad, porcentaje de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), Fosfatos, Nitratos y Coliformes Termotolerantes los cuales fueron determinados mediante una evaluación de acuerdo con su disponibilidad y a la calidad de sus datos. El ICA-NSF fue desarrollado para precisar sus bondades, deficiencias y aplicabilidad a las condiciones locales de las Bahías del Lago Titicaca lado peruano, es así como la calidad de agua de las bahías mencionadas reveló la variación de la calidad del agua a través del tiempo permitiendo inferir sobre las tendencias de deterioro o recuperación de las Bahías desde el año 2015 al 2020 en donde están localizadas estas estaciones. Los resultados de la calidad de agua de las bahías poseen en el ICA-PE una clasificación entre buena y excelente y para el ICA-NSF entre mala y buena. Esta investigación sirvió para especificar cómo la aportación de los tributarios afecta la calidad del agua del Lago. Se espera que el ICA-NSF desarrollado se pueda utilizar en el futuro como una herramienta para informar al público la calidad de las aguas en las Bahías del lago Titicaca y para establecer prácticas de manejo adecuadas en las diferentes Bahías, ya que es el índice que se asemeja a la realidad de las condiciones locales.

Palabras clave: índice de calidad de agua, ICA-PE, ICA-NSF, estándares de calidad ambiental (ECAs).

ABSTRACT

In this research work, the spatial-temporal evaluation of the water quality in the Bays of Lake Titicaca on the Peruvian side was developed. For this evaluation, information from 10 monitoring stations distributed in the Bays of Lake Titicaca was used; Vilquechico, Pusi, Moho, Capachica, Chcuito Pilcuyo, Juli, Yunguyo, Pomata and Desaguadero, likewise, the main objective is to determine the water quality through the Water Quality Index (ICA) in the main bays of Lake Titicaca on the Peruvian side. In the period 2015 - 2020, Water Quality Indices (ICA) were developed that intend to classify the representative quality of water on a scale from 0 to 100, taking as evaluation alternatives the formulas for determining the ICA-PE and the formulas for the determination of the ICA -NSF, for each bay two monitoring points were taken per year, said information was obtained by the Special Binational Lake Titicaca Project (PEBLT). The ICA-PE was developed for the 10 bays taking two sampling points for each year, the ECA-water were applied to verify compliance with the parameters and carry out the development of the ICA-PE formulas that uses three factors: scope, frequency and amplitude, likewise, the categorization of bodies of water emitted by the ANA was taken into consideration, which in the present work corresponds to Category 4: Conservation of the aquatic environment. For the ICA-NSF developed, eight parameters were considered: pH, total dissolved solids, turbidity, oxygen percentage, biochemical oxygen demand (BOD5), Phosphates, Nitrates and Thermotolerant Coliforms, which were determined by an evaluation according to their availability already the quality of your data. The ICA-NSF was developed to specify its benefits, deficiencies and applicability to the local conditions of the Bays of Lake Titicaca on the Peruvian side, this is how the water quality of the mentioned bays revealed the variation in water quality over time. allowing to infer about the deterioration or recovery trends of the Bays from 2015 to 2020 where these stations are located. The results of the water quality of the bays have a classification between good and excellent in the ICA-PE and between bad and good for the ICA-NSF. This investigation served to specify how the contribution of the tributaries affects the quality of the lake's water. It is expected that the ICA-NSF developed can be used in the future as a tool to inform the public about the quality of the waters in the Bays of Lake Titicaca and to establish adequate management practices in the different Bays, since it is the index that it resembles the reality of local conditions.

Keywords: water quality index, ICA-PE, ICA-NSF, environmental quality standards (ECAs)

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua se refiere a la cantidad de elementos contaminantes en razón a un parámetro físico, químico, fisicoquímico o biológico; los cuales están normados por los Estándares de calidad de agua, aprobados por el decreto supremo N° 004-2017 MINAM. Por su importancia para la salud pública, las actividades pecuarias, agrícolas y la conservación del medio ambiente; la calidad del agua merece especial atención.

La calidad del agua en los sistemas naturales depende de diversos factores naturales, aunque el factor más importante suele ser el de las actividades antropogénicas. La humanidad y el desarrollo de las civilizaciones han venido ligados desde la antigüedad a la disponibilidad del agua. El hombre ha utilizado las aguas continentales como fuente de recurso para multitud de funciones, así como medio receptor y depurador de parte de los residuos generados por los mismos. (Paredes, 2004).

El desarrollo de las actividades productivas en los últimos años generó una serie de ventajas indiscutibles, sin embargo también generó una sobre explotación de los recursos naturales, siendo el agua uno de los recursos más afectados; las causas como el control ineficaz de las autoridades competentes, los vertimientos poblacionales, industriales y mineros, la falta de tratamiento de los desechos, etc. ha ocasionado que uno de los efectos más importantes sean los problemas de contaminación en este recurso.

La calidad de algunas bahías es crítica, debido a su deterioro, y esto ocurre, aunque la cantidad de agua superficial en el Lago Titicaca sea relativamente abundante, lo cual causa uno de los problemas más graves que sufre el Departamento de Puno, esta situación repercute en lograr un uso eficiente del recurso que es el agua.

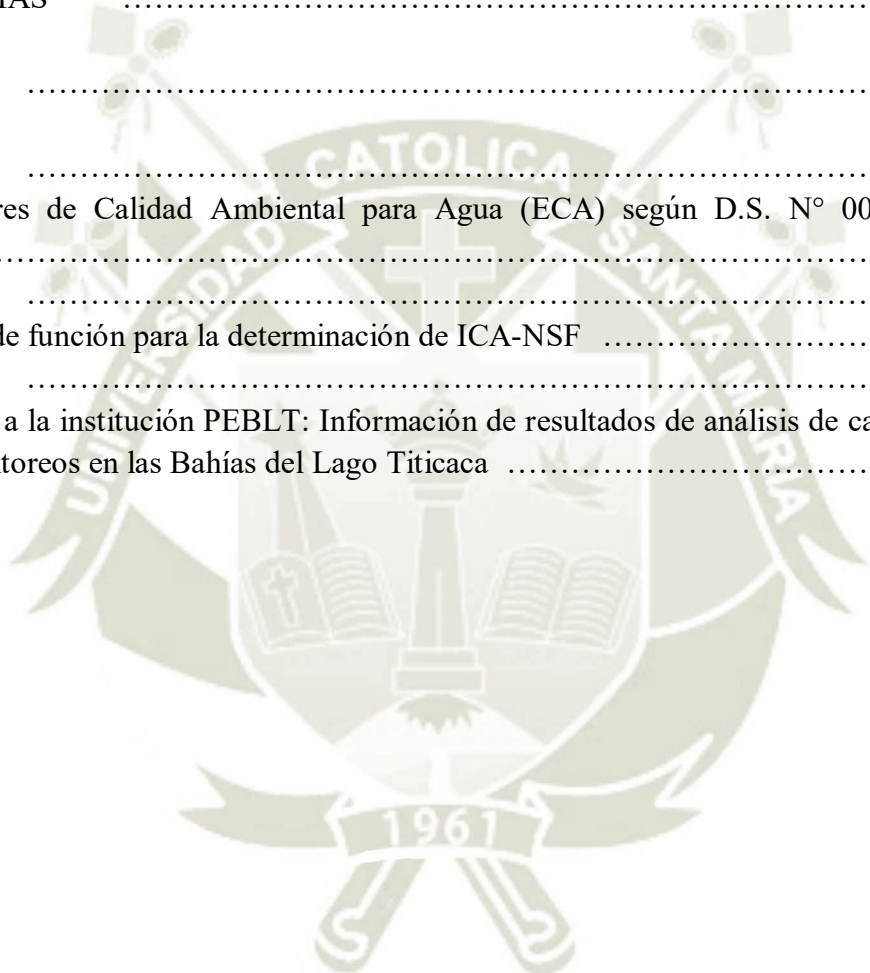
En estos últimos años un tema tocado fuertemente tanto en reuniones como en eventos es la discusión acerca de la contaminación de las aguas en las Bahías y las consecuencias físicas, sociales y económicas que esto ha traído, sin embargo, no se desarrolla un análisis detallado de la evolución en el tiempo y espacio de la calidad del agua de las Bahías del Lago Titicaca, por lo que no se conoce con detalle el grado y evolución de la contaminación de este recurso.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
INTRODUCCIÓN	VII
CAPÍTULO I	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Problemática de la investigación	2
1.2 Justificación de la Investigación	3
1.3 Objetivos	4
CAPÍTULO II	5
2. FUNDAMENTO TEORICO	6
2.1 Antecedentes de la investigación	6
2.2 Marco teórico	8
2.2.1 El Agua	8
2.2.2 Calidad del agua	8
2.2.3 Calidad de agua en el Perú	8
2.2.4 Estándares de calidad ambiental	9
2.2.5 Clasificación de los cuerpos de agua en el Perú	11
2.2.6 Aguas residuales	13
2.2.7 Contaminación del Agua	15
2.2.8 Índices de Calidad de Agua	15
2.2.9 Parámetros de calidad de agua	25
2.3 Marco Legal	31
CAPÍTULO III	33
3. METODOLOGÍA	34
3.1 Tipo y nivel de investigación	34
3.2 Descripción del área de estudio	34
3.2.1 Ubicación de estudio	34
3.2.2. Límites del área de estudio	34
3.2.3 Área de estudio	35
3.3 Materiales y equipos	37
3.4 Metodología de investigación	37
3.4.1 Calculo de los valores del Índices de Calidad de Agua, ICA-PE Y el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF)	37
3.4.1.1 Identificación de Fuentes de Contaminación en el Lago Titicaca:	38
3.4.1.2 Técnica de recolección de datos:	40
3.4.1.3 Calculo del ICA-PE	40

3.4.1.4	Calculo del Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF)	43
3.4.2	Evaluación del cumplimiento de los ECA-Agua en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos:	45
3.4.3	Evolución anual de la calidad del agua en el periodo 2015-2020	45
CAPITULO IV		46
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1.	Resultados de los Índices de Calidad de Agua, ICA-PE y el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF)	47
4.1.1	Resultados ICA-PE	47
4.1.1.1	Índice de Calidad de Agua ICA-PE en época húmeda	47
4.1.1.2	Índice de Calidad de Agua ICA-PE en época seca	48
4.1.1.3	Índice de Calidad de Agua ICA-PE	49
4.1.2	Resultados ICA-NSF	50
4.1.2.1	Resultados del Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) época lluviosa	50
4.1.2.2	Índice del a Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) época seca	52
4.1.2.3	Índice del a Fundación Nacional de Saneamiento (NSF)	53
4.2	Resultados del cumplimiento de los ECA- Agua en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos:	54
4.2.1	Fosfatos	55
4.2.2	Nitratos	56
4.2.3	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	57
4.2.4	Sólidos Totales Disueltos (SDT)	58
4.2.5	Turbidez	59
4.2.6	Oxígeno Disuelto (OD)	60
4.2.7	Potencial de hidrogeno (pH)	62
4.2.8	Coliformes Termotolerantes	63
4.3	Resultados de la evolución anual de la calidad del agua en el periodo 2015-2020	64
4.3.1	Bahía de Vilquechico	64
4.3.2	Bahía de Pusi	65
4.3.3	Bahía de Moho	66
4.3.4	Bahía de Capachica	67
4.3.5	Bahía de Chucuito	68
4.3.6	Bahía de Pilcuyo	69
4.3.7	Bahía de Juli	70
4.3.8	Bahía de Yunguyo	71
4.3.9	Bahía de Pomata	72

4.3.10 Bahía de Desaguadero	73
4.4 Mapeo del Índice de Calidad de Agua (ICA-NSF) en las principales Bahías del Lago Titicaca lado peruano	74
DISCUSION FINAL	75
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	78
REFERENCIAS	79
ANEXOS	86
ANEXO 1	87
Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA) según D.S. N° 004-2017-MINAM	87
ANEXO 2	94
Curvas de función para la determinación de ICA-NSF	94
ANEXO 3	97
Petición a la institución PEBLT: Información de resultados de análisis de calidad de agua de los monitoreos en las Bahías del Lago Titicaca	97



INDICE DE TABLAS

TABLA 1: Componentes más Significativos de las Aguas Residuales	13
TABLA 2: Parámetros considerados para la Categoría 1-A2 Poblacional y Recreacional, aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.....	20
TABLA 3: Parámetros considerados en la Categoría 3, Riego de vegetales y bebida de animales	21
TABLA 4: Parámetros considerados en la Categoría 4, Conservación del ambiente acuático	22
TABLA 5: Interpretación de la calificación ICA-PE.....	24
TABLA 6: Metales Pesados.....	28
Tabla 7: Puntos de Monitoreo de las Principales Bahías del Lago Titicaca.....	36
TABLA 8: Categoría 4 - Conservación del ambiente acuático	41
TABLA 9: Factores de Ponderación ICA- NSF	44
TABLA 10: Clasificación de la calidad de agua ICA- NSF.....	45
TABLA 11: Valores obtenidos para ICA-PE en época húmeda.....	47
TABLA 12: Valores obtenidos para ICA-PE en época seca	48
TABLA 13: Valores obtenidos para ICA-PE	49
TABLA 14: Valores obtenidos para ICA-NSF en época lluviosa	50
TABLA 15: Valores obtenidos para ICA-NSF en época seca.....	52
TABLA 16: Valores obtenidos para ICA-NSF.....	53

INDICE DE GRAFICOS

GRÁFICO 1: Variación del ICA-PE (2015-2020) en época húmeda	47
GRÁFICO 2: Variación del ICA-PE (2015-2020) en época seca.....	48
GRÁFICO 3: Variación del ICA-PE (2015-2020).....	49
GRÁFICO 4: Variación del ICA-NSF (2015-2020) época lluviosa	51
GRÁFICO 5: Variación del ICA-NSF (2015-2020) época seca.....	52
GRÁFICO 6: Variación del ICA-NSF (2015-2020).....	53
GRÁFICO 7: Concentración de Fosfatos obtenidos en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020	55
GRÁFICO 8: Concentración de Nitratos obtenidos en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020	56
GRÁFICO 9: DBO5 obtenido en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020	57
GRÁFICO 10: Sólidos totales disueltos obtenidos en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020	58
GRÁFICO 11: Valores de Turbidez obtenidos en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020	59
GRÁFICO 12: Concentraciones de OD obtenidos en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020	60
GRÁFICO 13: Porcentaje de OD obtenidos en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020 ..	61
GRÁFICO 14 : Niveles de pH obtenidos en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020.....	62
GRÁFICO 15: Coliformes Termotolerantes obtenidas en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020	63
GRÁFICO 16: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Vilquechico.....	64
GRÁFICO 17: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Pusi.....	65
GRÁFICO 18: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Moho	66
GRÁFICO 19: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Capachica.....	67
GRÁFICO 20: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Chucuito	68
GRÁFICO 21: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Pilcuyo	69
GRÁFICO 22: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Juli	70
GRÁFICO 23: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Yunguyo	71
GRÁFICO 24: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Pomata	72
GRÁFICO 25: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Desaguadero.....	73



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Problemática de la investigación

En el Perú la calidad del agua es deficiente por diferentes factores, como el cambio climático, la pobreza, los escasos tratamientos efectivos de agua que se dan en las regiones y las diferentes actividades económicas que se realizan en el país generando efluentes que son pobremente tratados y destinados a los cuerpos de agua más cercanos.

La calidad natural del agua y su variación espacio - temporal se modifican debido a las diferentes actividades socioeconómicas, a su dinámica, y da origen a la contaminación de los cuerpos de agua, la contaminación modifica física, química o biológicamente el agua en una cantidad que pone en peligro la salud del ser humano y los recursos naturales.

Una de las mayores fuentes de contaminación en el país son las aguas residuales municipales, domesticas e industriales y como resultado los Estándares de Calidad Ambiental – Agua (ECAs) en 41 unidades hidrográficas son expedidos (ANA, 2017).

En la región Puno la contaminación de los ríos afluentes al Lago Titicaca que son receptores de los vertimientos domésticos e industriales y la calidad de sus aguas están sujetas a la composición geológica en términos de contaminación natural, y a contaminación antropogénica dada por actividades como la minería, vertimiento de aguas residuales municipales, residuos sólidos, fertilizantes, residuos industriales y otras fuentes de contaminación ubicadas a lo largo de la cuenca hidrográfica del lago Titicaca.

Los medios ambientes naturales de las Bahías del Lago Titicaca vienen siendo afectadas por una progresiva contaminación del agua y eutrofización causada por la afluencia de desagües y otros residuos provenientes de las ciudades circunlacustres, debido a que estas ciudades no cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales y algunas de ellas solo cuentan con lagunas de sedimentación. Como consecuencia de estas descargas contaminantes, provenientes de desechos sólidos, se viene produciendo en el Lago, una progresiva acumulación de sedimentos de fondo desde mucho tiempo atrás, por lo que el presente trabajo estará orientado a la determinación del Índice de Calidad de Agua de las principales bahías del Lago Titicaca en el lado peruano.

Formulación del problema:

¿Cuál será el índice de calidad del agua de las principales bahías del lago Titicaca lado peruano en el periodo de 2015 - 2020?

1.2 Justificación de la Investigación

Social: El Lago Titicaca es una de las fuentes principales de captación de agua para el departamento de Puno, por lo que el proyecto facilitará la información tanto a las entidades gubernamentales como a la población acerca de la calidad de agua que se presenta debido a los efluentes de aguas residuales en las principales bahías del lago en el lago peruano.

Económica: El ICA es una herramienta que ayuda a las empresas e industrias en la toma de decisiones del tema referido a la calidad de captación de agua y si esta, está en calidad de ser útil para uso en diferentes procesos de acuerdo con la empresa, el Lago Titicaca es considerado una fuente de agua importante y que provee este recurso en varios sectores de producción en el departamento de Puno.

Ambiental: Este proyecto ayudara a obtener la información y evaluación acerca de la calidad de agua que se genera por fuentes contaminantes como las aguas residuales proveniente de las ciudades, de esta manera dar a conocer el requerimiento de medidas en las fuentes para el tratamiento de sus efluentes y la disminución de la contaminación, además que es fuente de información para el estado de un sistema ambiental y sus condiciones ambientales.

Institucional: Ayuda en las decisiones gubernamentales a evaluar los programas regulatorios de las fuentes de contaminación, ayuda en la toma de decisiones en gestión de recursos hídricos.

Los datos obtenidos acerca del Índice de Calidad de Agua en este estudio ayudaran a posteriores proyectos que pueden estar relacionados a la gestión ambiental e hídrica en diferentes entidades privadas como públicas.

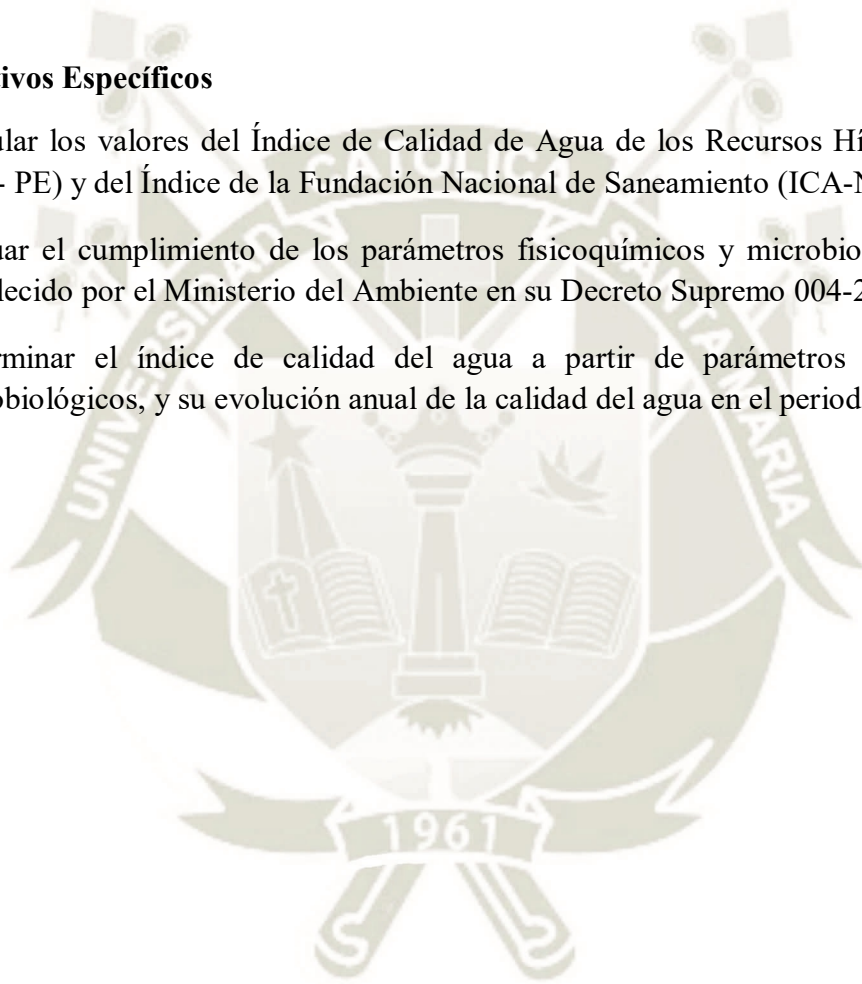
1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos General

Determinar la calidad del agua mediante el Índice de Calidad de Agua (ICA) en las principales bahías del lago Titicaca lado peruano en el periodo 2015 – 2020.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Calcular los valores del Índice de Calidad de Agua de los Recursos Hídricos en el Perú (ICA- PE) y del Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF).
- Evaluar el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, según lo establecido por el Ministerio del Ambiente en su Decreto Supremo 004-2017-MINAM.
- Determinar el índice de calidad del agua a partir de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, y su evolución anual de la calidad del agua en el periodo determinado.





CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEORICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Laura Ortiz J.R. (2019) en su estudio de *GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO CHILI MEDIANTE EL EMPLEO DE ÍNDICES FÍSICO QUÍMICOS DE CALIDAD AMBIENTAL, AREQUIPA*, utilizó el Índice de Calidad Ambiental del Perú (ICA-PE) para la gestión de la calidad del río Chili, tomando como información los datos de monitoreo de la cuenca Quilca Chili, los estándares de calidad ambiental (ECA) y la categorización de cuerpo de agua emitida por el ANA, en periodos del 2013-2017, obteniendo resultado en todos los ríos de la cuenca en intervalos de clasificación de Excelente como fue el caso del río Sumbay, hasta una clasificación de Regular como fue el caso del río Vitor y Siguan, además para la validación de la implementación del ICA-PE en la gestión de calidad de agua realizó una consulta a expertos por medio de cuestionarios que valoran el nivel de competencia de los expertos y verificación estadística, comprobando que el ICA-PE sirve como herramienta para la gestión de la calidad del agua.

Cusiche Pérez L.F. y Miranda Zambrano G.A. (2019), Realizaron un estudio de *Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional 'Lago Junín', Perú publicado en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2019* donde efectuaron el índice de calidad de agua en el lago para determinar los niveles de contaminación por análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, indicadores de contaminación bioquímica y la determinación de la calidad de agua, ya que la zona elegida del proyecto tiene una amplia biodiversidad afectada por aguas residuales domésticas, actividades como la minería, entre otras. El proyecto fue en dos etapas de muestreo estiaje y lluvia, en tres estaciones de muestreo y a 500m de la desembocadura de las aguas residuales, el nivel de calidad de agua se determinó con el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF) a partir de los análisis previos fisicoquímicos y bacteriológicos, donde el promedio de las estaciones de muestreo de las ciudades de Ondores, Junin y Carhuamayo son de 57.7, 60.32 y 60.06 respectivamente en la época de lluvia calificado como agua de calidad media, y los promedios en época de estiaje fueron de 50.24, 47.62 y 48.6 calificado como agua de mala calidad, los resultados son debido a que se superan estándares de calidad ambiental para el agua en parámetros como los fosfatos en periodos de lluvia y estiaje superando LMP para lagos y lagunas, el oxígeno disuelto que tiene concentraciones más bajas en épocas de estiaje es las estaciones de Junín y Ondores, además de los resultados de coliformes termotolerantes que son menores en época de lluvia que de estiaje, afirmando que no existe tratamiento de aguas residuales en las ciudades.

Aguirre Cordón M.R., Vanegas Chacón E.A y García Álvarez N. (2016) Con la investigación *Water Quality Index Application. Case study: Lake Izabal, Guatemala- 2016*, realizada en el periodo del 2005 al 2014 por medio del índice de calidad de agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de América (ICA-NSF) para determinar el estado del Lago de Izabal, Guatemala, utilizando registros de las variables fisicoquímicas del agua del lago de Izabal, considerando 22 puntos diferentes de muestreo, donde 4 de ellos están ubicados en el centro del

lago y 18 en las desembocaduras principales de los afluentes, considerando las épocas secas y lluviosas por cada año, de las cuales los monitoreos indicaron que el 10.5% en la época seca tuvieron un resultado de una excelente calidad de agua, el 84% con clasificación de buena y el 5.5% presentaron una calidad de agua regular, en época lluviosa se observó que la calidad de agua disminuye levemente, 4.3% de los monitoreos indicaron una excelente calidad de agua, el 86.3% con una calidad de agua buena y un 9.4% presento una calidad de agua regular. Concluyendo que el Lago de Izabal tanto en épocas secas como lluviosas, tiene una categoría de agua buena, enfatizando que parámetros como turbiedad, coliformes fecales, DBO y solidos suspendidos totales no fueron incluidos para el cálculo del ICA-NSF, debido a que no se tuvieron registros de datos de estas variables.

Gutierrez Cabana V.R. (2018) En su investigación *Evaluación de la calidad de agua del río Coata en la desembocadura del río Torococha utilizando el Índice de Calidad de Agua del Consejo Canadiense CCME-WQI y el ICA-PE, Puno – 2018*, evaluó la calidad de agua del río Coata en la desembocadura del río Torococha por medio de dos índices: Índice de Calidad de Agua del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME-WQI) y el Índice de Calidad de Agua de los Recursos Hídricos en el Perú (ICA-PE), se evaluaron dos puntos de monitoreo (M1: 50 metros aguas arriba de la desembocadura del riachuelo proveniente del río Torococha, M2: 200 aguas debajo de la desembocadura) y 14 parámetros en total, durante los meses de septiembre, octubre y noviembre del 2018, en los cuales el oxígeno disuelto en los dos puntos de monitoreo es el único que no cumple con la concentración mínima estipulada por los ECA-AGUA, categoría 3, DBO excede en el punto de monitoreo dos en los 3 meses y en el caso de los coliformes termotolerantes excede en el punto de monitoreo uno solo en el mes de octubre, y en el punto de monitoreo dos en los tres meses que se evalúan. La evaluación con el índice (CCME-WQI) clasifico al punto M1 de calidad buena dándole un valor de 80 y al punto M2 como marginal con un valor de 57, por otro lado, con la evaluación del índice (ICA-PE) se clasificaron ambos puntos de monitoreo con una calidad excelente de agua, de esta manera el CCME-WQI evidencio mayor precisión al indicar el estado de calidad de agua.

Alarcón Pérez B.A., Ñique Álvarez M. (2016) Realizaron la investigación *Índice de calidad del agua según NSF del humedal laguna Los Milagros (Tingo María, Perú) - 2016*, para determinar la calidad de agua a través del Índice de Calidad del Agua establecido por la National Sanitation Foundation de Estados Unidos (NSF) en el humedal laguna Los Milagros en el departamento de Huánuco, para esto se recolectaron muestras en 4 puntos de muestreo en los meses de abril a junio del 2014 siendo este el periodo de estiaje, en los cuales los ECAs para las categorías 1 (uso poblacional y recreacional) y 4 (conservación del ambiente acuático) no son sobrepasados, exceptuando los parámetros de nitratos y fosfatos que superan en ambas categorías provocando eutrofización además de por parámetros bacteriológicos como coliformes fecales, que sobrepasan los ECAs del agua, esta contaminación es originada por campos de cultivo de piña y la ganadería, el resultado del ICA-NSF fue de 62 clasificando al agua con calidad media.

2.2 Marco teórico

2.2.1 El Agua

El agua es considerada un recurso renovable debido al ciclo hidrológico, es abundante e indispensable para la vida humana, pero no es ilimitado, especialmente el agua dulce que tiene un porcentaje bajo del total del recurso natural.

El agua es el epicentro del desarrollo sostenible, fundamental para desarrollo económico, los ecosistemas y los seres vivos, además forma parte de la adaptación al cambio climático y es un vínculo entre la sociedad y el medio ambiente. *El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6, dispone que se debe “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y de saneamiento para todos”,* y debido a que el agua es un recurso de suma importancia contribuye con el cumplimiento y progreso de otros ODS. (Naciones Unidas, 2017)

2.2.2 Calidad del agua

La calidad de agua depende de dos factores tanto naturales como antropogénicos, definitivamente si tales factores antropogénicos no existieran la calidad de agua solo se determinaría por procesos de erosión de minerales, evapotranspiración, sedimentación, lixiviación y procesos biológicos que se dan en el medio acuático, *la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares* (ONU-DAES, 2014), para el caso del agua potable existen normas basadas en niveles de toxicidad aceptables asegurando la limpieza y salubridad en el agua.

A nivel mundial es causa de preocupación la calidad de agua actual, ya que debido al crecimiento poblacional las actividades de producción también aumentaron, generando eutrofización, uno de los problemas más significativos en los cuerpos de agua, provenientes de escorrentía agrícola, aguas residuales domésticas y efluentes industriales, cualquier cambio significativo en los cuerpos de agua que altere su composición y/o concentración de parámetros indicadores son consecuencia de contaminación, alterando en periodos cortos o prolongados la calidad del agua.

2.2.3 Calidad de agua en el Perú

El Perú está dividido en tres regiones hidrográficas debido a la Cordillera de los Andes las cuales son: la vertiente del Amazonas que cuenta con 84 U.H cuya disponibilidad de agua es de 97.27%, vertiente del Lago Titicaca con 13 U.H con disponibilidad de agua de 0.56% y la vertiente del

Pacífico con 62 U.H y con disponibilidad de 2.18%, por el crecimiento poblacional y las actividades económicas, el recurso hídrico en el Perú se está viendo afectado (MINAGRI,2018)

Además, fuentes antropogénicas como la minería informal, manejo inadecuado de residuos sólidos y de agroquímicos, pasivos ambientales, influyen en el deterioro de la calidad de las unidades hidrográficas y afectan los ecosistemas acuáticos en el Perú.

El Perú cuenta con riqueza mineralógica y un excelente potencial minero, debido a esto, algunos cuerpos de agua contienen elevadas concentraciones de minerales correspondientes a las zonas en donde se encuentran.

Se identificó 41 unidades hidrográficas que exceden los ECA-Agua, siendo el vertimiento de aguas residuales, domésticas y municipales las causas principales, según la Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos-2016 (ANA)

Políticas y planes sobre el eje de reusó de agua residual tratada no se están integrando en nuestro país, especialmente en las actividades productivas, porque no se está considerando la eficiencia del agua residual tratada.

Acciones preventivas, supervisión y control deben ser uno de los principales objetivos, el no llevarse a cabo puede generar repercusiones graves como el incremento de costos asociados con el abastecimiento de agua potable y saneamiento, como también potenciales conflictos socio-ambientales hídricos en el país.

2.2.4 Estándares de calidad ambiental

MINAM (2017) Nos menciona que los estándares de calidad ambiental (ECA) para el agua están establecidos por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, para que estos se apliquen correctamente, se debe considerar las siguientes categorías:

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

-Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, hacen referencia a las aguas que después de tratamiento, su destino es para consumo humano.

A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, son aquellas que por su calidad pueden ser destinadas para el consumo humano con una simple desinfección.

A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, destinadas al consumo humano mediante dos o más de los procesos de coagulación, floculación, decantación, sedimentación, filtración; incluida su desinfección.

A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado, aquellas aguas que son destinadas para consumo humano por un tratamiento que incluye procesos avanzados como la percloración, micro filtración, ultra filtración, nano filtración, carbón activado u osmosis inversa.

-Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación, aguas destinadas al uso recreativo, ubicadas en zonas continentales de las cuales su amplitud es determinada por la autoridad competente, y las zonas marino costeras cuya amplitud abarcan hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea desde el límite de la tierra.

B1. Contacto primario, aguas destinadas por la Autoridad de Salud para uso recreacional de contacto primario para actividades como el surf, canotaje, moto acuática, natación, pesca submarina y/o similares.

B2. Contacto secundario, aguas destinadas por la Autoridad de Salud para uso recreacional de contacto secundario en deportes acuáticos con botes, lanchas.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

-Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras, aquellas aguas cuyo destino es la extracción o cultivo de moluscos tales como almejas, machas, conchas, mejillones, erizos, estrellas de mar y tunicados.

-Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras, hace referencia a las aguas destinadas para extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas como peces y algas comestibles para consumo humano directo o indirecto.

-Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras, son aquellas aguas que se encuentran colindantes a las actividades industriales, infraestructuras marino portuarias o servicios de saneamiento.

-Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas, aquellas aguas que son destinadas para extracción o cultivo de especies para consumo humano.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales:

-Subcategoría D1: Riego de vegetales, las cuales dependiendo de los factores son:

. Agua para riego no restringido: son aquellas aguas que permiten ser utilizadas para el riego en cultivos de alimentos que se consumen crudos por su calidad, como también cultivo de árboles y arbustos frutales donde los frutos están en contacto directo con el agua de riego, áreas verdes, parques públicos, plantas ornamentales.

. Agua para riego restringido: Son aquellas aguas que se permiten ser utilizadas en el riego de cultivos alimenticios que se consumen cocidos debido a su calidad, cultivos de tallo alto en los que el riego no entra en contacto directo con el fruto, cultivos que pueden ser destinados para ser procesados, envasados, industrializados, cultivos industriales no comestibles, pasto, forraje, y/o similares.

-Subcategoría D2: Bebida de animales, son aguas destinadas para la bebida de animales mayores tales como: ganado vacuno, camélidos o equinos, como también para animales menores tales como: cuyes, aves, conejos, entre otros.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, aquellos cuerpos naturales de aguas superficiales que por sus características requieren protección.

-Subcategoría E1: Lagunas y lagos, cuerpos naturales de agua lentos

-Subcategoría E2: Ríos, cuerpos naturales de agua loticos:

. Ríos de la costa y sierra, aquellos ríos ubicados en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, como también en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, a más de los 600 m.s.n.m.

. Ríos de la selva, son aquellos ríos ubicados en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, a menos de los 600 m.s.n.m. incluyendo las zonas meandricas.

-Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos:

. Estuarios, zonas donde en valles o cauces de ríos ingresa el agua de mar, hasta el límite superior de la marea, en esta clasificación están incluidos los ecosistemas de marismas y manglares.

. Marinos, zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite nacional.

Dentro de las categorías mencionadas las aguas con fines de potabilización, subterráneas, de origen minero-medicinal, geotermales, atmosféricas y aguas residuales tratadas para el reusó, no se encuentran comprendidas.

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) se encarga de asignar cada cuerpo natural de agua a las categorías mencionadas, en caso de que los cuerpos de agua se identifiquen con dos o más posibles categorías, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría priorizando el uso poblacional.

2.2.5 Clasificación de los cuerpos de agua en el Perú

El agua es el recurso indispensable para diversas actividades socio económico, pero debido al incremento de estas actividades por el crecimiento poblacional, se ha venido afectando la calidad de los recursos hídricos, por esta razón la implementación de la Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales es necesaria para la protección y conservación de la calidad de recursos hídricos.

La Autoridad Nacional del Agua, en el marco de sus funciones establecidas en la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338 ha clasificado los diversos cuerpos naturales de agua (ríos, lagos y lagunas) del territorio nacional. Esta clasificación considera los alcances de los artículos 90 (del recurso

agua continental) y 114 (del agua para consumo humano) de la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611; así como los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua), establecidos mediante el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (ANA, 2018).

Los criterios utilizados para la clasificación se basan en los principios de:

- Sostenibilidad de agua en el uso y su gestión por medio de la integración ambiental, económica y sociocultural, asegurando las necesidades de las generaciones actuales tanto como de las generaciones futuras.
- Prioridad en el acceso del agua para la satisfacción de las necesidades primordiales de las personas por ser un derecho sobre cualquier uso.
- Finalidad de protección del agua, como la conservación y protección de sus fuentes, ecosistemas y bienes asociados a esta.
- Legalidad, basada en la normativa vigente teniendo en consideración aspectos de jerarquía e interpretación integral.
- Uniformidad debido a que el proceso de clasificación se debe realizar por criterios y procedimientos similares (ANA, 2018).

La asignación de las categorías y de la codificación es de acuerdo con la información recolectada de las diferentes fuentes de agua superficiales y su análisis, considerando 3 categorías principales las cuales son:

Categoría 1 Subcategoría A2, referidas a las aguas que, con tratamiento convencional pueden ser potabilizadas y que debido a que está destinado al abastecimiento poblacional, la calidad de agua no debe ser alterada.

Categoría 3, referida al riego de vegetales y bebida de animales

Categoría 4, hace referencia a la conservación del medio ambiente acuático

El establecimiento de la codificación consiste en la combinación de la categoría ECA-Agua y el código Pfafstetter (delimita, codifica y clasifica las cuencas hidrográficas del Perú).

A nivel de cuerpos de agua lóticos (ríos y quebradas) Se ha categorizado un total de 1,154 cursos de agua que incluyen los principales ríos del país; los cuales albergan a 1,224 tramos clasificados según el ECA-Agua vigente.

En la Región Hidrográfica del Pacífico con un total de 740 cursos de agua de los cuales 489 son ríos y 251 quebradas; que albergan 795 tramos con diferente categoría, siendo 52 cursos que se dividen en dos a más tramos, el 64% ha sido categorizados como Categoría 3, un 21% como Categoría 1A2 y 16% con la Categoría 4; debido a que alberga a las principales zonas urbanas y áreas de producción agrícola.

En la Región Hidrográfica del Amazonas con un total de 283 cursos de agua, de los cuales 278 son ríos y 5 quebradas; de los cuales 11 cursos se dividen en dos tramos por su categoría, lo que hace un total de 294 tramos clasificados; el 79% como Categoría 4, Categoría 3 con 20% y solo el 1% como Categoría 1A2; ya que se encuentra principalmente constituida por áreas naturales protegidas del país.

En la Región Hidrográfica del Titicaca, Tiene un total de 131 cursos de agua, de los cuales 121 son ríos y 10 quebradas; que albergan 135 tramos clasificados siendo 2 ríos los que se dividen por su categoría, el 54% de los cursos de agua son representados con la Categoría 3, Categoría 1A2 con 27% y el 19% como Categoría 4; debido a que la población desarrolla actividades comerciales y agrícolas. (ANA, 2018)

2.2.6 Aguas residuales

Según el Organismo Supervisor de Fiscalización Ambiental (OEFA), las aguas residuales son el resultado de la alteración de características originales de las aguas a causa de las actividades humanas y que requieren tratamiento previo antes de ser vertidas al cuerpo natural de agua, ser rehusadas o descargadas al sistema de alcantarillado.

La OEFA también clasifica a las aguas residuales industriales, domésticas y municipales, definiéndolas de acuerdo al Reglamento para el Otorgamiento de Autorizaciones de vertimiento y reúso de aguas residuales tratadas de la manera siguiente:

Aguas residuales industriales: Son las aguas que son originadas por actividades y desarrollo de los procesos productivos, actividades mineras, actividades agrícolas y agroindustriales, entre otras.

Aguas residuales domesticas: Son aguas que tienen como origen zonas residenciales, comerciales e institucionales, los cuales contienen desechos provenientes de las actividades humanas, como residuos que se generan en la preparación de alimentos, residuos generados por el aseo personal, entre otros.

Aguas residuales municipales: Son aguas que pueden derivar de la mezcla de aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales, cumpliendo con los requisitos para ser descargadas en los sistemas de alcantarillas de tipo combinado. (López R. 2015)

TABLA 1: Componentes más Significativos de las Aguas Residuales

Contaminante	Fuente	Importancia Ambiental
Sólidos Suspendidos	Uso doméstico, desechos industriales y agua filtrada a la red	Causa depósitos de lodo y condiciones anaerobias en los ecosistemas acuáticos
Compuestos orgánicos biodegradables	Desechos domésticos e industriales	Causa degradación biológica, incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores, ocasiona condiciones indeseables
Microorganismos patógenos	Desechos domésticos	Causan enfermedades transmisibles
Nutrientes	Desechos domésticos e industriales	Pueden causar eutrofización
Compuestos orgánicos refractarios	Desechos industriales	Pueden causar problemas de sabor y olor, ser tóxicos o carcinogénicos
Metales pesados	Desechos industriales, minería, etc	Son tóxicos, pueden interferir con el tratamiento y reúso del efluente
Sólidos inorgánicos disueltos	Debido al uso doméstico o industrial se incrementan con respecto a su nivel en el suministro de agua	Pueden interferir con el reúso del efluente

FUENTE: Enrique Valdez - 2003

2.2.7 Contaminación del Agua

Las fuentes de contaminación antrópica que afectan la calidad del agua son:

- Fuentes Puntuales: Caracterizadas por descargas únicas o discretas, como son las descargas de efluentes domésticos e industriales, drenaje de minas, derrames y descargas accidentales.
- Fuentes No Puntuales: Son las fuentes de contaminación difusa y comprenden actividades que abarcan grandes áreas, se clasifican según la procedencia como la agricultura y ganadería, drenaje urbano, rellenos sanitarios, entre otras que son más difíciles de controlar que las fuentes puntuales. (Romero, 2017)

Características de aguas residuales de las distintas actividades humanas según su origen:

Origen Domestico: Provenientes de núcleos urbanos y contienen sustancias de las actividades diarias humanas, presenta un tono gris y con diversas materias flotantes, químicamente tiene gran cantidad de materia orgánica, y gran cantidad de microorganismos, se estima que un habitante vierte una cantidad media de contaminación fija, en términos generales se puso un valor de 60 mg /día de DBO y 70 mg /día de sólidos en suspensión por habitante-equivalente. La dotación de agua se sitúa en torno a los 100-300 l/Hb/día, su característica principal es su biodegradabilidad.

Origen Agrícola – Ganadero: Resultado del riego y limpieza ganadera aportando mucha materia orgánica, nutrientes y microorganismos, un problema mayor que genera la agricultura es la contaminación difusa provocada por nitratos, el abarcar un área grande implica imposible su depuración, de tal manera que tiene que reducirse la medida de contaminación porque podría provocar eutrofización en los cuerpos de agua cercanos.

Origen Pluvial: El agua de lluvia es turbia debido a que arrastra aceites, materia orgánica, pesticidas, lixiviados de residuos, etc, en el caso de las industrias puede arrastrar sustancias tóxicas.

Origen Industrial: Generando gran variedad de aguas residuales ya que pueden tener orígenes distintos dependiendo a la industria, con independencia del posible contenido de sustancias similares a los de origen doméstico podrían aparecer elementos propios de cada actividad industrial que podrían ser tóxicos, iones metálicos, detergentes, etc. (Romero, 2017)

2.2.8 Índices de Calidad de Agua

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. (MINAGRI, 2018), es un solo número que expresa la calidad en los cuerpos de agua realizando una incorporación entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con este dato poder expresar características tanto negativas como positivas de cualquier fuente o cuerpo de agua.

Según la Organización de Cooperación de Desarrollo Económico (OECD), los indicadores ambientales tienen funciones principales como el de simplificar el proceso de comunicación de los resultados de la medición del estado de calidad de los cuerpos de agua a las autoridades competentes y al público en general, reducen el número de mediciones y parámetros para hacer una representación de la situación (MINAGRI,2018).

Usos de los Índices:

Los usos de los índices se centran en mejorar la información de la calidad con respecto a los cuerpos de agua como también su manera de difusión, algunos de los usos de los índices son:

- Aplicación de la normatividad: Para determinar si se sobrepasa las políticas existentes y la normatividad ambiental.
- Clasificación de áreas: Su uso también es para contrastar o comparar el estado del recurso de diversas áreas geográficas.
- Manejo del Recurso: Su uso es para las personas a cargo de la toma de decisiones en las prioridades del recurso, mediante la información proveída.
- Análisis de la tendencia: La toma de datos y el análisis en los índices de calidad en un periodo de tiempo determinado, muestran a lo largo de este tiempo la mejora o el deterioro de la calidad del recurso
- Información pública: Su utilidad es en educación ambiental y acciones de concientización.
- Investigación científica: El uso es para simplificar datos, de esta manera llegar a un análisis de manera sencilla y proporcionar una visión de fenómenos medioambientales. (Ott, 1978)

Tipos de índices de calidad de agua más importantes a nivel mundial:

- Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF):

Según Fernandez & Solano (2005). Fue desarrollado para proporcionar un método estándar para poder comparar en varios cuerpos de agua la calidad de las aguas, se realizó en 1970 por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) de Estados Unidos, y efectuando la técnica Delphi, la cual es utilizada en paneles de experto y se basó en tres estudios:

1. Donde se probaron 35 variables de contaminación incluidos en el índice, de los cuales los expertos los clasificaron en tres categorías determinando si el parámetro debería ser: no incluido, indeciso o incluido, si fuera considerado como incluido debía dar una calificación de 1 a 5 de acuerdo a su nivel de importancia.
2. Donde se realizó la evaluación comparativa de las respuestas, y como resultado fueron 9 variables las que se eligieron con mayor importancia, las cuales son: oxígeno disuelto,

coliformes fecales, ph, DBO5, nitratos, fosfatos, desviación de temperatura, turbidez y solidos totales.

3. Donde los participantes fueron cuestionados sobre el desarrollo de la curva de valoración para cada variable, donde los niveles de calidad de agua estaban en un rango de 0-100 y colocados en las ordenadas, mientras que los diferentes niveles de las variables fueron colocados en las abscisas, cada participante realizo la curva que para ellos representaba la variación de calidad de agua, causada por el nivel de contaminación de las variables

La formulación y el cálculo del índice se rige en establecer los pesos para los subíndices, de tal manera que estos sumen 1, de esta manera los pesos fueron: oxígeno disuelto, coliformes fecales, ph, DBO5, nitratos, fosfatos, desviación de temperatura, turbiedad y sólidos totales.

De acuerdo con esto, para el cálculo del índice NSF se usa la suma lineal ponderada, cuyo resultado debe estar en el rango de 0 a 100, donde 0 es la calidad de agua pobre y 100 es la calidad de agua excelente.

La fórmula actual del índice es por medio de un promedio aritmético ponderado

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i \quad (FÓRMULA 1)$$

Donde:

WQI: índice de calidad de agua

SI_i: subíndice del parámetro i

W_i: factor de ponderación para el subíndice i

El resultado final es interpretado por la siguiente escala de clasificación: Excelente (91-100), Buena (71-90), Media (51-70), Mala (26-50), Muy Mala (0-25).

- Índice de Calidad de Agua de Oregon (OWQI):

Según Poonam, Sukalyan y Tanushree (2013). Fue desarrollado por el Departamento de Calidad Medioambiental de Oregon en los años 70's y posteriormente actualizado en 1995, este índice considera la metodología Delphi y considera 8 variables las cuales son: DQO, OD, ph, temperatura, sólidos totales, coliformes fecales, amonio y nitrato, fosforo total, este índice es aplicado en corrientes de Oregon pero para aplicarlo en otros cuerpos de agua se debe tener cuidado. Una función aritmética ponderada se utilizó en el índice originalmente, representada:

(FÓRMULA 2)

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$$

Donde, SI_i , es el subíndice de cada parametro, W_i es el factor de ponderación, n es el numero de subíndices.

La formula de ponderación aritmetica, posteriormente es mejorada por medio de una formula que incluya la raíz cuadrada.

$$WQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}} \quad (\text{FÓRMULA 3})$$

Dónde: WQI: Índice de Calidad de Agua, n : Número de Subíndices, SI_i : Subíndice del parámetro i .

-Índice de Dinius

Según Poonam, Sukalyan y Tanushree, (2013). El índice de Dinius es un índice multiplicativo desarrollado para seis categorías de usos de agua que son: suministro público de agua, recreación, pesca, mariscos, agricultura e industria, utilizo el método Delphi e incluyo doce parámetros: oxígeno disuelto, DBO5, recuento de coliformes, recuento de E-coli, ph, alcalinidad, dureza, cloruro, conductividad específica, temperatura, color y nitratos, la ponderación de cada parámetro se evaluó por importancia y las funciones de subíndice individuales se combinaron con ayuda de una función de agregación multiplicativa:

$$IWQ = \sum_{i=1}^n I_i^{W_i} \quad (\text{FÓRMULA 4})$$

Donde, IWQ es el índice de calidad del agua de Dinius cuyo valor varía de 0 a 100, I_i es la función de subíndice del parámetro contaminante, W_i es el peso unitario del parámetro contaminante cuyo valor varía de 0 a 1 y n es el número de parámetros contaminantes

-Índice del Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME):

Este índice se desarrolló para la evaluación de aguas superficiales y su protección de vida acuática, requiere mínimo cuatro parámetros, muestreados 4 veces. Según Poonam, Sukalyan y Tanushree (2013) el índice CCME se desarrolló para simplificar datos técnicos y complejo referidos a la calidad del agua, se basa en la ciencia que prueba los datos de calidad de agua de diferentes variables con los parámetros de referencia de la calidad de agua determinados por la persona a ejecutar el índice.

Este índice combina tres medidas de varianza que son: el alcance, la frecuencia, y la magnitud, para producir una sola cifra que represente la calidad general del agua en un sitio y en relación con el punto de referencia escogido. El resultado es representado por un único número donde el rango es de 0-100, donde 100 indica que las variables eran similares o por debajo a los puntos de referencia escogidos.

Ecuación del índice canadiense, utiliza 3 factores y se representa de la siguiente manera:

$$WQI = 100 - \left(\sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{1.732}} \right) \quad (\text{FÓRMULA 5})$$

Dónde:

F1= Alcance, variables cuyos objetivos no se cumple

F2=Frecuencia, número de veces con la que los objetivos no son cumplidos

F3=Amplitud, rango en el que las pruebas fallidas están por encima de la guía

Una de sus limitaciones es la falta de portabilidad del índice a distintos tipos de ecosistemas.

- Índice de Calidad de Agua “ICA-PE”

La evaluación de la calidad de agua en el Perú se realiza por la comparación de los parámetros medidos en campo (físicos, químicos y biológicos) con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental de Agua o ECA-Agua, en base a la categoría asignada en a los cuerpos de agua superficiales a evaluar, de acuerdo a esto se determina su cumplimiento o incumplimiento, sin embargo esta evaluación no es precisa para dar a conocer el nivel de calidad de agua referida a escalas como excelente, buena, regular, mala o pésima.

Debido a este factor se adaptó el índice Canadian Council of Ministers of the Environment o CCME_WQI para nuestro país, debido a que su evaluación de la calidad de agua es más amplia en un periodo de tiempo determinado, y además tiene en cuenta el número de parámetros que superan los estándares de referencia, datos que no cumplen con los estándares y la magnitud de superación, de esta manera permite adaptarla para su determinación, con datos como los resultados de

monitores, clasificación de cuerpos de agua y los ECA-Agua, además requiere menos información de parámetros obtenidos de un monitoreo. (MINAGRI, 2018)

Por consiguiente, el ICA-PE resume y simplifica datos haciéndola más entendible a nivel de gestión de calidad de los recursos hídricos y por el público en general.

-Parámetros considerados para la evaluación de la calidad de agua:

De acuerdo con la información que proporciona la ANA, se identificaron los parámetros más recurrentes en concordancia con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, teniendo en cuenta la categoría del cuerpo de agua asignada, su alineación con la “Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales” y a los ECA-Agua.

TABLA 2: Parámetros considerados para la Categoría 1-A2 Poblacional y Recreacional, aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.

Numero	Parámetro	Unidades
1	Oxígeno disuelto (con valor mínimo)	mg/L
2	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L
3	Arsénico	mg/L
4	Cadmio	mg/L
5	Cobre	mg/L
6	Cromo total	mg/L
7	Hierro	mg/L
8	Manganeso	mg/L
9	Plomo	mg/L
10	Mercurio	mg/L
11	Zinc	mg/L

12	Potencial de Hidrogeno (pH)	Unid. De Ph
13	Coliformes Termotolerantes(44,5°C)	NMP/100ml

FUENTE: Ministerio de Agricultura y Riego – 2018

TABLA 3: Parámetros considerados en la Categoría 3, Riego de vegetales y bebida de animales

Numero	Parámetro	Unidades
1	Cloruros	mg/L
2	Conductividad	mg/L
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO5)	mg/L
4	Oxígeno Disuelto(valor mínimo)	mg/L
5	Potencial de Hidrogeno (pH)	Unid. de pH
6	Aluminio	mg/L
7	Arsénico	mg/L
8	Boro	mg/L
9	Cadmio	mg/L
10	Cobre	mg/L
11	Hierro	mg/L
12	Manganeso	mg/L
13	Mercurio	mg/L

14	Plomo	mg/L
15	Zinc	mg/L
16	Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml
17	Huevos y Larvas helmintos	Huevos/L

FUENTE: Ministerio de Agricultura y Riego – 2018

TABLA 4: Parámetros considerados en la Categoría 4, Conservación del ambiente acuático

Numero	Parámetro	Unidades
1	Aceites y Grasas (MEH)	mg/L
2	Clorofila A	mg/L
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO5)	mg/L
4	Fosforo Total	mg/L
5	Amoniac- N	mg/L
6	Nitrógeno Total	mg/L
7	Oxígeno Disuelto(valor mínimo)	mg/L
8	Potencial de Hidrogeno(pH)	mg/L
9	Arsénico	mg/L
10	Cadmio	mg/L
11	Mercurio	mg/L
12	Plomo	mg/L

13	Zinc	mg/L
14	Hidrocarburos de Petróleo HTTP	mg/L
15	Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100ml
16	Solidos Suspendidos Totales	mg/L
17	Hidrocarburos Policíclicos Aromaticos(benzopireno,antraceno,fluoranteno)	mg/L

FUENTE: Ministerio de Agricultura y Riego – 2018

Información necesaria para ICA-PE:

Para realizar el ICA-PE es necesario contar con una amplia base de datos, por consiguiente, es importante contar con una red de puntos de monitoreo ubicados a lo largo del curso de agua o parte de un cuerpo de agua, la data mínima recomendada es de 4 parámetros a evaluar, en mínimo 4 monitoreos, no hay especificación de un máximo de parámetros que se pueden considerar y que se pueden aplicar a más puntos de monitoreo, como hasta una cuenca completa.

Calculo del ICA-PE

Para la determinación de este índice se aplican los factores de alcance, frecuencia y amplitud, y como resultante único será un valor comprendido entre 0-100 que representará el estado de la calidad de agua de un curso de agua o un punto de monitoreo.

. Alcance: Es la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen con la normativa de ECA-Agua vigente, respecto al total de parámetros que se van a evaluar.

. Frecuencia: Es la cantidad de datos que no cumplen ECA-Agua con respecto al total de datos de los parámetros a evaluar (datos correspondientes a los resultados de 4 monitoreos como mínimo)

. Amplitud: Referida a la desviación en los datos, se determina por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos con respecto al número total de datos.

Al haber obtenido los valores de los tres factores señalados, se puede determinar el cálculo del Índice de Calidad de Agua, expresado por la siguiente ecuación:

Evacuación para la determinación de ICA-PE

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}}$$

(FÓRMULA 6)

El valor del índice de calidad de agua ICA-PE es representado por un número adimensional dentro de un rango de 5 escalas, entendidos como niveles de sensibilidad que expresan y califican el estado de la calidad del agua.

TABLA 5: Interpretación de la calificación ICA-PE

ICA - PE	Calificación	Interpretación
90-100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
75-89	Bueno	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
45-74	Regular	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
30-44	Malo	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
0-29	Pésimo	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

FUENTE: Ministerio de Agricultura y Riego - 2018

2.2.9 Parámetros de calidad de agua

-Oxígeno Disuelto (OD):

El oxígeno proviene de la atmósfera y se disuelve en las aguas superficiales, con el aumento de la profundidad el oxígeno es menor debido a la respiración de microorganismos, descomposición microbiana y por absorción, el crecimiento de microorganismos y desarrollo de actividades metabólicas dependen del oxígeno molecular, por lo tanto, conocer el oxígeno disuelto es de suma importancia para conocer la distribución de organismos, para la descomposición de materia orgánica, etc

Un nivel más alto de OD indica mejor calidad de agua, la cantidad de OD depende también de la temperatura, el rango en el que puede variar es de 0 – 18ppm, un nivel de 5-6ppm es suficiente para la vida acuática pero un nivel igual o menor a 3ppm es donde empieza a dañarla. El oxígeno disuelto también se puede expresar por porcentajes de saturación (PEÑA, 2007).

-Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5):

Las aguas superficiales están expuestas a la contaminación, la materia orgánica necesita oxígeno para su degradación, el oxígeno utilizado para la degradación es el que debería ser utilizado para la flora y fauna acuática, debido a esto se generan alteraciones de cambio en la calidad de agua y probabilidad de elevación del pH, provocando mortandad en los peces.

La cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para degradar la oxidar residuos orgánicos en forma aerobia es la demanda bioquímica de oxígeno, esta se determina con una temperatura de 20°C, en 5 días y expresado en mg/l O₂, lo que significa que es la cantidad total de oxígeno que se consume por microorganismos en los primeros 5 días de biodegradación. (RAFFO Y RUIZ, 2014)

-Potencial de Hidrogeno (pH):

El pH en la mayoría de las aguas varía entre 6.5 a 8.5, sujetos a fenómenos de turbulencia y aireación. La evolución química de metales, solubilidad y disponibilidad son determinados por el pH, (MINAGRI, 2018), un pH bajo lo que también puede permitir a elementos tóxicos ser más disponibles para que los organismos y plantas acuáticas los tomen, lo que puede provocar condiciones tóxicas para estos. (YAN, 2007)

-Cambio de temperatura:

La temperatura es un parámetro muy importante, ya que por este parámetro pueden verse afectadas las velocidades de las reacciones químicas y la viscosidad, generando cambios en el ambiente para el desarrollo de la flora y fauna, puede ocasionar el aumento de toxicidad en algunas sustancias disueltas y disminuye el oxígeno disuelto provocando condiciones anaerobias, también es de suma importancia en los diferentes procesos de tratamiento de aguas. (SIERRA, 2011).

-Conductividad:

Se define como la capacidad del agua para pasar una corriente eléctrica, esta es afectada por sólidos inorgánicos disueltos, los compuestos orgánicos como el aceite no conducen bien la corriente eléctrica, teniendo una baja conductividad en el agua. También es afectada por la temperatura, más alta la temperatura mayor conductividad, debido a esto la conductividad se informa a 25°C.

La conductividad se mide en micromhos por centímetro ($\mu\text{mhos} / \text{cm}$) o microsiemens por centímetro ($\mu\text{s} / \text{cm}$). (EPA, 2015).

-Turbidez:

Turbiedad es la capacidad del material suspendido en los cuerpos de agua que obstruye el paso de la luz, es causada por erosión natural de origen inorgánico como las arcillas, arena, entre otros o por contaminación proveniente de industrias y desechos domésticos, que pueden tener un elevado grado de material orgánico, disminuye la producción de oxígeno que se puede dar por la fotosíntesis y restringe el uso de agua debido a su deterioro estético.

La turbiedad se mide con turbidímetros basados en principios nefelométrico, cuyo resultado es en UNT. (SIERRA, 2011).

-Clorofila A:

Es definido como un parámetro ambiental para hallar la biomasa de los fitoplanctones, la clorofila A representa del 1-2% de todo el peso seco de las algas del plancton. (MINAGRI, 2018)

-Fosforo total:

Puede ser utilizado como indicador de cantidad de detergentes sintéticos vertidos a una corriente, ya que éstos poseen entre el 12 al 13% de fósforo en sus formulaciones. Desde el punto de vista de la eutrofización de cuerpos de agua, el nivel crítico es aproximadamente 0,01 mg/L. (SIERRA, 2011)

-Fosfatos:

Se forma del fosforo inorgánico, existe en fragmentos sueltos y en cuerpos de organismos que viven en el agua, opera como un nutriente del crecimiento de algas, por lo que, si existe gran cantidad de este compuesto, el crecimiento de algas será incontrolado y afectara a la cantidad de oxígeno en el agua, incrementando a su vez el crecimiento de materia orgánica viva y procesos de descomposición de biomasa extremos, conduciéndolo a un proceso de eutrofización. (BOLAÑOS, CORDERO Y SEGURA; 2017)

-Nitrógeno total:

El nitrógeno es esencial para el crecimiento de protistas y plantas, el nitrógeno total está compuesto por amoníaco, nitritos y nitratos, nitrógeno orgánico, la prueba con la que se estima el nitrógeno es Kjeldahl (NTK). El NTK determina la concentración de nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal. (SIERRA, 2011)

-Nitratos:

Son sales solubles presentes naturalmente pero que su incremento es debido a las actividades antropogénicas, las fuentes de contaminación son debido al vertido de residuos industriales, aguas residuales urbanas, efluentes orgánicos por la ganadería, y la principal fuente que es la actividad agronómica. Los nitratos son altamente solubles debido a esto llega a alcanzar altas concentraciones en los cuerpos de agua. (BOLAÑOS, CORDERO Y SEGURA; 2017)

-Metales Pesados:

La presencia de altas concentraciones de metales pesados en los cuerpos de agua puede repercutir en la vida acuática ya que puede presentar efectos tóxicos, además del largo tiempo que puede permanecer en el medio ambiente, la entrada de metales pesados a los cuerpos de agua es de forma natural por meteorización de materiales en la corteza terrestre, pero sin duda el porcentaje más alto de entrada es por actividades como aguas residuales domésticas, industriales, escorrentías de carreteras, agricultura, entre otras.

TABLA 6: Metales Pesados

METALES PESADOS	
Arsénico	La contaminación por este metal es debido a la fabricación o utilización de pesticidas y/o herbicidas, obstruye la reproducción celular, los efectos en los tejidos de muchos organismos por su acumulación, pueden durar un tiempo si la concentración es baja, aun así es mortal.
Aluminio	En agua para el consumo humano este metal debe estar en 54ug/L y en aguas subterráneas en 0,1ug/L, el sulfato de aluminio se una en procesos de floculación para potabilizar el agua, valores mayores a 1,5mg/L es toxico peligroso para el ambiente acuático.
Boro	Es un elemento común en aguas residuales domésticas y en algunos desechos industriales, es esencial en pequeñas cantidades para el crecimiento de las plantas, concentraciones mayores de 0,5 mg/L son dañinas para algunas plantas.
Cadmio	Este metal es peligroso ya que puede llegar a combinarse con otras sustancias toxicas, en la vida acuática afecta de manera principal a los micromoluscos, y en seres humanos con enfermedades cardiovasculares.
Cobre	La toxicidad sobre los organismos acuáticos varía de acuerdo a la especie, características físicas y químicas del agua como la temperatura, dureza, turbiedad y contenido de CO ₂
Cromo	Su toxicidad varía con el estado de oxidación, el Cr ⁺⁶ es el estado más nocivo, también varía con la temperatura y el ph, las sales de cromo dan una coloración en el agua.
Hierro	Aguas que presentan gran concentración de este metal, al tener contacto con el aire, puede precipitar originando sedimentos y coloración en el agua, imposibilita el uso de agua para algunas actividades industriales y hace posible el crecimiento de bacterias de hierro (crenothrix).

Manganeso	Su oxidación hace posible la formación de precipitados, generando turbiedad y disminuyendo la calidad estética de los cuerpos de agua.
Mercurio	Cuando está presente en agua para consumo humano tiene efectos como el de debilitar los músculos, pérdida de la visión, entre otras incluyendo el estado de coma o muerte.
Plomo	Es un metal acumulativo en el cuerpo humano, si el agua está contaminada con sales de plomo forma en los peces una película mucosa coagulante, en las agallas y luego en todo el cuerpo provocándoles sofocación.
Zinc	Es un elemento esencial para los animales y las plantas, pero en concentraciones elevadas es tóxico para algunas especies acuáticas, en aguas alcalinas puede originar opalescencia por concentraciones de 5mg/L, la presencia de este elemento indica descargas contaminantes industriales.

FUENTE: Sierra Ramírez – 2011

-Cloruros:

Son sales resultantes de un metal con el gas cloro, el cloro es tóxico, pero combinado con un metal es esencial para la vida en pequeñas cantidades, derivan de fuentes naturales, aguas residuales y vertidos industriales. Los niveles de concentración de cloruro son menores a 10mg/L en aguas que no estén contaminadas. (GARCIA et al., s.f)

-Sólidos suspendidos totales:

Son principalmente de naturaleza orgánica, formados por materiales contenidos en las aguas residuales, la mayor parte de estos son desechos humanos, desperdicios de alimentos, etc. Que forman una masa de sólidos suspendidos en el agua. (MACIAS, 2013), afectando la claridad del agua, ingreso de la luz, la temperatura y fotosíntesis.

-Sólidos Disueltos Totales:

Comprenden sales inorgánicas como calcio, magnesio, potasio, sodio, etc. y cantidades pequeñas de materia orgánica disueltas en el agua, provienen de fuentes naturales, aguas

residuales e industriales, escorrentía urbana, debido a que estas sales tienen diferentes solubilidades, las concentraciones varían en todas las zonas. (MACIAS, 2013)

-Coliformes Termotolerantes/ fecales:

Su denominación es debido a que pueden soportar temperaturas hasta 45°C, son indicadores de calidad por su origen, están representados por E. coli, se pueden encontrar otras especies como *citrobacter freundii* y *klebsiella pneumoniae*, su origen normalmente es ambiental de fuentes de agua, vegetación y suelos, debido a esto autores plantean que el termino coliformes fecales debería ser sustituido por coliformes termotolerantes.

Integran el grupo de coliformes totales, su diferencia es que son indol positivo, su intervalo de temperatura óptima de crecimiento es amplio y son mejores indicadores de higiene en alimentos y agua, su presencia indica que existe contaminación fecal (humano, animal). (LARREA, ROJAS, ROMEU Y HEYDRICH; 2013).

-Huevos y larvas helmintos:

Todos los tipos de gusano son catalogados como helmintos, tanto los parasitarios que infectan a las personas y animales y que generalmente es asociado con aguas residuales que no han recibido tratamiento, como los no parasitarios, la vía que permite a estos parásitos realizar infecciones es por consumo de agua contaminada. (MINAGRI, 2018)

-Hidrocarburos Totales de petróleo:

Compuesto insoluble además que presenta un alto nivel de toxicidad para la vida acuática, la presencia de este compuesto en los cuerpos de agua es debido a accidentes en las industrias o de productos secundarios de uso comercial o privado, cuando se presentan derrames de este compuesto una parte forma una capa en la superficie y otra parte se acumula en los sedimentos. (MINAGRI, 2018)

-Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos:

Estos compuestos llegan al medio ambiente por procesos de combustión y pirolisis, debido a su solubilidad baja y afinidad por las partículas, no se suele encontrar en los cuerpos de agua en concentraciones significantes. (MINAGRI, 2018)

-Aceites y grasas:

Son sustancias que ocasionan películas sobre los cuerpos de agua provocando que el oxígeno atmosférico no se transfiera, las grasas son compuestos como los esteres, ceras, ácidos grasos de alto peso molecular, llegan a los cuerpos de agua por actividades humanas, las grasas inhiben el paso de la luz solar y del oxígeno disuelto en el agua, además que son perjudiciales para la vida acuática, debido a que se adhieren en las branquias de los peces.

Las grasas son consideradas desechos sólidos y los aceites son considerados desechos líquidos. (SIERRA, 2011).

2.3 Marco Legal

- Constitución Política del Perú (1993)
- Ley N° 28611 (Ley General del Ambiente)
- Decreto Legislativo N° 1013: En este decreto se aprueba la creación, organización y funciones del MINAM (Ministerio del Ambiente)
- Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental N° 28245 con modificatoria en la Ley N° 29514: Se crea el Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental que estará a cargo de la OEFA para supervisar y garantizar que las funciones de evaluación, supervisión, fiscalización, control y potestad sancionadora en materia ambiental.
- Decreto Supremo N° 003 – 2010 - MINAM (Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales - PTAR).
- Decreto Supremo N° 004 – 2017 - MINAM (Estándares Nacionales de Calidad de Agua)
- Ley de Recursos Hídricos del Perú N° 29338
- Decreto Supremo N° 001-2010-AG, que aprueba el Reglamento de la Ley N° 29338.
- Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA, que aprueba la Clasificación de Cuerpos de Aguas Superficiales y Marino-Costeros
- Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA, que aprueba el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.

- Ley N° 29906 que Declara de necesidad y utilidad pública la prevención y la recuperación ambiental integral del lago Titicaca y sus afluentes
- Decreto Supremo N° 075-2013-PCM conformación de la Comisión Multisectorial para la prevención y recuperación ambiental de la cuenca del Lago Titicaca y sus afluentes.
- Resolución Ministerial N° 301-2013-MINAM que aprueba el Reglamento interno de la Comisión Multisectorial para la prevención y recuperación ambiental de la cuenca del Lago Titicaca y sus afluentes.
- Decreto Supremo N° 004-2014-Ministerio de Agricultura y Riego.





3. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación es no experimental - descriptiva - explicativa, debido a que describe situaciones, eventos, a través de aspectos o componentes, en el caso del proyecto, variables que son los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos para determinar el índice de calidad ambiental.

Esta investigación tiene carácter documental debido a que es un proyecto basado en el análisis, búsqueda e interpretación de datos secundarios, las estimaciones de los índices de calidad se realizan de acuerdo con una data generada por monitoreos de la red de aguas superficiales de las bahías afluentes del lago Titicaca.

La investigación también es de tipo evolutiva, debido a que se analiza cambios en el tiempo de la calidad de agua en las bahías del lago.

De igual manera la investigación es aplicada por que se utiliza conocimientos que surgen de la investigación básica para implementarlos de una manera práctica de tal manera ayude con el avance y desarrollo de los diferentes sectores del país como también en los servicios a la sociedad.

3.2 Descripción del área de estudio

3.2.1 Ubicación de estudio

El Lago Titicaca está ubicado en el departamento de Puno a 3 812 m.s.n.m y el área comprendida entre las siguientes coordenadas:

- 15°13'54" y 16°35'28" de latitud Sur
- 68°34'17" y 70°01'40" de longitud Oeste

3.2.2. Límites del área de estudio

Estas coordenadas corresponden a los puntos, dentro de los cuales está delimitado el lago Titicaca:

- Por el norte: localidad de Vilquechico
- Por el sur: localidad de Guaqui
- Por el este: localidad de Puerto Pérez
- Por el oeste: localidad de Paucarcolla

3.2.3 Área de estudio

Según el D.S. N° 075-2013-PCM, el área que abarca en Lago Titicaca es variable, según el PEBLT tiene un área de 8 400km² (Espejo del lago), lago Mayor, 6,450 km², lago Menor (1,400 km²), golfo de Puno (550 km²), de los cuales 4,996 km² corresponde al Perú, y 3,404km² (45%) a Bolivia.

El largo es de 180 km (Eje Ramis – desembocadura del rio Colorado, cerca de Pucarani – Bolivia), sin embargo, el PEBLT asigna 176 km de largo.

El ancho máximo del lago es de 110 km (Eje Puno – Conina), el PEBLT asigna 70 km, con un ancho promedio de 50 km.

El perímetro es de 915 km, está sujeto a variación de acuerdo con los años lluviosos.

El área del lago varía mucho de acuerdo con los ciclos de precipitación anuales, presentados principalmente en épocas de sequía y precipitación, indudablemente ocurren inundaciones de planicies, contiguas a los cursos de ríos y en algunas ocasiones se pueden llegar a juntar con otros lagos como fue el caso de Arapa en los años que la precipitación fue superior a años anteriores, de esta manera adquiere un área mucho mayor que puede fluctuar entre 8 500 a 9 500 km².

Presenta un volumen de agua de 903 MMC, correspondiendo el 98.5% al lago Mayor.

- Población:

La población para el presente trabajo, abarca las bahías del Lago Titicaca, en el anillo circunlacustre lado peruano enmarcado en el sistema TDPS (Titicaca, Desaguadero, Popo y Salar de Coipasa).

- Muestra:

Los puntos evaluados en las bahías principales del lago Titicaca son un total de 10 estaciones, localizados en las siguientes bahías: Moho, Vilquechico, Pusi, Capachica, Chucuito, Pilcuyo (Huayllata), Juli, Pomata, Yunguyo y Desaguadero en el lago Titicaca muestreadas por el programa de Monitoreo de Aguas Superficiales del Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca (PEBLT) donde la entidad tomo en consideración actividades antropogénicas como la actividad agrícola, urbana y acuícola.



FUENTE: Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca - 2017

Tabla 7: Puntos de Monitoreo de las Principales Bahías del Lago Titicaca

ID	CODIGO	ESTACION	LOCALIDAD	COORDENADAS		
				X	Y	Z
1	Vil-B.1	Bahía de Vilquechico	Vilquechico	425441	8315476	3810
2	Pus-B.1	Bahía de Pusi	Pusi	404004	8286624	3810
3	Moh-B.1	Bahía de Moho	Moho	443246	8300552	3810
4	Cap-B.1	Bahía de Capachica	Capachica	414689	8261501	3810

5	Chu-B.1	Bahía de Barco (Chucuito)	Chucuito	404258	8243843	3810
6	Pil-B.1	Bahía de Huayllata(Pilcuyo)	Pilcuyo	454870	8223747	3810
7	Jul-B.1	Bahía de Juli	Juli	450706	8208709	3810
8	Yun-B.1	Bahía de Yunguyo	Yunguyo	489324	8204836	3810
9	Pom-B.1	Bahía de Pomata	Pomata	468514	8202395	3810
10	Des-B.1	Bahía de Desaguadero	Desaguadero	496021	8169318	3810

FUENTE: Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca – 2020

3.3 Materiales y equipos

- Computadora personal
- Material de escritorio
- Guías metodológicas
- Información remitida por instituciones

3.4 Metodología de investigación

3.4.1 Calculo de los valores del Índices de Calidad de Agua, ICA-PE Y el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF)

Para la determinación de los Índices de Calidad de Agua, ICA-PE Y el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF), es necesario primero dar a conocer las fuentes contaminantes de las bahías principales del Lago Titicaca.

3.4.1.1 Identificación de Fuentes de Contaminación en el Lago Titicaca:

El lago Titicaca es el cuerpo natural de agua, receptor de carga contaminante contenida en las aguas residuales domésticas, municipales e industriales, así como de las generadas por las actividades mineras también de fuentes difusas, como la agricultura y la ganadería, cuyos impactos en la calidad del agua son muy claros en determinadas zonas como la bahía Interior de Puno, la bahía de Yunguyo, la bahía Mayor de Puno, la parte baja del río Coata en el tramo comprendido entre la ciudad de Juliaca y la desembocadura en el lago Titicaca, y en ciertos tramos de los ríos Putina y Ayaviri.

De acuerdo con la información del MINAM se han incluido en su inventario un total de 34 fuentes puntuales de contaminación, de ellas 4 corresponden a residuales de la actividad minera en Ananea y Suchez. De acuerdo a esta información, menos los residuales de Acora, estas fuentes impactan a ríos o directamente al Lago Titicaca, luego existen corrientes de aguas residuales generadas por la actividad socio-económica.

Entre las fuentes puntuales identificadas 17 (50%) de ellas tienen algún sistema de tratamiento, pero en todos los casos está operando muy por debajo de su diseño por problemas de operación y mantenimiento. (PNUMA, 2011)

ITEM 0		ITEM I			ITEM II				
CODIFICACION DE LA FICHA DE FUENTES DE		DATOS GENERALES			UBICACION GEOPOLITICA				
N°	COD	CUENCA	RIO	N. ORDEN	PAIS	DEPARTAMENT	PROVINCIA	DISTRITO	LOCALIDAD
1	A109-VD01	RIO AZANGARO	CRUCERO	4	PERU	PUNO	CARABAYA	CRUCERO	CRUCERO
2	A109-VD02	RIO AZANGARO	AJOYANI	5	PERU	PUNO	CARABAYA	AJOYANI	AJOYANI
3	A109-VD03	RIO AZANGARO	CRUCERO	4	PERU	PUNO	AZANGARO	POTONI	CARLOS GUTIERREZ
4	A109-VD04	RIO AZANGARO	ANTAUTA	5	PERU	PUNO	MELGAR	ANTAUTA	ANTAUTA
5	A109-VD05	RIO AZANGARO	SAN ANTON	4	PERU	PUNO	AZANGARO	SAN ANTON	SAN ANTON
6	A109-VD06	RIO AZANGARO	LAGUNA ASILLO	5	PERU	PUNO	AZANGARO	ASILLO	ASILLO
7	A109-VD07	RIO AZANGARO	NUNOA	5	PERU	PUNO	MELGAR	NUNOA	NUNOA
8	A109-VD08	RIO PUCARA	SANTA ROSA	5	PERU	PUNO	MELGAR	SANTA ROSA	SANTA ROSA
9	A109-VD09	RIO AZANGARO	AZANGARO	4	PERU	PUNO	AZANGARO	AZANGARO	AZANGARO
10	A109-VD10	RIO PUCARA	AYAVIRI	4	PERU	PUNO	MELGAR	AYAVIRI	AYAVIRI
11	A109-VD11	RIO PUCARA	PUCARA	4	PERU	PUNO	LAMPA	PUCARA	PUCARA
12	A109-VD12	RIO LAMPA	LAMPA	4	PERU	PUNO	LAMPA	LAMPA	LAMPA
13	A109-VD13	RIO CABANILLA	CABANILLAS	4	PERU	PUNO	LAMPA	SANTA LUCIA	SANTA LUCIA
14	A109-VD14	RIO CABANILLA	CABANILLAS	4	PERU	PUNO	SAN ROMAN	CABANILLAS	CABANILLAS
15	A109-VD15	RIO COATA	TOROCOCOA	4	PERU	PUNO	SAN ROMAN	CARACOTO	TOROCOCOA
16	A109-VD16	RIO HUANCANE	HUANCANE	4	PERU	PUNO	HUANCANE	HUANCANE	HUANCANE
17	A109-VD17	RIO HUANCANE	PUTINA	4	PERU	PUNO	SAN ANTONIO DE PUTIN	PUTINA	PUTINA
18	A109-VD18	RIO RAMIS	RAMIS	4	PERU	PUNO	HUANCANE	TARACO	TARACO
19	A109-VD19	LAGO TITICACA	LAGO TITICACA	2	PERU	PUNO	MOHO	MOHO	MOHO
20	A109-VD20	LAGO TITICACA	LAGO TITICACA	2	PERU	PUNO	PUNO	PUNO	PUNO
21	A109-VD21	LAGO TITICACA	LAGO TITICACA	2	PERU	PUNO	PUNO	ACORA	ACORA
22	A109-VD22	LAGO TITICACA	LAGO TITICACA	2	PERU	PUNO	PUNO	CHUCUITO	CHUCUITO
23	A109-VD23	RIO ILAVE	ILAVE	4	PERU	PUNO	EL COLLAO	ILAVE	ILAVE
24	A109-VD24	LAGO TITICACA	LAGO TITICACA	2	PERU	PUNO	CHUCUITO JULI	JULI	JULI
25	A109-VD25	LAGO TITICACA	LAGO TITICACA	2	PERU	PUNO	CHUCUITO JULI	POMATA	POMATA
26	A109-VD26	LAGO TITICACA	LAGO TITICACA	2	PERU	PUNO	YUNGUYO	YUNGUYO	YUNGUYO
27	A109-VD27	LAGO TITICACA	LAGO TITICACA	2	PERU	PUNO	CHUCUITO JULI	ZEPITA	ZEPITA
28	A109-VD28	RIO DESAGUADERO	DESAGUADERO	2	PERU	PUNO	CHUCUITO JULI	DESAGUADERO	DESAGUADERO
1	A109-VM01	RIO AZANGARO	LUNAR DE ORO	5	PERU	PUNO	SAN ANTONIO DE PUTIN	ANANEA	RINCONADA
2	A109-VM02	RIO AZANGARO	PAMPA BLANC	5	PERU	PUNO	SAN ANTONIO DE PUTIN	ANANEA	PAMPA BLANCA
3	A109-VM03	RIO AZANGARO	ANANEA	4	PERU	PUNO	SAN ANTONIO DE PUTIN	ANANEA	ANANEA
4	A109-VM04	RIO SUCHES	TRAPICHE	5	PERU	PUNO	SAN ANTONIO DE PUTIN	ANANEA	ANANEA
5	A109-VM05	RIO SUCHES	SUCHES	4	PERU	PUNO	HUANCANE	COJATA	SUCHES

FUENTE: PNUMA - 2011

Las principales fuentes de contaminación del agua en la cuenca del lago Titicaca son el vertimiento directo e indirecto de aguas residuales municipales y domésticas, crudas o inadecuadamente tratadas, cuyo volumen total anual aforado es de **22 757 639 m³/año** (95,3 %) respecto del total proyectado (23 690 229,90 m³); el vertimiento de **236 520 m³/año** de aguas residuales industriales; el **2 987 405 m³/año** de aguas residuales de origen minero; los **794 707 m³/año** de aguas procedentes de pasivos ambientales mineros; los **94 608 m³/año** de aguas termales utilizadas en recreación, y las **132 654 TM/año** de basura, que son depositadas en botaderos municipales a cielo abierto, expuestos a la lluvia. (ANA, 2017)

Área circunlacustre lago Mayor

En el ámbito circunlacustre comprendido entre Tilali por el sureste y Kasani por el suroeste, a 2015 la población urbana total era de 625 185 habitantes distribuidos en diez centros urbanos donde se producían alrededor de 637 027 m³/año de aguas residuales municipales y 5160 TM/año de basura. Existen veintitrés vertimientos de aguas residuales municipales y treinta botaderos municipales de residuos sólidos, donde se deposita la basura sin ningún tratamiento.

Área circunlacustre de la bahía Mayor de Puno

En el ámbito circunlacustre de la bahía Mayor de Puno, comprendido entre la península de Capachica por el este y la península de Chucuito por el sur, La producción total de aguas residuales municipales fue de 157 680 m³/año, y la de residuos sólidos, de 4392 TM/año.

Debido a la migración poblacional hacia los centros urbanos, así como del crecimiento propio de la población urbana, influye en la demanda de agua potable y en la producción de aguas residuales municipales, que se vierten a los ríos o al lago Titicaca, tratadas o no tratadas, incrementan la contaminación en los cuerpos de agua, debido a la ausencia de sistemas de tratamiento o al colapso de los existentes.

La minería, en la zona alta de la cuenca del río Ramis, los últimos diez años, se ha convertido en una fuente importante de contaminación de las lagunas aledañas al centro poblado. A ella se suman la agricultura que utiliza agroquímicos, y la crianza de ganado que podrían considerarse fuentes de contaminación difusa, con respecto a la actividad industrial en la cuenca no se encuentran grandes complejos industriales.

El “parque industrial” se concentra en las ciudades de Puno, Juliaca, Ayaviri, Azángaro e Ilave. Está compuesto por la industria manufacturera y sus efluentes son descargados directamente a los cuerpos de agua o a las redes de alcantarillado, estos son fuentes de contaminación debido a que contienen materia orgánica, aceites y grasas, residuales de hidrocarburos, etc.

Otra fuente significativa de contaminación y eutrofización es la piscicultura que se lleva a cabo en diferentes zonas del lago Titicaca, en el lago Arapa y en la laguna Lagunillas, pues produce materia orgánica y nutriente, así como metabolitos propios de la trucha.

La actividad agropecuaria también contamina los cuerpos de agua debido al aporte de contaminantes patógenos generados por la ganadería y de nutrientes derivados de los residuales de fertilizantes y plaguicidas. (ANA, 2017)

3.4.1.2 Técnica de recolección de datos:

- Análisis documental: Por medio de esta técnica se recolectan datos de fuentes secundarias, en tal sentido el proyecto se realizó por medio de esta técnica, recopilación de información secundaria, generada por el Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca (PEBLT) entidad que cuenta con su propio laboratorio fisicoquímico y microbiológico en proceso de acreditación, la información recopilada es de las campañas de monitoreo participativo en las bahías principales del lago Titicaca lado peruano realizadas en el periodo 2015-2020.

Los monitoreos, la toma de muestra se realizó al 20% de la columna de agua y el muestreo que se aplicó fue de tipo no probabilístico, del tipo por conveniencia, donde se seleccionan las muestras en base a un conocimiento y juicio profesional, la cual busca acceder a muestras de manera intencional en base a un criterio el cual sea conveniente para el estudio. Los puntos de monitoreo se localizaron tomando en consideración criterios como: los niveles de contaminación por vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales, actividad agrícola, actividad acuícola (piscicultura), contaminación por residuos sólidos y la cercanía a los centros poblados (pueblos) por contaminación urbana.

La frecuencia de los monitoreos fue de 2 a 3 veces por año los cuales se toman en época de sequía y época de precipitación.

3.4.1.3 Cálculo del ICA-PE

Para la estimación del ICA -PE en este proyecto se requirió la data de los parámetros medidos en los monitoreos de los años 2015 al 2020 en los 10 puntos de muestreo ubicados en la bahía mayor del Lago Titicaca de Puno

Para la selección de los parámetros considerados y por lo expuesto en la metodología ICA-PE, el Lago Titicaca se encuentra en la Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático. En la siguiente tabla se representa los parámetros atribuidos a la categoría 4 para la estimación del ICA-PE en los 10 puntos de monitoreo seleccionados.

TABLA 8: Categoría 4 - Conservación del ambiente acuático

Numero	Parámetro	Unidades
1	Aceites y Grasas (MEH)	mg/L
2	Clorofila A	mg/L
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO5)	mg/L
4	Fosforo Total	mg/L
5	Amoniaco- N	mg/L
6	Nitrógeno Total	mg/L
7	Oxígeno Disuelto(valor mínimo)	mg/L
8	Potencial de Hidrogeno(pH)	mg/L
9	Arsénico	mg/L
10	Cadmio	mg/L
11	Mercurio	mg/L
12	Plomo	mg/L
13	Zinc	mg/L
14	Hidrocarburos de Petróleo HTTP	mg/L
15	Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100ml
16	Solidos Suspendidos Totales	mg/L
17	Hidrocarburos Policíclicos Aromaticos(benzopireno,antraceno,fluoranteno)	mg/L

FUENTE: Ministerio de Agricultura y Riego - 2018

Posterior mente la data se evaluó con los ECA-AGUA (Anexo 1) donde se aplicaron las fórmulas basadas en el CCME los que se basan en 3 factores (alcance, frecuencia y amplitud), la determinación de los factores se realiza por las siguientes formulas:

F1- Alcance: Cuya representación es la cantidad de parámetros que no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua (ECA-AGUA), respecto al total de parámetros que se evalúan.

$$F1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA-Agua}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}} \quad (\text{FÓRMULA 7})$$

F2- Frecuencia: La representación es la cantidad de datos que no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental del Agua respecto al total de datos de los parámetros que se evalúan.

$$F2 = \frac{\text{Número de parámetros que No cumplen el ECA-Agua de los datos evaluados}}{\text{Número total de datos evaluados}} \quad (\text{FÓRMULA 8})$$

F3-Amplitud: Se determina por la suma normalizada de excedentes, este término se refiere a la suma de los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F3 = \frac{\text{Suma Normalizada de excedentes}}{\text{Suma Normalizada de excedentes}+1} * 100 \quad (\text{FÓRMULA 9})$$

$$nse = \frac{\sum_{i=1} \text{excedente } i}{\text{total de datos}} \quad (\text{FÓRMULA 10})$$

Donde: nse = suma normalizada de excedentes

Los excedentes se calculan en base a dos casos diferentes:

Caso 1: cuando el valor de la concentración del parámetro supera el valor del ECA-AGUA

$$\text{Excedente} = \frac{\text{valor del parámetro que no cumple el ECA-Agua}}{\text{valor establecido del parámetro en ECA-Agua}} - 1$$

(FÓRMULA 11)

Caso 2: Cuando el valor de la concentración del parámetro es menor al valor del ECA-AGUA, incumpliendo su condición.

$$\text{Excedente} = \frac{\text{valor establecido del parámetro en el ECA-Agua}}{\text{valor del parámetro que no cumple el ECA-Agua}} - 1$$

(FÓRMULA 12)

Una vez obtenido los 3 factores (F1, F2, F3) se procedió a calcular el ICA-PE con la siguiente formula:

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

(FÓRMULA 13)

El índice se representa con un valor adimensional, comprendido en un rango de 5 niveles que califican el estado del agua en pésimo, malo, regular, bueno y excelente.

Para una mejor estimación de los resultados del ICA-PE, se trabajó en hojas de cálculo en Microsoft 365 Excel versión 16.48, ingresando toda la data y las fórmulas de acuerdo con la metodología ICA-PE para cada punto de monitoreo.

3.4.1.4 Cálculo del Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF)

Para la estimación del ICA-NSF en este proyecto se requirió la data de 9 parámetros los cuales son oxígeno disuelto, coniformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, sólidos totales disueltos medidos en los monitoreos de los años 2015 al 2020 en los 10 puntos de muestreo ubicados en la bahía mayor del Lago Titicaca de Puno.

A cada uno de estos parámetros se le denota el factor de ponderación (importancia), respecto a los otros parámetros del índice (Wi).

TABLA 9: Factores de Ponderación ICA- NSF

Parámetro	Factor de Ponderación
Oxígeno Disuelto	0,17
Coliformes Fecales	0,16
pH	0,11
DBO ₅	0,11
Cambio de Temperatura	0,10
Fosfatos Totales	0,10
Nitratos	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Disueltos Totales	0,07

FUENTE: Jiménez y Vélez - 2006

El parámetro de temperatura se tuvo que redimir por a la falta de datos para su obtención, debido a lo mencionado se tuvo que recalcular la distribución de los factores de ponderación.

Posteriormente se calcula el subíndice del parámetro (SI_i) a partir de funciones de calidad, expresadas en curvas de función para cada variable (ANEXO 2), todas las ecuaciones son certeras debido a que el coeficiente de correlación es 1 y 0.99.

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$$

(FÓRMULA 14)

Donde:





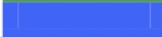
WQI: Índice de calidad de agua

SI_i: Subíndice del parametro i

W_i: Factor de ponderación para el subíndice i

Una vez determinado todos los valores se realizó la suma ponderada de todos los subindices determinado el ICA-NSF, donde el valor 0 representa la calidad de agua en muy mala y 100 como la calidad de agua excelente.

TABLA 10: Clasificación de la calidad de agua ICA- NSF

VALOR DEL ÍNDICE	CLASIFICACIÓN	LEYENDA
0 - 25	Calidad muy mala (MM)	
26 - 50	Calidad mala (M)	
51 - 70	Calidad media (R)	
71 - 90	Calidad buena (B)	
91 - 100	Calidad excelente (E)	

FUENTE: Jiménez y Vélez - 2006

3.4.2 Evaluación del cumplimiento de los ECA-Agua en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos:

Para evaluar los parámetros utilizados en los índices de calidad de agua ICA-PE e ICA-NSF con los ECA – Agua establecidos por el Ministerio del Ambiente en su Decreto Supremo 004-2017-MINAM, se utilizó Microsoft 365 Excel versión 16.48 para realizar gráficas demostrativas de los datos respecto a cada parámetro y evaluar si estos cumplen con los ECA -Agua máximos y mínimos establecidos (Anexo 1).

3.4.3 Evolución anual de la calidad del agua en el periodo 2015-2020

Para el cálculo de la evolución anual se optó por realizar gráficas lineales utilizando Microsoft 365 Excel versión 16.48, las gráficas se hicieron para cada bahía (10 bahías principales del Lago Titicaca), de tal manera se pueda apreciar los niveles de calidad de agua de cada punto de muestreo en el periodo designado.



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de los Índices de Calidad de Agua, ICA-PE y el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF)

4.1.1 Resultados ICA-PE

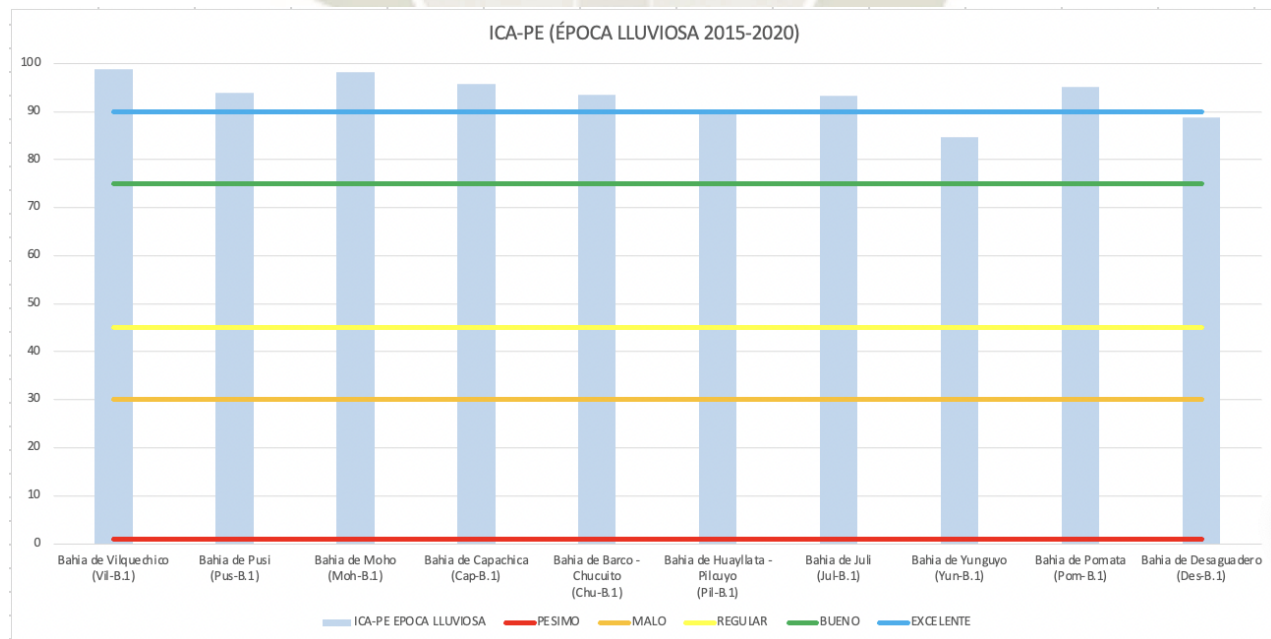
4.1.1.1 Índice de Calidad de Agua ICA-PE en época lluviosa

TABLA 11: Valores obtenidos para ICA-PE en época lluviosa

Puntos de monitoreo - Bahias	ICA-PE(ÉPOCA LLUVIOSA)	
Bahia de Vilquechico (Vil-B.1)	98.78	EXCELENTE
Bahia de Pusi (Pus-B.1)	93.84	EXCELENTE
Bahia de Moho(Moh-B.1)	98.15	EXCELENTE
Bahia de Capachica(Cap-B.1)	95.69	EXCELENTE
Bahia de Barco - Chucuito(Chu-B.1)	93.58	EXCELENTE
Bahia de Huayllata - Pilcuyo(Pil-B.1)	90.17	EXCELENTE
Bahia de Juli (Jul-B.1)	93.33	EXCELENTE
Bahia de Yunguyo(Yun-B.1)	84.67	BUENO
Bahia de Pomata(Pom-B.1)	95.09	EXCELENTE
Bahia de Desaguadero(Des-B.1)	88.77	BUENO

FUENTE: Elaboración Propia

GRÁFICO 1: Variación del ICA-PE (2015-2020) en época lluviosa



FUENTE: Elaboración Propia

De acuerdo con la tabla N° 11 y el gráfico representativo N° 1, los puntos de monitoreo o las bahías en época húmeda según el ICA-PE se encuentran en una calidad de agua excelente o buena, dos de las bahías tuvieron clasificación buena que fueron entre los rangos 75-89: la bahía de Yunguyo (84.67) y la bahía de Desaguadero (88.77), en las demás bahías restantes la clasificación de la calidad de agua fue de excelente en el rango de 90-100 según la Metodología del ICA-PE.

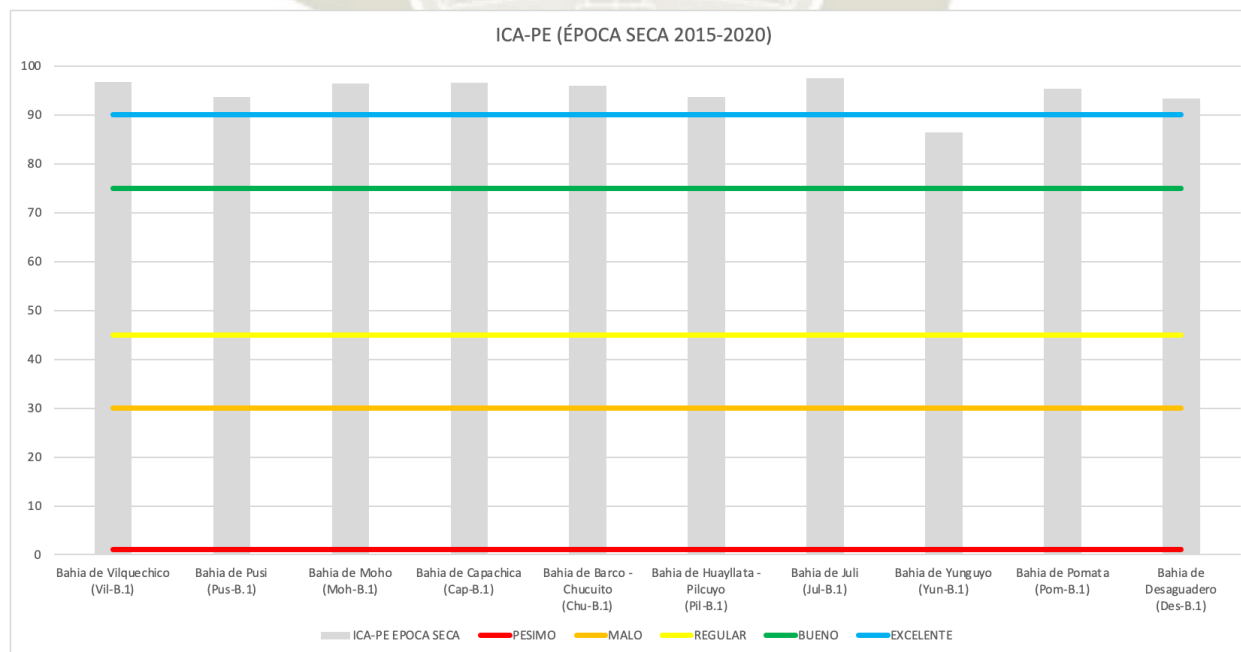
4.1.1.2 Índice de Calidad de Agua ICA-PE en época seca

TABLA 12: Valores obtenidos para ICA-PE en época seca

Puntos de monitoreo - Bahías	ICA-PE (ÉPOCA SECA)	
Bahía de Vilquechico (Vil-B.1)	96.74	EXCELENTE
Bahía de Pusi (Pus-B.1)	93.63	EXCELENTE
Bahía de Moho (Moh-B.1)	96.48	EXCELENTE
Bahía de Capachica (Cap-B.1)	96.51	EXCELENTE
Bahía de Barco - Chucuito (Chu-B.1)	95.96	EXCELENTE
Bahía de Huayllata - Pilcuyo (Pil-B.1)	93.60	EXCELENTE
Bahía de Juli (Jul-B.1)	97.48	EXCELENTE
Bahía de Yunguyo (Yun-B.1)	86.47	BUENO
Bahía de Pomata (Pom-B.1)	95.35	EXCELENTE
Bahía de Desaguadero (Des-B.1)	93.41	EXCELENTE

FUENTE: Elaboración Propia

GRÁFICO 2: Variación del ICA-PE (2015-2020) en época seca



FUENTE: Elaboración Propia

Según la tabla 12 y en el gráfico 2, los valores representados para las 10 bahías del Lago Titicaca en época seca en el periodo 2015-2020, se observó que solo la bahía de Yunguyo tiene una clasificación de agua Buena, en cuando a las nueve bahías restantes su clasificación en cuanto a la calidad de agua es de Excelente que se encuentra dentro del rango 90-100.

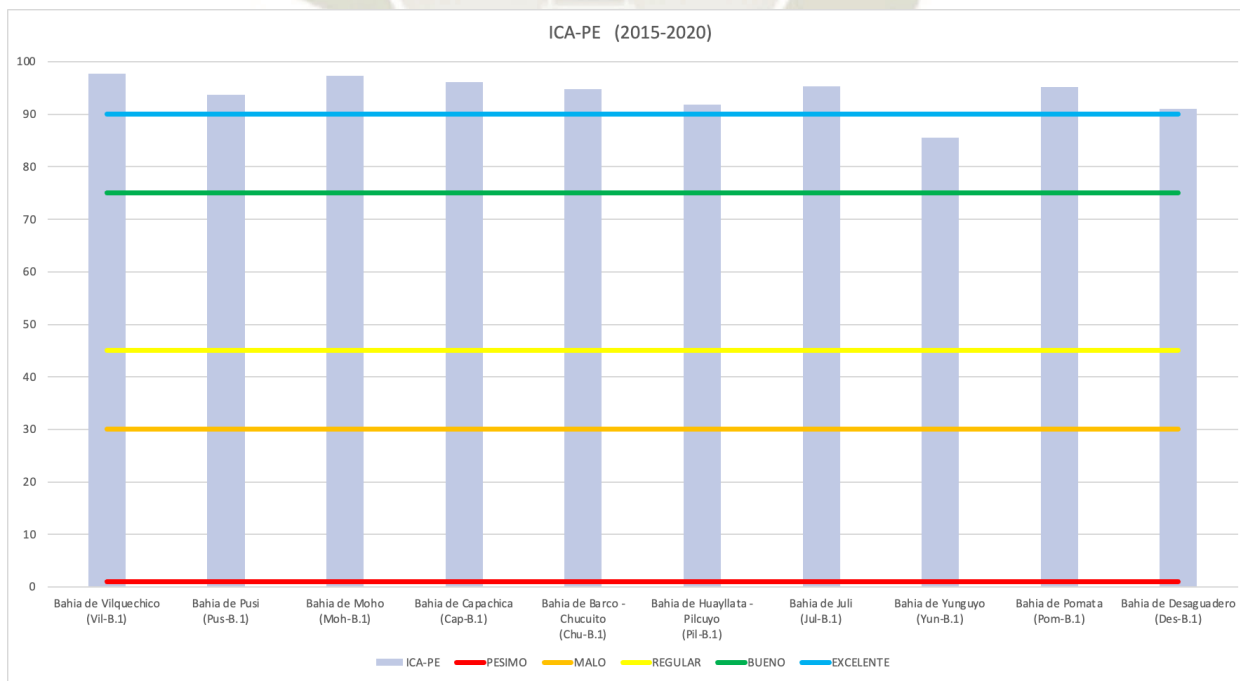
4.1.1.3 Índice de Calidad de Agua ICA-PE

TABLA 13: Valores obtenidos para ICA-PE

Puntos de monitoreo - Bahias	ICA-PE	
Bahia de Vilquechico (Vil-B.1)	97.75	EXCELENTE
Bahia de Pusi (Pus-B.1)	93.73	EXCELENTE
Bahia de Moho(Moh-B.1)	97.30	EXCELENTE
Bahia de Capachica(Cap-B.1)	96.10	EXCELENTE
Bahia de Barco - Chucuito(Chu-B.1)	94.74	EXCELENTE
Bahia de Huayllata - Pilcuyo(Pil-B.1)	91.82	EXCELENTE
Bahia de Juli (Jul-B.1)	95.33	EXCELENTE
Bahia de Yunguyo(Yun-B.1)	85.55	BUENO
Bahia de Pomata(Pom-B.1)	95.21	EXCELENTE
Bahia de Desaguadero(Des-B.1)	90.98	EXCELENTE

FUENTE: Elaboración Propia

GRÁFICO 3: Variación del ICA-PE (2015-2020)



FUENTE: Elaboración Propia

La evaluación general del ICA-PE en los años 2015-2020 representado en el gráfico 3 indica que todas las bahías tienen una calidad de agua Excelente y solo la bahía de Yunguyo una calidad de agua buena, según (Paredes,2020) en su estudio menciona que los resultados en el ICA-PE no son definitivos debido a que no se utilizaron todos los parámetros requeridos en la categoría 4, (Rodríguez,2019) recomienda que cuando se trata de cuerpos de agua con alta presencia de metales pesados es recomendable aplicar el ICA-PE ya que su metodología los contempla, además que la falta de determinación de parámetros dificulta la determinación del índice ICA-PE ya que es dependiente de los mismos.

4.1.2 Resultados ICA-NSF

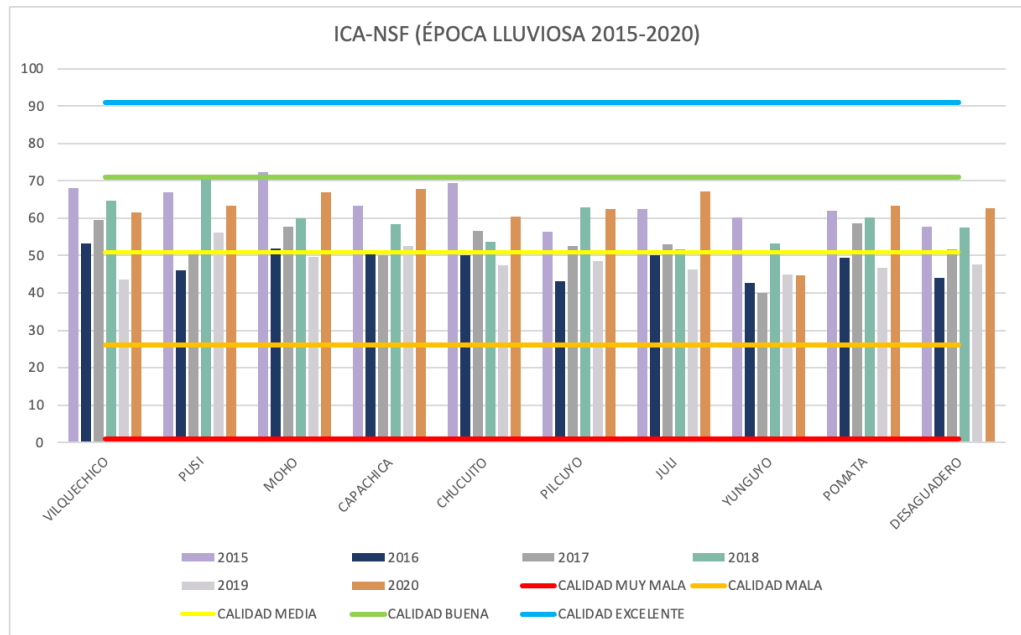
4.1.2.1 Resultados del Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) época lluviosa

TABLA 14: Valores obtenidos para ICA-NSF en época lluviosa

BAHIAS	2015	2016	2017	2018	2019	2020						
VILQUECHICO	67.97	MEDIA	53.28	MEDIA	59.45	MEDIA	64.60	MEDIA	43.57	MALA	61.61	MEDIA
PUSI	66.99	MEDIA	46.07	MALA	51.04	MEDIA	70.54	BUENA	56.24	MEDIA	63.45	MEDIA
MOHO	72.38	BUENA	51.91	MEDIA	57.71	MEDIA	60.06	MEDIA	49.70	MALA	67.02	MEDIA
CAPACHICA	63.25	MEDIA	50.56	MEDIA	50.19	MALA	58.49	MEDIA	52.58	MEDIA	67.87	MEDIA
CHUCUITO	69.42	MEDIA	50.13	MALA	56.52	MEDIA	53.66	MEDIA	47.31	MALA	60.46	MEDIA
PILCUYO	56.31	MEDIA	43.04	MALA	52.47	MEDIA	62.85	MEDIA	48.48	MALA	62.41	MEDIA
JULI	62.49	MEDIA	50.06	MALA	53.03	MEDIA	51.78	MEDIA	46.25	MALA	67.10	MEDIA
YUNGUYO	60.20	MEDIA	42.66	MALA	40.05	MALA	53.30	MEDIA	45.01	MALA	44.62	MALA
POMATA	62.12	MEDIA	49.44	MALA	58.53	MEDIA	60.26	MEDIA	46.74	MALA	63.43	MEDIA
DESAGUADERO	57.79	MEDIA	43.97	MALA	51.70	MEDIA	57.44	MEDIA	47.71	MALA	62.74	MEDIA

FUENTE: Elaboración Propia

GRÁFICO 4: Variación del ICA-NSF (2015-2020) época lluviosa



FUENTE: Elaboración Propia

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 14 y el gráfico 4 utilizando el ICA-NSF en la época lluviosa, en la bahía de Vilquechico en el año 2019 es donde se presentó una caída con respecto a la calidad del agua teniendo como resultado una calidad de agua MALA (43.57). En la bahía de Pusi en el año 2016 la calidad de agua tuvo una clasificación de MALA (46.07) y en el año 2018 la clasificación fue de BUENA (70.54). Para la bahía de Moho en 2015 es donde se presentó la mejor calidad de agua con respecto a los demás años, la clasificación fue BUENA (72.38) y la peor calidad de agua en el año 2019 (49.70). En la bahía de Capachica en el año 2017 donde la calidad de agua fue MALA con valor de 50.19. Para las bahías de Chucuito, Pilcuyo, Juli, Pomata y Desaguadero en los años 2016 y 2019 fue donde se presentó calidades de agua bajos representando una clasificación de calidad MALA que de acuerdo con el ICA-NSF tiene un rango de valores de 26-50. En la bahía de Yunguyo, cuatro años los valores de calidad fueron bajos, en 2016 con 42.66, en 2017 con 40.05, en 2019 con 45.01 y en 2020 el resultado fue un valor de 44.62 representando calidad de agua MALA.

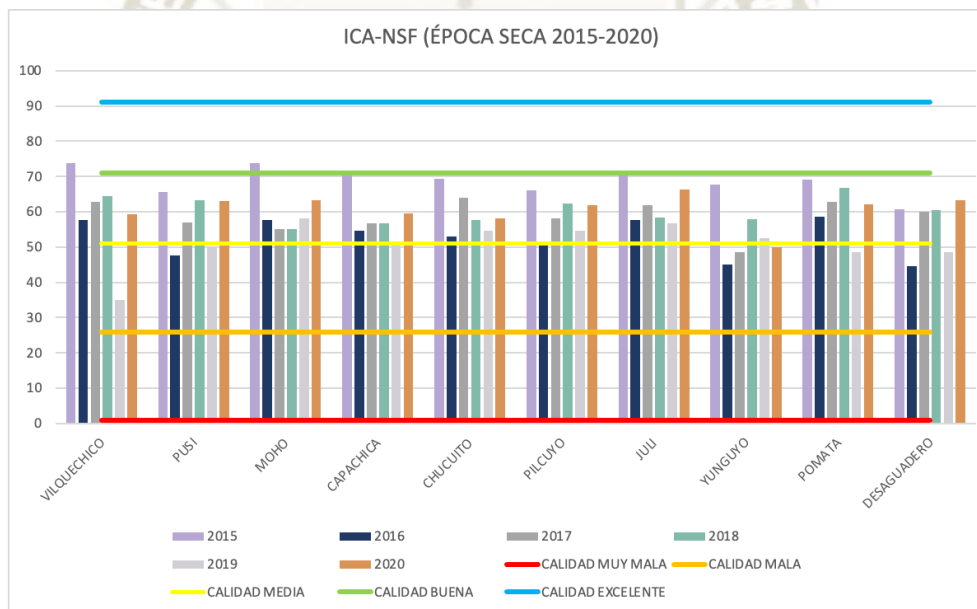
4.1.2.2 Índice del a Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) época seca

TABLA 15: Valores obtenidos para ICA-NSF en época seca

BAHIAS	2015		2016		2017		2018		2019		2020	
VILQUECHICO	73.80	BUENA	57.55	MEDIA	62.85	MEDIA	64.52	MEDIA	34.96	MALA	59.40	MEDIA
PUSI	65.57	MEDIA	47.63	MALA	56.96	MEDIA	63.37	MEDIA	50.15	MALA	62.96	MEDIA
MOHO	73.83	BUENA	57.56	MEDIA	55.12	MEDIA	55.06	MEDIA	58.10	MEDIA	63.30	MEDIA
CAPACHICA	70.89	BUENA	54.64	MEDIA	56.65	MEDIA	56.69	MEDIA	50.86	MEDIA	59.64	MEDIA
CHUCUITO	69.32	MEDIA	52.98	MEDIA	64.08	MEDIA	57.59	MEDIA	54.67	MEDIA	58.08	MEDIA
PILCUYO	66.07	MEDIA	51.33	MEDIA	58.14	MEDIA	62.45	MEDIA	54.63	MEDIA	61.96	MEDIA
JULI	70.93	BUENA	57.61	MEDIA	61.85	MEDIA	58.38	MEDIA	56.69	MEDIA	66.24	MEDIA
YUNGUYO	67.80	MEDIA	45.00	MALA	48.66	MALA	57.94	MEDIA	52.61	MEDIA	49.84	MALA
POMATA	69.22	MEDIA	58.56	MEDIA	62.85	MEDIA	66.73	MEDIA	48.48	MALA	62.09	MEDIA
DESAGUADERO	60.60	MEDIA	44.60	MALA	59.94	MEDIA	60.49	MEDIA	48.45	MALA	63.21	MEDIA

FUENTE: Elaboración Propia

GRÁFICO 5: Variación del ICA-NSF (2015-2020) época seca



FUENTE: Elaboración Propia

En base a lo señalado en la tabla 15 y en el gráfico 5, al hacer uso del ICA-NSF en las 10 bahías del Lago Titicaca los resultados fueron: En la bahía de Vilquechico en el año 2015 se obtuvo una calidad de agua BUENA (73.80), lo contrario sucedió en 2019 que se obtuvo una calidad de agua MALA (34.96). La bahía de Pusi tuvo una calidad de agua MALA (47.63) en 2016 y de (50.15) en el 2019. Para la bahía de Moho la calidad de agua fue BUENA (73.83) en el 2015. En la bahía de Capachica en el año 2015 se observó que el resultado fue de una calidad de agua BUENA (70.89).

En la bahía de Juli solo un año tuvo calidad de agua BUENA (70.93) que fue en 2015. La bahía de Yunguyo tuvo resultados de calidad de agua MALA en 2016 con valor de 45, en el 2017 con valor de 48.66 y en 2019 con un valor de 49.84. En la bahía de Pomata el año en que la calidad de agua fue MALA (48.48) se dio en 2019. Para la bahía de Desaguadero se observó la calidad de agua MALA en los años 2016 obteniendo un valor de 44.60 y en 2019 con un valor de 48.45. Los años que no se nombraron en cada bahía su clasificación de calidad de agua fue de MEDIA.

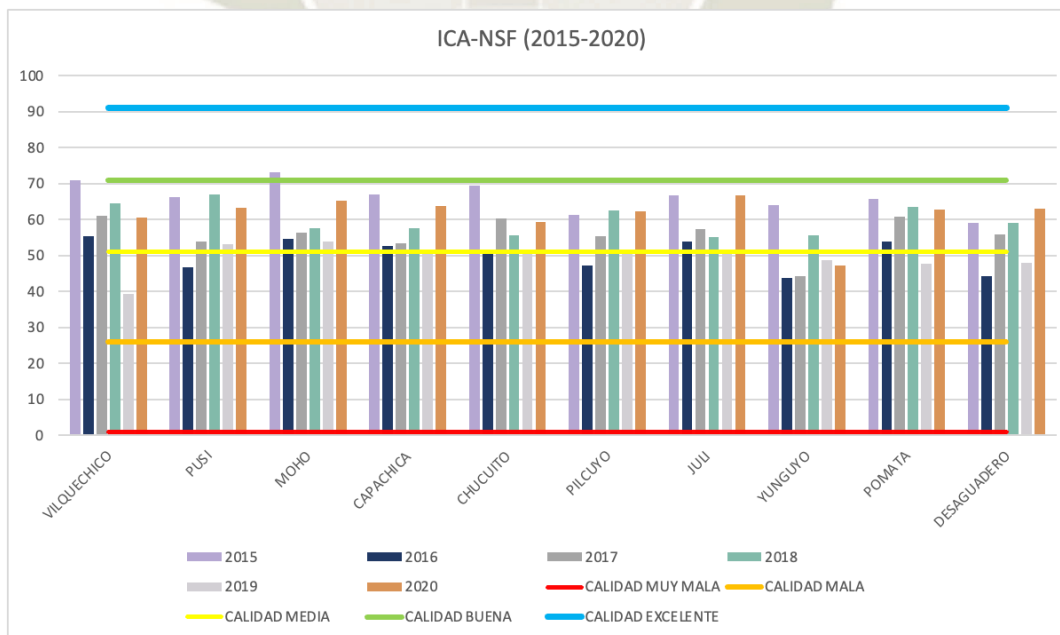
4.1.2.3 Índice del a Fundación Nacional de Saneamiento (NSF)

TABLA 16: Valores obtenidos para ICA-NSF

BAHIAS	2015		2016		2017		2018		2019		2020	
VILQUECHICO	70.88	MEDIA	55.41	MEDIA	61.15	MEDIA	64.56	MEDIA	39.26	MALA	60.50	MEDIA
PUSI	66.28	MEDIA	46.85	MALA	54.00	MEDIA	66.95	MEDIA	53.19	MEDIA	63.20	MEDIA
MOHO	73.10	BUENA	54.73	MEDIA	56.41	MEDIA	57.56	MEDIA	53.90	MEDIA	65.16	MEDIA
CAPACHICA	67.07	MEDIA	52.60	MEDIA	53.42	MEDIA	57.59	MEDIA	51.72	MEDIA	63.76	MEDIA
CHUCUITO	69.37	MEDIA	51.55	MEDIA	60.30	MEDIA	55.63	MEDIA	50.99	MEDIA	59.27	MEDIA
PILCUYO	61.19	MEDIA	47.18	MALA	55.30	MEDIA	62.65	MEDIA	51.56	MEDIA	62.18	MEDIA
JULI	66.71	MEDIA	53.84	MEDIA	57.44	MEDIA	55.08	MEDIA	51.47	MEDIA	66.67	MEDIA
YUNGUYO	64.00	MEDIA	43.83	MALA	44.35	MALA	55.62	MEDIA	48.81	MALA	47.23	MALA
POMATA	65.67	MEDIA	54.00	MEDIA	60.69	MEDIA	63.49	MEDIA	47.61	MALA	62.76	MEDIA
DESAGUADERO	59.20	MEDIA	44.28	MALA	55.82	MEDIA	58.96	MEDIA	48.08	MALA	62.98	MEDIA

FUENTE: Elaboración Propia

GRÁFICO 6: Variación del ICA-NSF (2015-2020)



FUENTE: Elaboración Propia

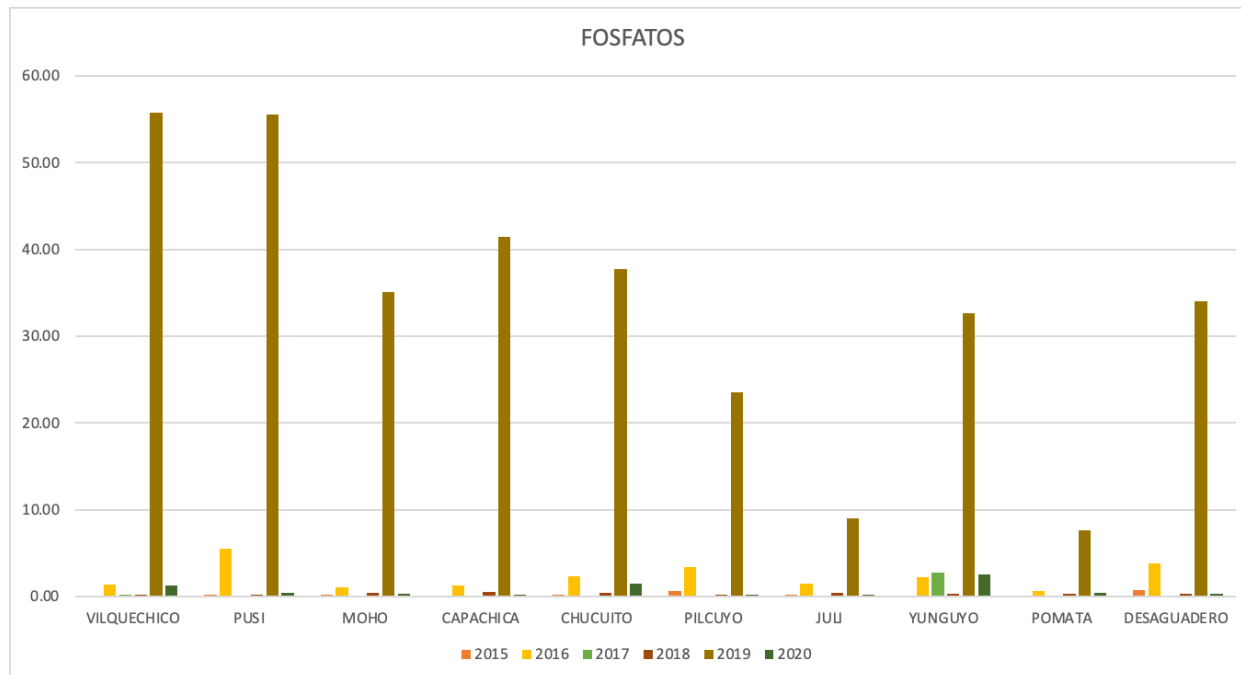
Los resultados para el promedio de las dos estaciones (lluviosa y seca) en los años 2015 al 2020 para las 10 bahías del Lago Titicaca representados en la tabla 16 y gráfico 6 fueron: en la bahía de Vilquechico se obtuvo una calidad de agua MALA (39.26) en el año 2019. Para la bahía de Pusi en el año 2016 fue donde se observó una calidad de agua MALA (46.85). En la bahía de Moho solo el año 2015 presentó una clasificación de calidad BUENA con un valor de 73.10. En la bahía de Pilcuyo se observó el resultado para el año 2016 fue de 47.18 lo que indica una calidad MALA. La bahía de Yunguyo tuvo 4 años en los que la calidad de agua tuvo una clasificación de MALA, en el 2016 con un valor de 43.83, en 2017 con valor de 44.35, en 2019 con 48.81 y en 2020 se obtuvo un valor de 47.23. En la bahía de Pomata solo en el año 2019 se obtuvo una clasificación de calidad MALA de agua (47.61). La bahía de Desaguadero tuvo niveles bajos de calidad de agua en el año 2016 resultó un valor de 44.28 y en el 2019 que se obtuvo un valor de 48.08 que hace referencia a una calidad de agua MALA. Los años y bahía que no se especificaron tuvieron una clasificación de agua MEDIA. Según (Aларcon,2019) en su estudio compara varios índices de los cuales el ICA-NSF es un índice que cumple mejor con criterios de menor índice de variación, accesibilidad de parámetros y evaluación favorable de los parámetros utilizados.

4.2 Resultados del cumplimiento de los ECA- Agua en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos:

El siguiente grupo de gráficos corresponde a los parámetros utilizados en los ICA-PE e ICA-NSF, su comparación con los ECA-Agua según la determinación del ANA, Categoría 4 - Conservación del Ambiente Acuático, como también la comparación de las 10 bahías del Lago Titicaca lado peruano entre los años 2015 al 2020.

4.2.1 Fosfatos

GRÁFICO 7: Concentración de Fosfatos obtenidos en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020

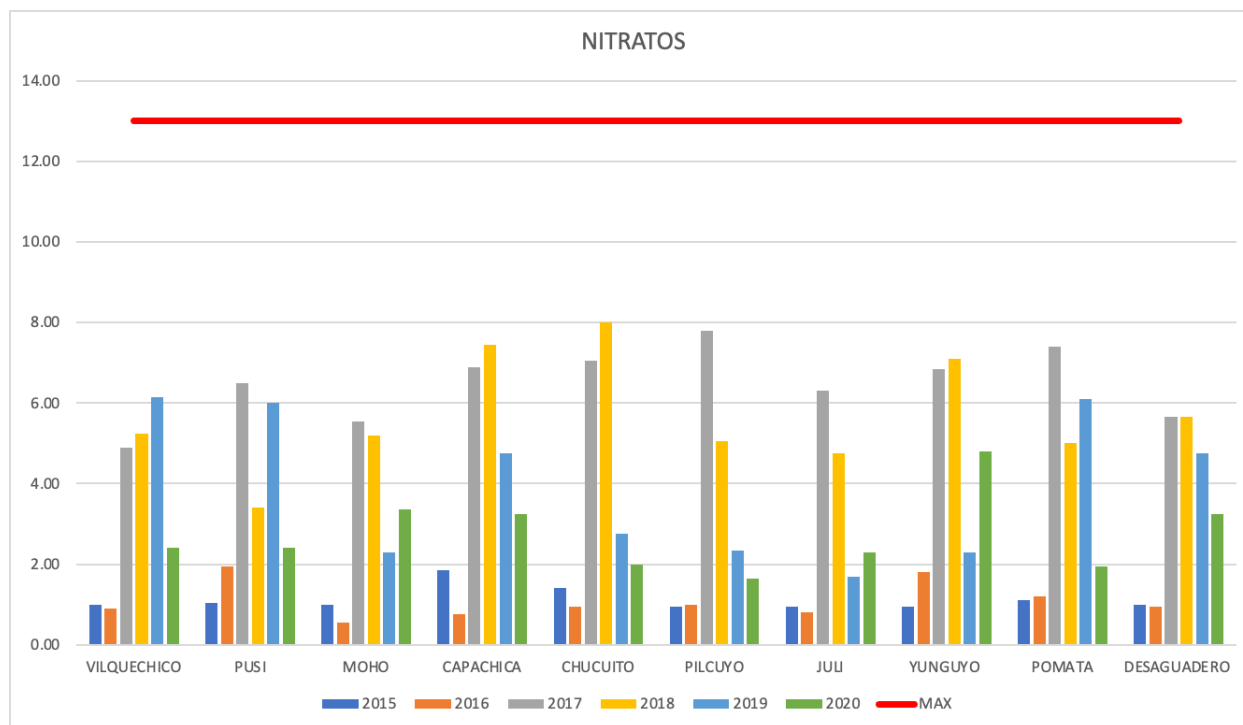


Fuente: Elaboración Propia

Del gráfico anterior, muestra que los valores obtenidos para fosfatos en el año 2019 fue donde hubo niveles más altos de concentración para todas las bahías, para la bahía de Vilquechico una concentración de 55.7 mg/L, bahía de Pusi la mayor concentración fue de 55.5 mg/L, la bahía de Moho con concentración 35.5 mg/L, la bahía de Capachica con 41.45 mg/L de concentración, para la bahía de Chucuito 37.7 mg/L, bahía de Pilcuyo la mayor concentración se dio con 23.5 mg/L, en la bahía de Juli la mayor concentración fue de 9 mg/L, para la bahía de Yunguyo 32.6 mg/L, en la bahía de Pomata 7.65 mg/L, para la bahía de Desaguadero la mayor concentración de fosfatos fue de 34.5 mg/L, los valores no se compararon con los ECA-Agua debido a que en Perú la normativa no tiene ECA -Agua referido al parámetro de fosfatos en la Categoría 4. La concentración de fosfatos en los cuerpos de agua superficiales presenta un problema debido a la reproducción de organismos unicelulares que dependen del fósforo lo que conlleva a una posible eutrofización, provienen de diversas fuentes siendo la de mayor impacto las aguas residuales descargadas puntualmente o por tuberías (Cepeda, 2016), el incremento de fosfatos en las 10 bahías en el año 2019 pudo deberse a que en ese año se declaró un estado de emergencia por aguas residuales. (Chacon, 2019).

4.2.2 Nitratos

GRÁFICO 8: Concentración de Nitratos obtenidos en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020

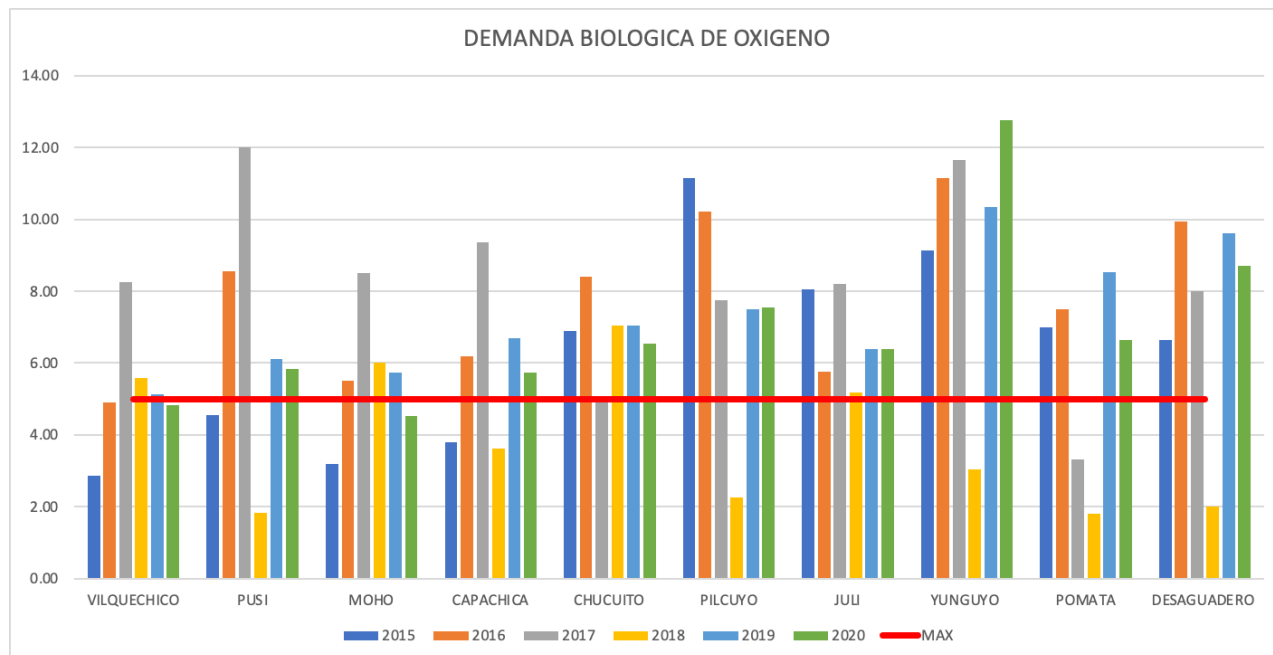


FUENTE: Elaboración Propia

En el gráfico 8 se representa la concentración de nitratos en las 10 bahías entre los años 2015-2020, según el D.S 004-2017-MINAM que establecen los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, el ECA máximo para el parámetro de nitratos es de 13 mg/L, los valores obtenidos en todas bahías se hallan por debajo del ECA Agua, siendo para el 2015 la bahía de Capachica con 1.85 mg/L con la mayor concentración de nitratos, en el 2016 la bahía de Pusi con 1.95 mg/L, en el 2017 la bahía de Pilcuyo con 7.80 mg/L, en el 2018 la bahía de Chucuito con 8mg/L, en 2019 la bahía de Vilquechico con 6.15 mg/L y en el 2020 la bahía de Yunguyo con 4.80 mg/L. De acuerdo con (Sierra, 2011) en lagos y embalses las concentraciones de nitratos superiores a 0,2mg NO₃/L ya empiezan a generar problemas de eutrofización, sin embargo los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios es de 13 mg/L según (Tulsma, 2015).

4.2.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

GRÁFICO 9: DBO₅ obtenido en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020



FUENTE: Elaboración Propia

En cuanto a los resultados obtenidos para las concentraciones de DBO₅ en las 10 bahías y para los años del 2015 al 2020, la mayoría de valores se encuentran por encima del rango establecido en los ECA-agua que señala que las concentraciones deben ser inferiores a 5 mg/L, debido a lo señalado ocurren los siguientes escenarios:

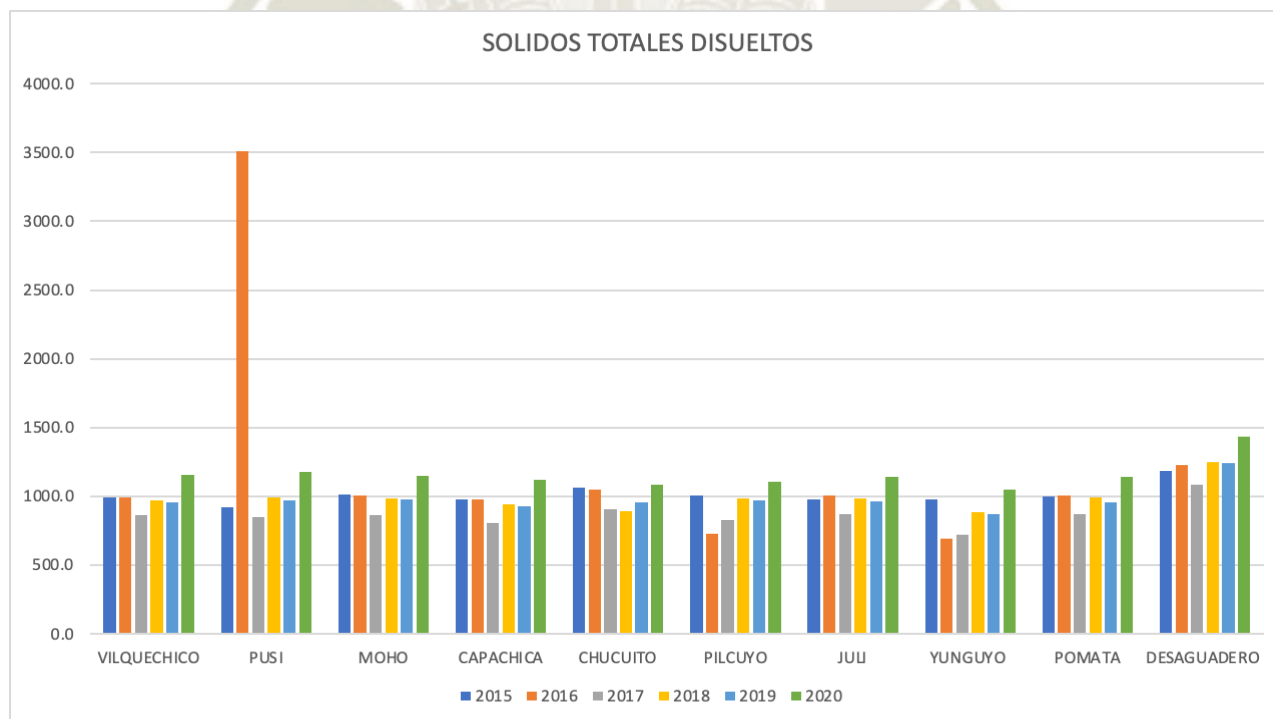
- En el 2015 las bahías que sobrepasan los ECA son la de Chucuito con 6.90 mg/L, Pilcuyo con 11.15 mg/L, Juli con 8.05 mg/L, Yunguyo con 9.15 mg/L, Pomata con 7 mg/L y Desaguadero con 6.65 mg/L.
- En el 2016, 9 de las bahías se encuentran por encima del ECA, con excepción de la bahía de Vilchechico con una concentración de 4.92 mg/L. La bahía con mayor concentración en este año fue la Yunguyo con 11.15 mg/L de concentración de DBO₅.
- Para el año 2017, 8 de las bahías pasan el ECA de 5 mg/L para DBO₅, con excepción de la bahía de Chucuito con 5 mg/L y la bahía de Pomata con 3.32 mg/L. En este año la bahía con mayor concentración fue la bahía de Pusi con 12.01 mg/L.

- En el 2018, 4 de las bahías; Vilquechico (5.60 mg/L), Moho (6.01), Chucuito (7.06), Juli (5.18 mg/L) pasan el ECA máximo de DBO₅.
- En lo que respecta al año 2019, todas las bahías están por encima del valor máximo del ECA- agua para DBO₅, siendo la bahía de Yunguyo (10.34 mg/L) con la mayor concentración.
- En los resultados para el 2020, 8 de las bahías superaron el ECA máximo, exceptuando la bahía de Vilquechico (4.83 mg/L) y la bahía de Moho (4.53 mg/L), la bahía con la concentración más alta este año fue la bahía de Yunguyo (12.78 mg/L)

Según Cusiche (2019) la DBO, es un estimativo de la cantidad de oxígeno que se necesita para estabilizar la materia orgánica por una población de microorganismos. En este sentido, las concentraciones de DBO₅ en la mayoría de las bahías no se encuentran dentro los límites permisibles para lagos y lagunas.

4.2.4 Sólidos Totales Disueltos (SDT)

GRÁFICO 10: Sólidos totales disueltos obtenidos en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020

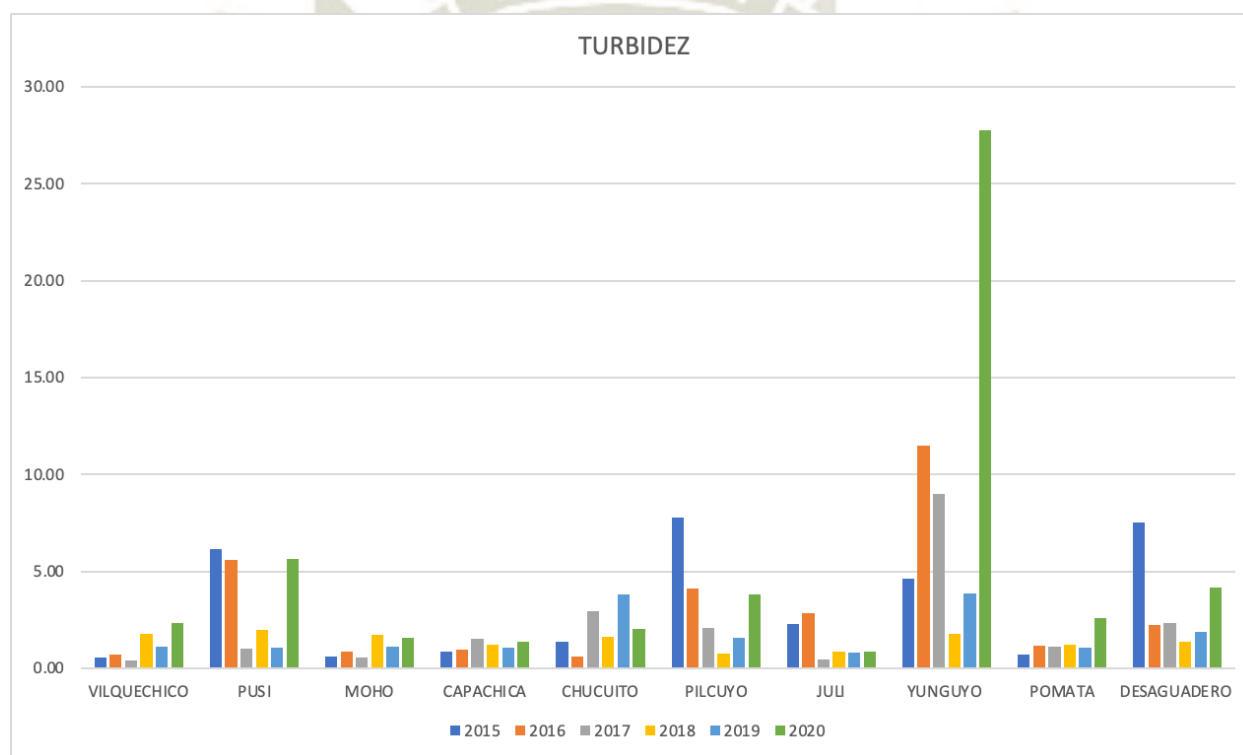


FUENTE: Elaboración Propia

Respecto a los valores obtenidos en el gráfico 10 para los SDT, el valor sobresaliente en la gráfica es del año 2016 en la bahía de Pusi con 3509.5 mg/L, los demás valores están por debajo de los 1500 mg/L de SDT, las concentraciones no se pudieron comparar con los ECA-Agua debido a que no existe un ECA para tal parámetro en la Categoría 4.

4.2.5 Turbidez

GRÁFICO 11: Valores de Turbidez obtenidos en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020

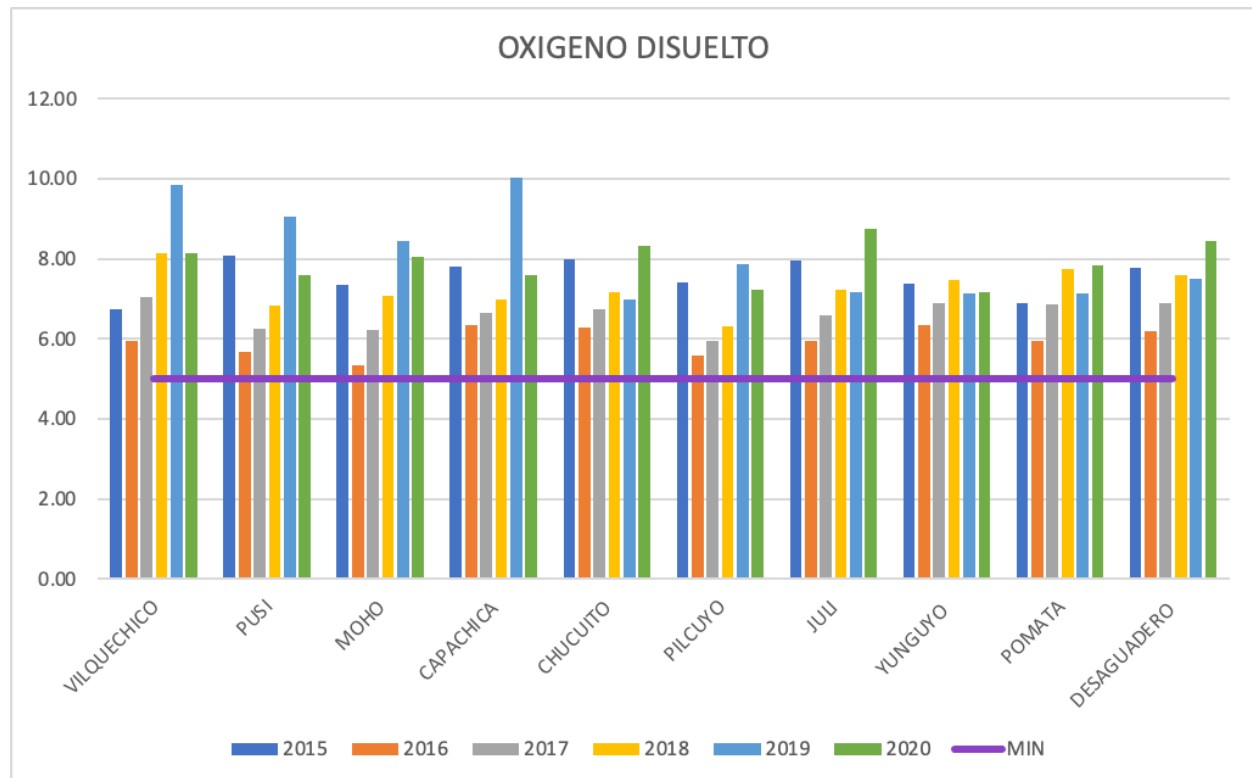


FUENTE: Elaboración Propia

En cuanto a los resultados para los valores de turbidez en las 10 bahías dentro de los años 2015 al 2020, se observaron mayores niveles de turbiedad en la bahía de Yunguyo donde, en el 2016 con valores de 11.50 NTU, en el 2017 con valores de 8.99 NTU, y el valor más sobresaliente fue de 27.75 NTU en el 2020. Según (Allen, 2008) la disminución o el aumento de la turbidez esta relacionada con el riesgo por contaminación microbiológica de agua.

4.2.6 Oxígeno Disuelto (OD)

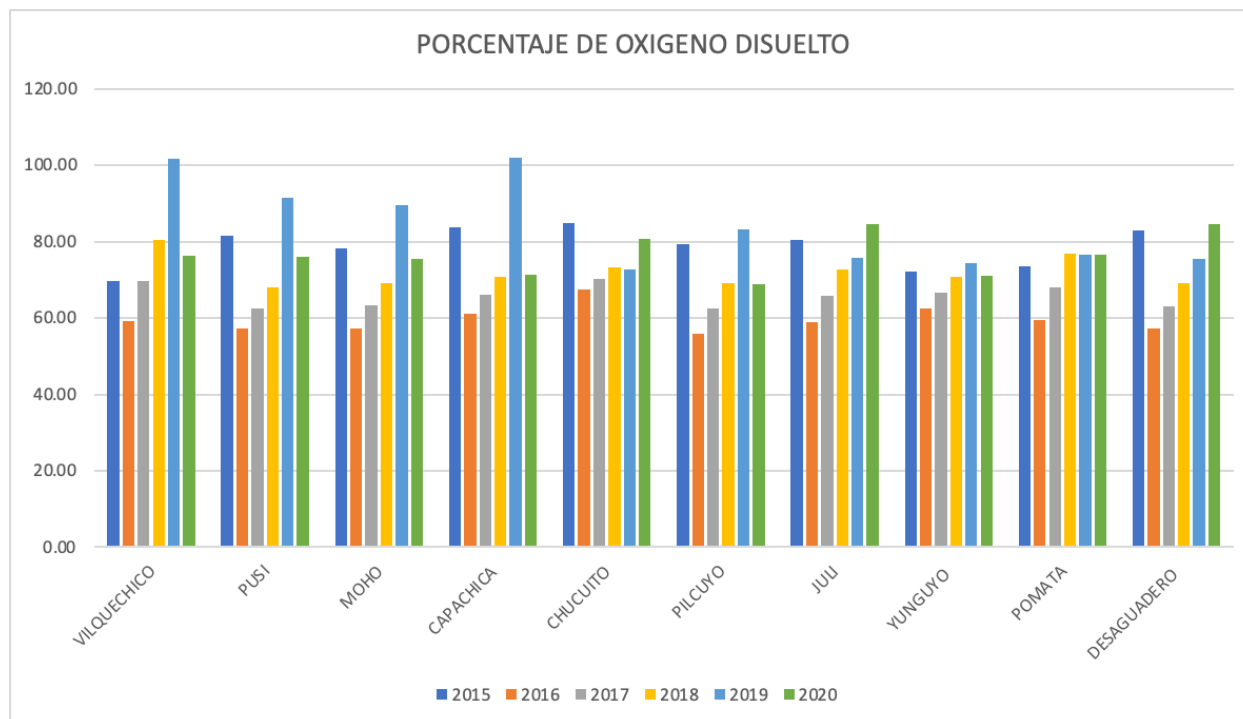
GRÁFICO 12: Concentraciones de OD obtenidos en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020



FUENTE: Elaboración Propia

Del gráfico anterior, todas las concentraciones de oxígeno disuelto en las 10 bahías superan el ECA-agua mínimo (≥ 5 mg/L) para OD en la categoría 4, se observó que en los últimos 6 años no bajaron del valor mínimo, algunas de las mayores concentraciones se dan en el 2019, donde destaco la bahía de Vilquechico (9.84 mg/L). Según (Roca, 2018) en su investigación menciona que una condición buena para la mayoría de los peces y otros organismos acuáticos esta en el rango de 8-12 mg/L, de acuerdo con la grafica todas las bahías a lo largo de los últimos 6 años tienen una condición buena de OD.

GRÁFICO 13: Porcentaje de OD obtenidos en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020



FUENTE: Elaboración Propia

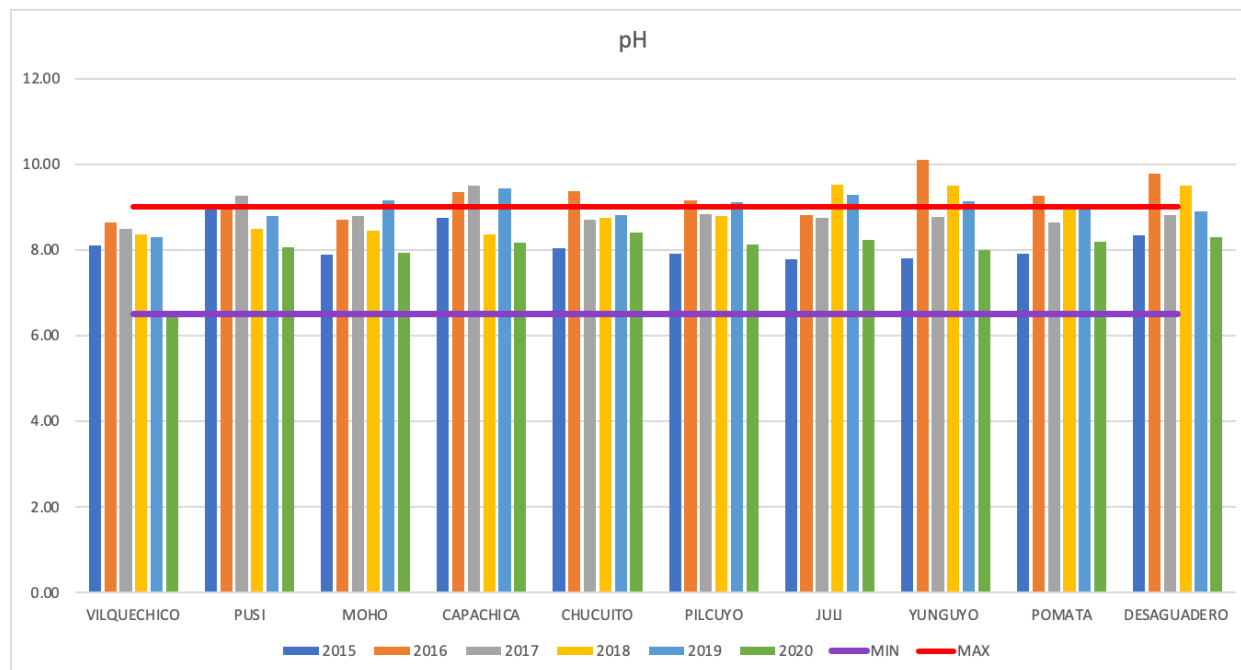
En el gráfico 13 se representan los porcentajes de oxígeno disuelto para las 10 bahías en los años 2015 al 2020, los valores más representativos en esta gráfica son de la bahía de Vilquechico 2019 (101.67%), bahía de Capachica 2019 (101.96%), bahía de Pusi 2019 (91.45%), bahía de Moho 2019 (89.65%), todos los valores no se compararon con los ECA-agua debido a que el parámetro de OD en porcentaje no tiene un ECA definido en la normativa peruana para la categoría 4.

El análisis del oxígeno disuelto es prueba de la contaminación del agua y el control del tratamiento de aguas residuales (Eliggi,2007), además si se tiene baja disponibilidad de oxígeno disuelto la capacidad autodepuradora de los cuerpos de agua es limitada, es el fundamento de la determinación de la DBO5 y de la valoración de las condiciones aeróbicas en el agua. (Jaime,2008).

Además según (Muñoz, 2015) concluye que en su estudio de Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, el OD está relacionado con la temperatura y que las precipitaciones pluviales afectaron de manera positiva la concentración de OD.

4.2.7 Potencial de hidrogeno (pH)

GRÁFICO 14 : Niveles de pH obtenidos en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020



FUENTES: Elaboración Propia

Respecto a los resultados obtenidos para los niveles de pH, 18 de los valores observados en los últimos 6 años superan el valor máximo de ECA-agua para del pH (9) en la categoría 4, por lo cual se presentó que:

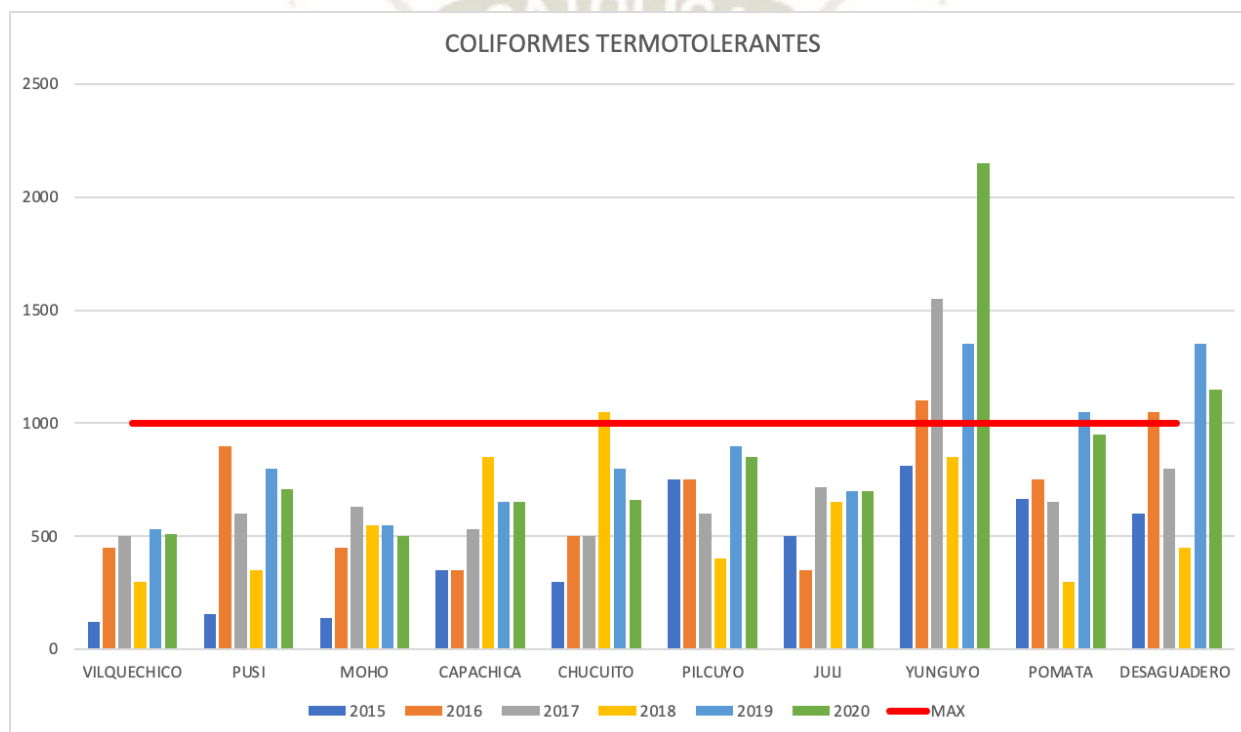
En la bahía de Pusi el valor mas alto fue en el 2017 de 9.27; en la bahía de Moho solo en el año 2019 el nivel sobrepaso el ECA con 9.16; para la bahía de Capachica el nivel mas alto fue 9.50 en el 2017; la bahía de Chucuito solo supero el ECA en el 2016 con 9.37; en la bahía de Pilcuyo se observo que en el 2016 supero el ECA con 9.16; para la bahía de Juli el nivel mas alto fue 9.52 en 2018; en la bahía de Yunguyo se observo el nivel más alto en 2016 con 10.10; la bahía de Pomata supero el ECA en 2016 con 9.26 siendo el valor mas alto de todos los años en esta bahia; finalmente en la bahía de Desaguadero en el 2016 se dio el nivel mas alto de 9.77.

Sin embargo, ninguno de los niveles fue menores al ECA-agua mínimo del parámetro pH (6.5) en la categoría 4. Según (Revelo, 2014) se asemeja con los valores dados por los ECAs, y enfatiza que el agua en la laguna se mantiene en un estado básico de (9,0), pero tiende a disminuir hacia valores más ácidos (6,0) conforme es mayor su profundidad, Según (Marin, 2003) en lagos y embalses el pH experimenta una evolución espacial y temporal ligada a la fisicoquímica del lago y a la dinámica

térmica. (Sanchez, 2007) menciona que si los valores son menores a 7 que es el punto de neutralidad se relaciona con procesos de descomposición de materia orgánica y liberación de ácidos.

4.2.8 Coliformes Termotolerantes

GRÁFICO 15: Coliformes Termotolerantes obtenidas en las 10 bahías principales del año 2015 al 2020



FUENTE: Elaboración Propia

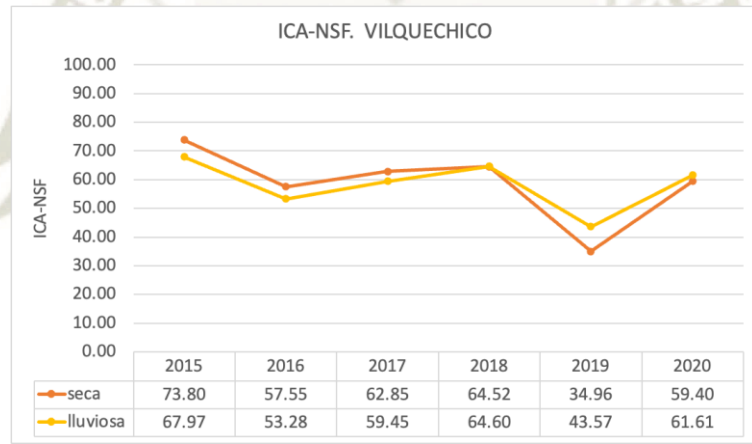
En el gráfico anterior se representaron los resultados de coliformes termotolerantes en las 10 bahías, los valores más significativos y que superaron el ECA-agua máximo de coliformes termotolerantes (1000 NMP/100ml) fueron: la bahía de Cuchuito en el año 2018 con 1050 NMP/100ml , en la bahía de Yunguyo con se supero los ECA en 4 años, siendo el mas significativo 2150 NMP/100ml en 2020, en la bahía de Pomata solo un valor supero el ECA 1050 NMP/100ml en 2019, en la bahía de Desaguadero 3 bahías superaron los ECA siendo en el 2019 con 1350 NMP/100ml el mas significativo. Los coliformes termotolerantes indican presencia de contaminación fecal que contienen microorganismos de los cuales el 90-100% son Echerichia coli

y en aguas residuales y contaminadas disminuye hasta un 60% (Aurazo, 2004). La bahía en la que se presento mas cantidad de coliformes termotolerantes en los años evaluados es la de Yunguyo, y esto es por que la contaminación en el Lago Titicaca se concentra principalmente en la bahía interior de Puno y en la bahía de Yunguyo, siendo sus principales causas las aguas residuales, los residuos sólidos y la minería ilegal e informal, según la Autoridad Nacional del Agua (ANA). (Huaman, 2019).

4.3 Resultados de la evolución anual de la calidad del agua en el periodo 2015-2020

4.3.1 Bahía de Vilquechico

GRÁFICO 16: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Vilquechico

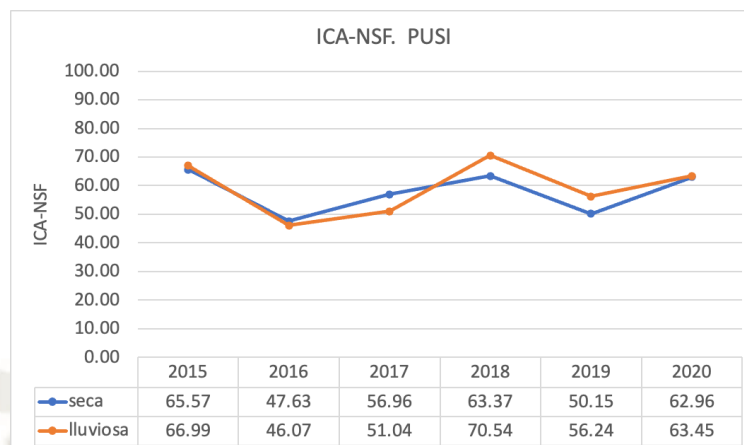


FUENTE: Elaboración Propia

Del gráfico anterior se puede observar con respecto al ICA-NSF, que en la Bahía de Vilquechico en el año 2015 es donde la calidad del agua es mejor con valores de 73.80 en época seca y de 67.97 en época lluviosa, por otro lado, en el año 2019 la calidad de agua decae en ambas épocas, se obtuvieron valores de 34.96 en época seca y de 43.57 en época lluviosa. Los escasos mantenimientos de las lagunas y PTARD que se ocasionaron desde el 5 de mayo del 2019, (Medrano, 2020), fueron unos factores por los cuales los niveles de calidad de agua bajaron para ese año.

4.3.2 Bahía de Pusi

GRÁFICO 17: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Pusi

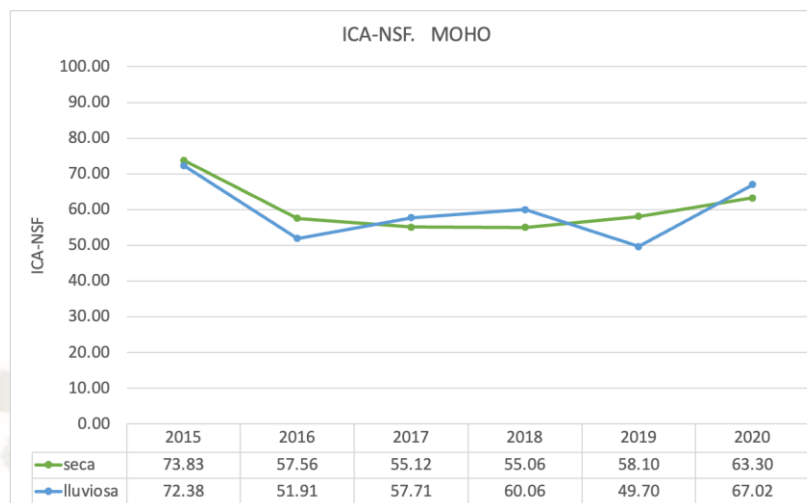


FUENTE: Elaboración Propia

Los resultados para la bahía de Pusi utilizando el ICA-NSF fueron que para el año 2016 el nivel de calidad de agua es bajo con respecto a los demás años dando como resultado valores de 47.63 en época seca y de 46.07 en época lluviosa, los años en los que se obtuvo mejor calidad de agua fueron: el 2015 en la época seca resulto un valor de 65.57 y el 2018 en época lluviosa con un valor de 70.54. La calidad de agua bajo en el 2016 ya que la Reserva Nacional del Titicaca fue victima de ser zona de amortiguamiento de actividad petrolera así mismo integra a zonas adyacentes como el litoral Pusi, lo que condujo a la alternativa de disminución de la calidad de agua en esta bahía. (Huisa, 2017).

4.3.3 Bahía de Moho

GRÁFICO 18: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Moho



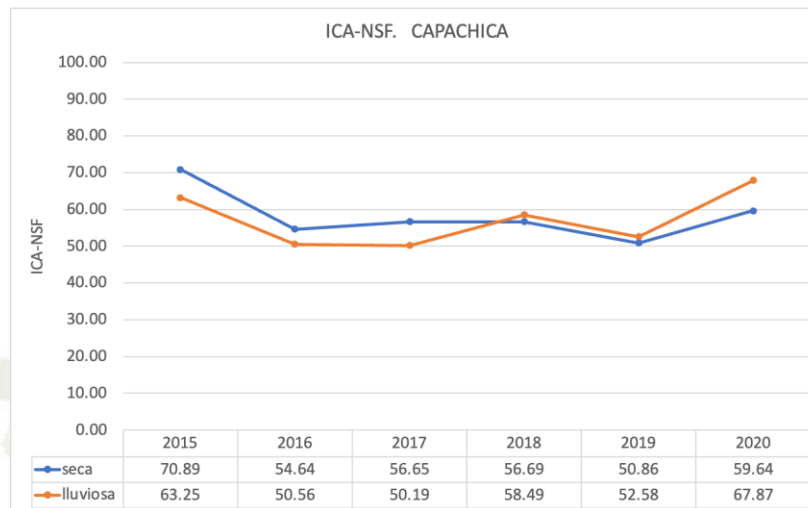
FUENTE: Elaboración Propia

Los valores del ICA-NSF representados en el gráfico anterior para la bahía de Moho fueron que para el año 2015 la bahía mencionada tuvo mejores niveles de calidad de agua dando como resultado valores de 73.83 para época seca y de 72.38 para época lluviosa, mientras que los valores más bajos se dieron en los años 2018 con un valor de 55.06 en la época seca y el 2019 en la época lluviosa con un resultado de 49.70. Según (Medrano, 2020) en su investigación recomienda la limpieza de lodos de la laguna de estabilización ubicada en Moho, y mantenimiento en su PTARD ya que las lagunas ya han colapsado anteriormente, factor por el cual algunos años en la bahía de Moho descendió el nivel de calidad de agua.

En Moho se presentan grandes problemas ambientales debido a que no existe planta de tratamiento para aguas negras de la ciudad, estas ingresan al Lago Titicaca, las lagunas de estabilización, dos de ellas donde se debería evacuar los efluentes colapsaron y se encuentran en pésimas condiciones de operatividad, vertiéndose en quebradas como Mukuraya y Pacharia de las cuales su destino final es el lago, el colapso de las lagunas genera contaminación en los terrenos de cultivo donde interactúan animales que están presentes en la cadena alimenticia de la población además de la presencia de vectores (Castellanos, 2020).

4.3.4 Bahía de Capachica

GRÁFICO 19: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Capachica



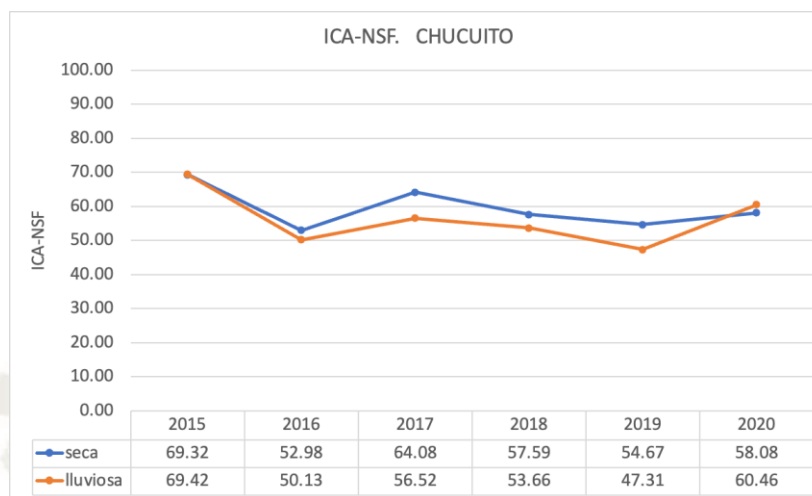
FUENTE: Elaboración Propia

Del gráfico anterior que representa el ICA-NSF para la bahía Capachica en el periodo 2015-2020 los resultados fueron que en el 2015 fue donde el valor de calidad de agua fue mayor siendo de 70.89 en época seca y de 67.87 época lluviosa en el 2020, de lo contrario para los valores más bajos se presentaron para la época seca en el 2019 con un valor de 50.86, y en época lluviosa con 50.19 en el 2017.

Algunas observaciones que da (Medrano, 2020) en su estudio y que podrían justificar los niveles de calidad de agua para esta bahía es debido a que se generan vertimientos de aguas no domésticos, además el tener problemas con su planta de tratamiento. Según (SPDA, 2020) el río Coata que desemboca al lago Titicaca presenta altos niveles de contaminación que se da por el vertimiento de aguas servidas y residuos sólidos causantes de una variedad de flora y fauna, de la misma manera esta contaminación es agravada por metales pesados principalmente el arsénico, la contaminación de la cuenca del río Coata afecta directamente a los distritos de Coata, Huata y Capachica, como también a su medio ambiente y a los cuerpos de agua.

4.3.5 Bahía de Chucuito

GRÁFICO 20: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Chucuito



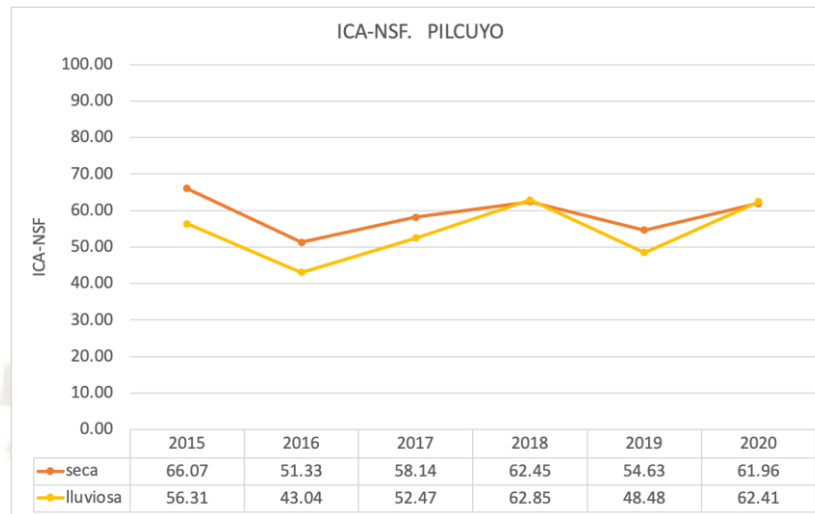
FUENTE: Elaboración Propia

El gráfico N° 20 representa la variación que hubo en el periodo 2015-2020 para la bahía de Chucuito en el ICA-NSF, se observa que en el 2015 los valores fueron más altos siendo de 69.32 en la época seca y de 69.42 en época lluviosa, mientras que los valores más bajos se observaron en 2016 con un valor de 52.98 en época seca y en 2019 con un valor de 47.31 en época lluviosa.

Según (Serfor, 2016), el río Coata desemboca en el lago Titicaca, en la bahía de Chucuito zona norte en la ciudad de Puno, a lo largo de este río se presentaron mas de 10, 000 ranas muertas en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional del Titicaca, la especie de rana fue *Telmatobius spp.*, conocidas como rana gigante del Titicaca, una de las especies mas emblemáticas de este habitat, se menciona que este evento ocurrido puede ser a causa de la contaminación por la presencia de residuos solidos y formación de lodo. La bahía de Chucuito viene siendo mayormente contaminada por su afluente el río Coata, uno de los ríos con mayor contaminación en la cuenca del Titicaca.

4.3.6 Bahía de Pilcuyo

GRÁFICO 21: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Pilcuyo



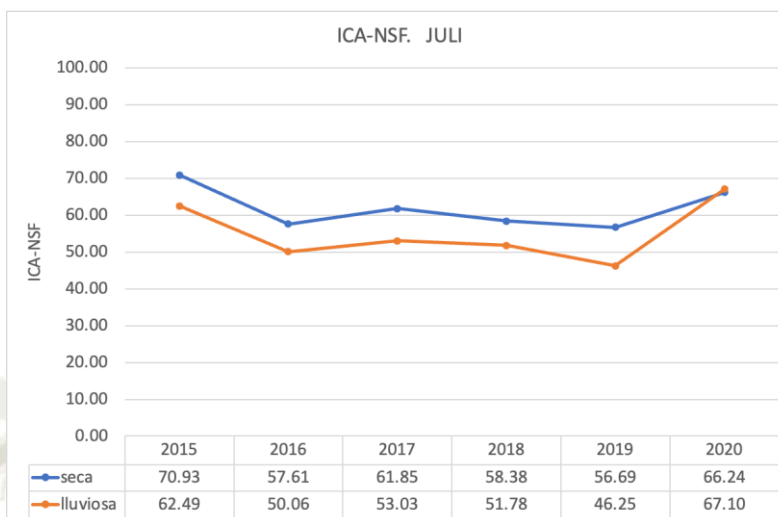
FUENTE: Elaboración Propia

Del gráfico anterior se observa que para la bahía de Pilcuyo los valores obtenidos en el ICA-NSF en el año 2016 se presentan los niveles más bajos de calidad de agua siendo 51.33 en época seca y de 43.04 en época lluviosa, por otro lado, los mejores valores de calidad de agua se dieron en 2015 con un valor de 66.07 en época seca y en 2018 de 62.85 en época lluviosa.

Según (Onda Azul, 2021) los pobladores del distrito de Pilcuyo ubicados en la parte baja del río Zapatilla observan que su cuenca es contaminada debido a los productores de tunta, quienes procesan la papa en el río, su deshidratación genera olores no deseados para los pobladores, además pobladores manifestaron que el agua del río comenzó a tomar una tonalidad lechosa, esta contaminación se genera desde sectores como Checa, Jachocco y Huaraco lo que viene perjudicando en la alimentación de los animales de igual manera.

4.3.7 Bahía de Juli

GRÁFICO 22: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Juli



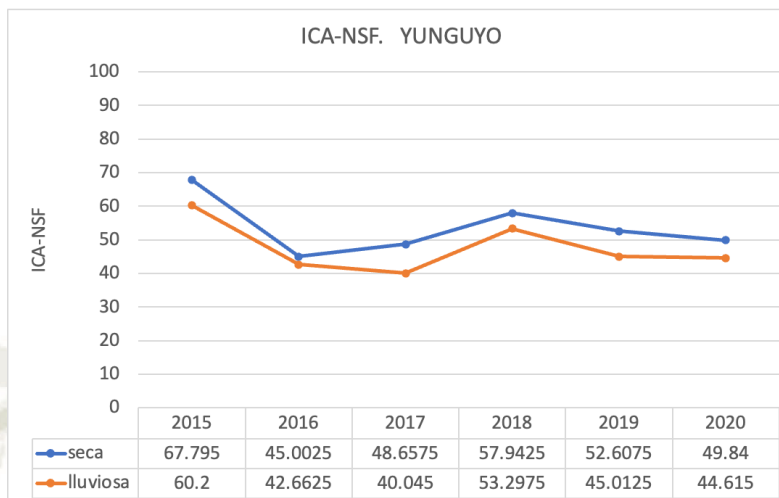
FUENTE: Elaboración Propia

De los resultados obtenidos del ICA-NSF en la bahía de Juli se pudo observar que los valores más bajos se dieron en 2019 con valores de 56.69 en época seca y 46.25 para la época lluviosa, mientras que los valores más altos en calidad de agua se dieron en 2015 para la época seca con un valor de 70.93 y en 2020 con un valor de 67.10 para la época lluviosa. En la planta de tratamiento y las lagunas de estabilización de Juli se presentan los siguientes problemas: mantenimiento y limpieza, vertimiento de aguas no domesticas, falta de capacitación en tratamiento de aguas residuales (Medrano, 2020) debido a esto es que la calidad de agua en la bahía de Juli no es optima.

Según (Garcia, 2014), en el distrito de Juli una de las principales problemáticas son los residuos solidos, debido a su gestión deficiente, estos se queman, se mezclan los residuos peligrosos con los no peligrosos, lo que genera la formación de focos infecciosos, además que las precipitaciones que caen sobre los residuos generan lixiviados los cuales contaminan fuentes de agua superficiales y subterráneas debido a que no se cuenta con una disposición final segura que pone en riesgo la preservación del medio ambiente y la salud de las personas. Asociado a la contaminación de los cuerpos de agua se menciona el deterioro del paisaje, el cual ejerce una influencia directa en la salud mental de seguridad y bienestar que produce.

4.3.8 Bahía de Yunguyo

GRÁFICO 23: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Yunguyo



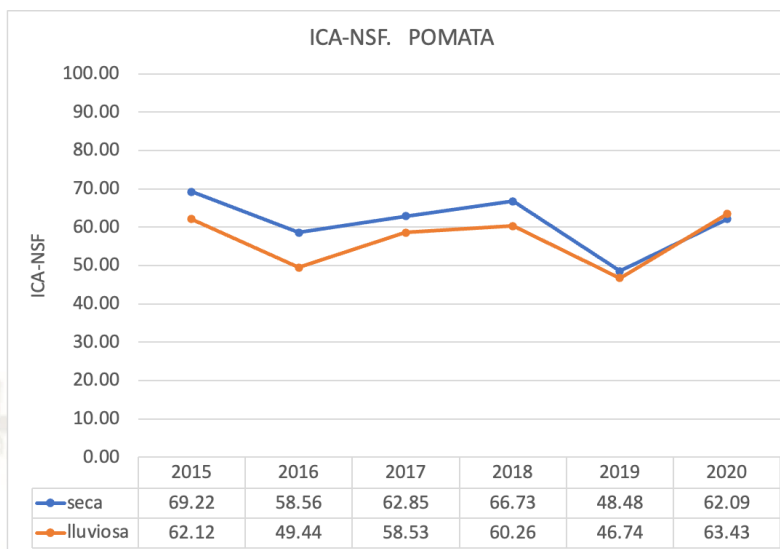
FUENTE: Elaboración Propia

Para la bahía de Yunguyo se representó en el gráfico N°23 el ICA-NSF en el periodo 2015-2020, dando como resultado que en 2015 fue donde se obtuvo mejores niveles de calidad de agua con respecto a otros años, en época seca se obtuvo un valor de 67.80 y en época lluviosa un valor de 60.2, por lo contrario, los niveles más bajos en calidad de agua fueron en 2016 con un valor de 45 en época seca y en 2017 época lluviosa con un valor de 40.1.

La contaminación en la bahía de Yunguyo es de acuerdo con el ICA-NSF la bahía que en su mayoría presenta mas la clasificación de agua MALA esto es por que la contaminación en el Lago Titicaca se concentra principalmente en la bahía interior de Puno y en la bahía de Yunguyo, siendo sus principales causas las aguas residuales, los residuos solidos y la minería ilegal e informal (Huaman,2019). En el litoral costero de la bahía de Yunyuyo la contaminación es provocada por la deficiente gestión de residuos solidos y las malas practicas ambientales de la población, el conocimiento que posee la población del distrito de Yunguyo sobre gestión ambiental y contaminación de la bahía del lago Titicaca sobre educación y saneamiento ambiental son insuficientes, (Gutierrez, 2018) lo que conlleva a la falata de información, capacitación y sensibilización de la población, además las principales actividades económicas que se presentan son la agricultura de cultivos variados andinos, la actividad pecuaria, la actividad piscícola y la actividad de mercado y comercialización, actividades que producen contaminación por materia orgánica y aguas residuales y residuos solidos.

4.3.9 Bahía de Pomata

GRÁFICO 24: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Pomata



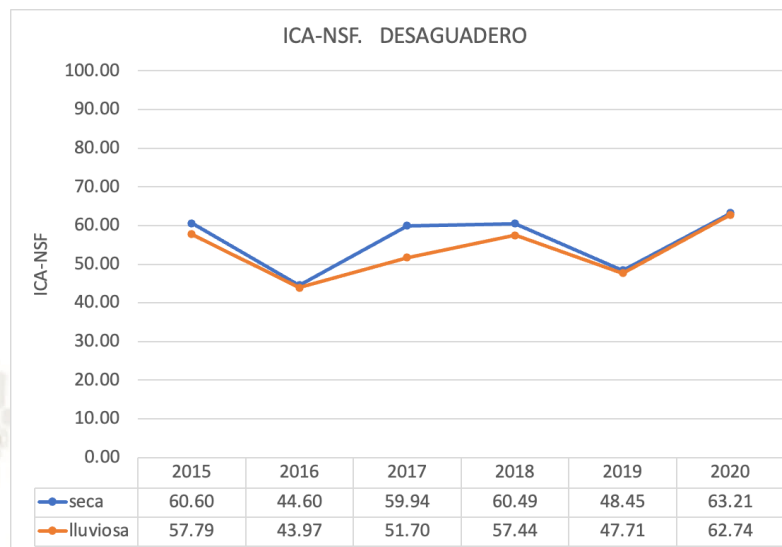
FUENTE: Elaboración Propia

Se puede observar del gráfico anterior para la bahía de Pomata, los resultados del ICA-NSF, observando que para la época seca el valor más alto se dio en 2015 con 69.22 y el menor valor en 2019 con 48.48, mientras que en la época lluviosa el valor más alto en calidad de agua fue en 2020 con 63.43 y el valor más bajo en 2019 con 46.74. La falta de capacitación en tratamiento de aguas residuales domesticas trae consecuencias en la PTARD (Medrano, 2020), lo que conlleva a que los niveles de calidad de agua sean bajos. Según (PNSR, 2016) los análisis para el sector de Sagsani – distrito de Pomata, 23.2% de la población en este distrito se abastecen de fuentes de agua no tratadas incrementado enfermedades la proliferación de enfermedades digestivas, infecciosas y parasitarias, porque a pesar de contar con conexiones domiciliarias consumen agua no tratada.

Además (MDP, 2020) menciona en el plan anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental de la municipalidad distrital de Pomata que el distrito presenta una contaminación generada por la crianza de truchas en jaulas flotantes, la mala practica en la alimentación de los peces provoca sedimentación de materia orgánica, cambio de pH y disminución de oxígeno en el cuerpo acuático.

4.3.10 Bahía de Desaguadero

GRÁFICO 25: Variación del ICA-NSF en la Bahía de Desaguadero

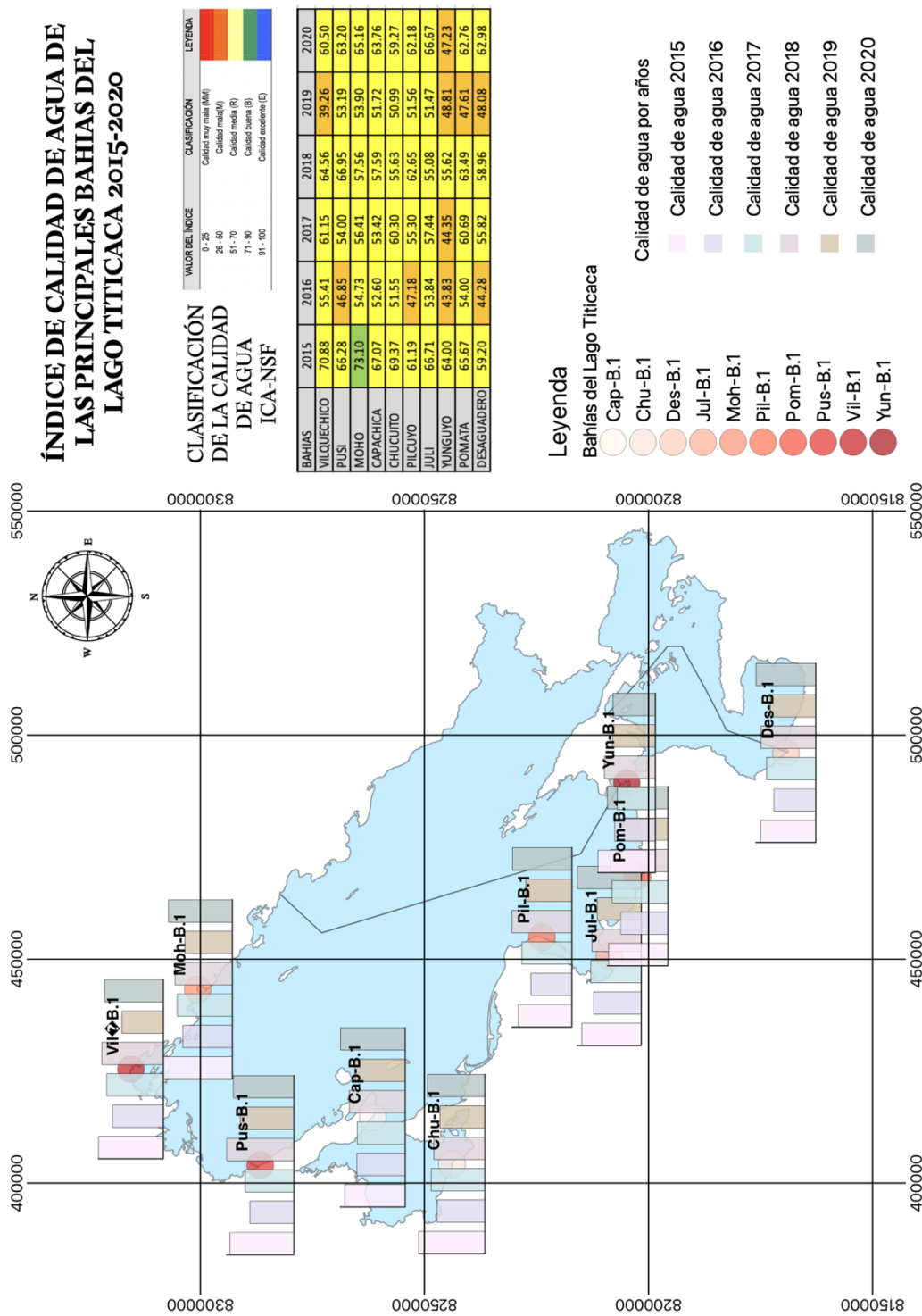


FUENTE: Elaboración Propia

En gráfico N°25 se presentó los valores hallados para el ICA-NSF en la bahía de Desaguadero se observó que en el año 2016 es donde el nivel de calidad de agua es más bajo comparado con los otros años, en la época seca se dio un valor de 44.60 y en la época lluviosa un valor de 43.97, y los niveles más altos de calidad de agua fueron en 2020 con 63.21 en época seca y de 62.74 en época lluviosa.

Según (MVCS, 2015) se ha considerado la orilla y ribera del lago y el río desaguadero como áreas críticas debido a la presencia de residuos sólidos ya que en las laderas de la periferia urbanas se ubican botaderos, fuentes de focos infecciosos y efluentes que afectan los ecosistemas ambientales.

4.4. Mapeo del Índice de Calidad de Agua (ICA-NSF) en las principales Bahías del Lago Titicaca lado peruano.



FUENTE: Elaboración Propia

DISCUSIÓN FINAL

Del Lago Titicaca se muestrearon 10 bahías principales las cuales en el periodo determinado en este estudio 2015 al 2020 la metodología del ICA-PE ajustada a nuestra normativa con los ECA-Agua, presento en 9 bahías una calidad de agua excelente, esta no es acorde a la realidad del lago, según (Rodríguez,2019) que hizo su estudio de la Determinación del Estado Trófico actual de la laguna de Colta utilizando el ICA-PE menciona que al no obtener la mayoría de datos de los parámetros dificulta su determinación ya que es dependiente de los mismos, además también recomienda que cuando los cuerpos de agua presentan metales es recomendable utilizar el ICA-PE, la falta de data en parámetros como fosforo total, nitrógeno total, metales pesados, arsénico, etc; dificultan la obtención de un resultado real para el lago, (Laura, 2019) en su estudio Gestión de la Calidad del Agua del Rio Chili mediante el empleo de Índices Físico Químicos De Calidad Ambiental, Arequipa, valoro el ICA-PE mediante el nivel de competencia de expertos, demostrando que el índice es una herramienta para la gestión de calidad de agua, sin embargo, la mayoría de las bahías presentaron una calidad de agua media en la metodología del ICA-NSF que fue la mas acertada de acuerdo a la situación del lago y a los parámetros muestreados y comparados con los ECA-Agua, (Valderrama, 2004) debido a que los residuos que contaminan la bahía del lago Titicaca son 70% de naturaleza inorgánica, 15% botellas descartables, 13% bolsas de plástico, latas 10% y vidrios/%, en naturaleza orgánica el 54% son desechos de alimentos, 19% heces, papeles y cartones 8%, arbustos y otros 4%. Estos contaminantes generan alteraciones en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos alterando la vida acuática en el lago. El oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH y DBO5 son los parámetros que tuvieron mas relevancia en el estudio y a los que se dio mayor ponderación en la metodología, según (Alvarez,2007) cuando los niveles de DBO son altos existe reducción en los niveles de OD debido a la demanda de oxígeno por las bacterias, además es el parámetro de la DBO5 es un indicador de contaminación por aguas residuales provenientes de los poblados cercanos, en esta investigación tanto el OD y la DBO5 tienen niveles altos, este acontecimiento se puede explicar debido a que el OD depende mucho de la temperatura, mientras mas fría el agua puede guardar mas oxígeno en ella, además según (FAO, 2017) el oxígeno disuelto proviene de dos fuentes oxígeno atmosférico, este debido al oleaje y las corrientes puede ser atrapado en el aire por las olas y el OD aumentaría (Carrillo, 2013), y por la fotosíntesis que incrementa el oxígeno por las plantas en Lago Titicaca, existen especies de algas como “*el fitoplancton y algas verdes como la Chlorophyceae, Carteria sp. y algas pardo amarillentas*” (Lazzaro, 2018) estas plantas pueden a veces producir oxígeno disuelto mediante el proceso de fotosíntesis a una velocidad mayor de la que el oxígeno puede difundirse desde el agua hacia el aire. La fotosíntesis es alta debido a que parámetros como la turbiedad y los STD son bajos lo que permite la entrada de luz al cuerpo de agua, el pH es un parámetro variable de acuerdo con la fotosíntesis si esta aumenta el pH también lo hará debido a una mayor extracción de dióxido de carbono, caso contrario mientras sucede la respiración en la noche el pH disminuye (FAO, 2017). Los parámetros como los SST (sólidos suspendidos totales), la clorofila-a podrían aportar con mas exactitud a explicar el proceso de fotosíntesis, aunque este proceso sea alto, no es causante de la eutrofización en todas las bahías por lo explicado en los resultados acerca de los parámetros

fosfatos y nitratos que se encuentran en concentraciones bajas, exceptuando el año 2019 que se produjo una emergencia sanitaria por aguas residuales (Chacon, 2019), el lago Titicaca se encuentran dos estados tróficos el oligotrófico y el eutrófico en distintas bahías alrededor del lago, el estado eutrófico tiene mayor predominancia en la parte boliviana del lago, el parámetro de Coliformes termotolerantes se manifiesta como indicador indirecto bueno de las aguas servidas al cuerpo de agua (Fonturbel, 2005), las cuales en este proyecto bahías como Yunguyo y Desaguadero superan mas el ECA determinado. La temperatura es factor de importancia para la mayoría de los parámetros y para determinar la situación trófica del lago influyendo en la distribución y en las adaptaciones de la vida acuática. La intensificación del cambio climático y las actividades humanas son factores que podrían llevar a las extinción de diversas especies como ciertas especies de *Orestias*, la rana gigante “*Telmatobuis culeus*”, aves acuáticas como el zambullidor de Titicaca “*Rollandia microptera*” que no tienen tiempo de adaptarse a nuevas condiciones ambientales, especies como el *suche* y la *boga* especies nativas de peces están en peligro de extinción, por factores como especies invasoras, explotación en la actividad de pesca, contaminación; además el cambio climático favorecerá a la disminución de la profundidad del agua con lo expuesto muchas especies tanto de plantas y animales no podrán adaptarse, sin embargo puede favorecer a las especies invasoras (Lazzaro, 2018). Todos estos parámetros y el ICA-NSF reflejan que el medio ambiente esta siendo afectado progresivamente y que, si bien en algunos años tanto en la época seca como en la época de lluvia mejora la calidad de agua en el periodo expuesto, este no alcanza un nivel superior al de calidad Media lo que conlleva a la afectación de la salud de la población, a la flora y fauna del lugar endémico y al aumento del cambio climático por contaminación.

La diferencia de los índices utilizados se basa en que se modifican de acuerdo con criterios normativos pero su estructura se basa en la adopción de una función de agregación, en cuanto a los pesos que se les asigna son de acuerdo a los investigadores, según (Pérez, 2017) en su artículo menciona que existe subjetividad en los índices de acuerdo a sus pasos en el desarrollo y aplicación, además cita que los métodos estadísticos seguirían siendo subjetivos ya que se basan en los datos proporcionados para el análisis, para reducir su nivel de subjetividad y discusiones acerca de los procesos metodológicos es recomendable y solucionable a través de paneles de discusión con participación contundente de los grupos sociales interesados. Según (Sutadian, 2016) nos menciona que nada asegura que el mismo índice aplicado produzca juicios coherentes cuando se aplique a regiones diferentes, inclusive al interior de un mismo país, de acuerdo con lo mencionado seria mas factible seleccionar los parámetros de acuerdo con la causa y efecto diferentes en los cuerpos de agua de tal manera se resuelva la problemática de interés para ello es necesario obtener medidas de satisfacción de acuerdo con el uso. Las metodologías para hallar el índice de calidad de agua son validas, además de su gran aporte a la gestión de recursos hídricos, como a proyectos para ayudar en la metodología de reducción o eliminación de efluentes contaminantes en las diversas actividades antropogénicas, además el proyecto ayuda a los objetivos de desarrollo sostenible como el proyecto se basa en el recurso indispensable que es el agua abarca casi todos los objetivos siendo los primordiales el objetivo 6 que es el de agua limpia y saneamiento, objetivo 3 el de salud y bienestar, objetivo 13 acción por el clima y objetivo 15 vida de ecosistemas terrestres (ONU, 2015).

CONCLUSIONES

- La calidad del agua se clasificó como de calidad media (ICA-NSF = 51-70) en el **81.7 %** de los sitios muestreados, en los que el agua podría tener uso para abastecimiento público, uso recreativo, vida acuática, uso agrícola, industrial, o con fines de navegación. El **16.7 %** de los cuerpos de agua estuvieron en la categoría de mala dentro del intervalo ICA-NSF de 26 a 50, valores con los que el líquido sólo podría tener uso industrial o agrícola con tratamiento. Por último, el **1.6%** de los cuerpos de agua medidos estuvieron en calidad de bueno (ICA 71-90); esto los vuelve prácticamente aceptables para cualquier uso.

Según el cálculo del Índice de calidad de agua ICA-PE, de las 10 bahías del Lago Titicaca muestreadas en el periodo 2015 - 2020, el **90%** tiene una clasificación de agua Excelente y un **10%** equivalente a solo una bahía, la bahía de Yunguyo que tiene una clasificación de calidad de agua Buena, datos que contravienen a los obtenidos con el ICA -NSF
- Se evaluó el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, según lo establecido por el Ministerio del Ambiente en su Decreto Supremo 004-2017-MINAM del año 2015- 2020, para los nitratos en ninguna de las 10 bahías se supero el ECA. Máximo de 13 ml/L, para el parámetro de la DBO5 en 2015 superaron el ECA maximo de 5mg/L seis bahias, 2016 superaron nueve bahias, 2017 ocho bahias, 2018 superaron cuatro bahias, 2019 diez bahias y el 2020 ocho bahias. Siendo el **75%** de puntos muestreados. Para el OD las diez bahias cumplen con el ECA minimo de 5mg/L, en el pH todas las bahias superan el ECA min. de 6.5; para el ECA max. de 9 en 2015 una bahia supero el ECA maximo, 2016 seis bahias, 2017 dos bahias, 2018 cuatro bahias, 2019 cinco bahias superaron el ECA. Siendo el **30%** de puntos muestreados, en las Coliformes Termotolerantes en 2016 dos bahias no cumplieron con el ECA maximo 1000 NMP/100ml, 2017 una bahia, 2018 una bahia, 2019 tres bahias superaron el ECA, 2020 dos bahias. Siendo el **15%** de puntos muestreados.
- Se desarrolló el índice de calidad del agua como método estandarizado para poder comparar la categoría del agua de manera integral entre localidades y a través del tiempo en las distintas Bahías del Lago Titicaca lado peruano. Los resultados contribuyen a predecir el grado de contaminación y establecer estrategias de planeamiento en el manejo de los recursos hídricos. Del análisis de los resultados arribados en esta investigación, podemos concluir que los niveles de contaminación son resultado de los permanentes vertidos de aguas residuales provenientes de los poblados próximos al anillo circunlacustre del Lago Titicaca, como también a la contaminación originada por minería proveniente de la cuenca del rio Ramis, la agricultura que utiliza agroquímicos y la crianza de ganado que podrían considerarse como fuente de contaminación difusa, industria manufacturera y la contaminación por piscicultura.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar mayores acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua con acto de carácter participativo y permanente en las principales Bahías del lago Titicaca lado peruano, con el fin de poder evaluar alteraciones en la calidad de agua futuras.
- Se recomienda realizar mas pruebas y evaluaciones con el ICA-PE para corroborar su asertividad con respecto a sus rangos de calificaciones, debido a que el ICA-NSF tuvo mayor asertividad en sus resultados, tomando en consideración la situación actual de la localidad y el Lago Titicaca.
- Enfatizar la importancia de monitoreos de la calidad de agua en puntos como son los vertimientos domésticos e industriales que descargan en los cursos de agua de la cuenca de los ríos tributarios al lago Titicaca, con el propósito de evaluar el cumplimiento de las normas vigentes en cuanto a vertimientos, y de esta manera poder y establecer medidas correctivas y sancionadoras. Asimismo, con esta acción se podrá brindar información para efectuar futuros modelamientos de la calidad del agua en el Lago Titicaca, y permitirá conocer el comportamiento de los principales contaminantes identificados.
- Como recomendación final de esta investigación, se espera la adopción de esta metodología como una herramienta para para poder establecer tendencias temporales y espaciales de la calidad del agua.
- En posteriores estudios se recomienda utilizar parámetros como los metales pesados, solidos totales suspendidos, variación de temperatura, etc. Para obtener resultados mas asertivos en el índice de calidad de agua.

REFERENCIAS

Autoridad Nacional del Agua (2017). Fuentes Contaminantes en la Cuenca del Lago Titicaca.

Aguirre Cordón M.R., Vanegas Chacón E.A, García Álvarez N. (2016). Water Quality Index Application. Case study: Lake Izabal, Guatemala http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542016000200006

Alarcón Pérez B.A., Ñique Álvarez M. (2016). Índice de calidad del agua según NSF del humedal laguna Los Milagros (Tingo María, Perú) <http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDES/article/view/81/194>

Alarcon, J. (2019), Aplicación de métodos de Índices de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac. Extraído de: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/12169/Alarcon_cj.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Allen, M.J., Brecher, R.W., Copes, R., Hrudey, S.E., Payment, P. (2008). Turbidity and Microbial Risk in Drinking Water. Prepared for The Minister of Health Province of British Columbia. <http://www.wsabc.ca/wp-content/uploads/2011/04/TAC-Turbidity-Report.pdf>

Aquino Espinoza P. (2017) Calidad de Agua en el Perú. Restos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales. Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR)

Argandoña Zambrano L.E., Macías García R.G. (2013). DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES, SUSPENDIDOS, SEDIMENTADOS Y VOLÁTILES, EN EL EFLUENTE DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN SITUADAS EN LA PARROQUIA COLÓN, CANTÓN PORTOVIEJO, PROVINCIA DE MANABÍ, DURANTE EL PERÍODO DE MARZO A SEPTIEMBRE 2013 (Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Manabí) <http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/137/1/DETERMINACION%20DE%20SOLIDOS%20TOTALES%2C%20SUSPENDIDOS%2C%20SEDIMENTADOS%20Y%20VOLATILES.pdf>

Arohuanca, C. (2016). Evaluación de la Carga de Nitrógeno Y Fósforo en Los Principales Fuentes Puntuales que vierten al Lago Titicaca como Fuente De Eutrofización Puno 2015. Extraído de: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2783/AMarcaca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Alvarez Carrion, S., Perez Rivera, L. (2007). Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras. Extraído de: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/524/1/IAD-2007-T001.pdf>

Aurazo, M. 2004. Manual para análisis básicos de calidad del agua de bebida. CEPIS/OPS, Lima. 146 p.

Bolaños-Alfaro, J; Cordero-Castro, G; Segura-Araya, G. 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). *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-4. Octubre-Diciembre 2017. Pág 15-27.

Carrillo, P. (2013). COMPORTAMIENTO DEL OXÍGENO DISUELTO EN LA COLUMNA DE AGUA DE LAS ESTACIONES FIJAS ECUATORIANAS 1988-2013, *Acta Oceanográfica Del Pacífico* Vol. 18 No 1, 2013.

Castellanos, J.; Mamani, E. (2020). OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN/ESTABILIZACIÓN DEL SECTOR MUKURAYA, PROVINCIA DE MOHO, REGIÓN DE PUN. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/11147/IQcamojcj%26macce1.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Cepeda, A. ; Valera, A. (2016). EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE FOSFATOS EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS UTILIZANDO *Chlorella sp.* Disponible en: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/323/1045729512%20-%20%201140867566.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chacon, K. (2019), Aguas residuales y basura en ribera de afluyente del lago Titicaca amenazan a comunidades de Puno. Disponible en: <https://ojo-publico.com/1222/aguas-residuales-y-basura-en-ribera-de-afluyente-de-lago-Titicaca-amenazan-a-comunidades-de-Puno>

Cusiche Pérez L.F., Miranda Zambrano G.A. (2019). Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional ‘Lago Junín’, Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* volumen 10 número 6, 14 de agosto - 27 de septiembre, 2019

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. 7 de junio de 2017.

Dejoux, C; Iltis, A. (1991) *El lago Titicaca, síntesis del conocimiento limnológico actual*. La Paz-Bolivia.

D.S. N° 075-2013-PCM, COMISIÓN MULTISECTORIAL PARA LA PREVENCIÓN Y RECUPERACIÓN AMBIENTAL DEL LAGO TITICACA Y SUS AFLUENTES - ESTADO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA AMBITO PERUANO 2014.Vol I – Vol. VII

Eliggi, M., Gilli, M., Lermann, B. y Zerbato, M. (2007). Oxígeno disuelto.

FAO (2017). *Manual de buenas practicas de manejo para la piscicultura en aguas dulces, Capacitación N°4*.

Fernandez, N., & Solano, F. (2005). Capítulo III. Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. *Índices de Calidad y de Contaminación del Agua*

Fontúrbel Rada Francisco; Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titikaka (Bolivia) 2005; ISSN 1726-2216

García, J., (2014). DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DEL MANEJO DE LOS RECURSOS SÓLIDOS EN LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHUCUITO JULI 2014, disponible en: <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/4347/discover?query=capachica&submit=Ir>

Gonzalez, A. (2019). Evaluación de la Calidad de Agua captada para el abastecimiento a la ciudad de Baños de Agua Santa mediante el ICA-NSF. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18145/1/T-UCCE-0012-FIG-091.pdf>

Gutierrez, L. (2018). Prácticas Ambientales de la Población del Distrito de Yunguyo sobre Contaminación de la Bahía Del Lago Titicaca, 2018

Gutierrez Cabana V.R. (2018) Evaluación de la calidad de agua del río Coata en la desembocadura del río Torococha utilizando el Índice de Calidad de Agua del Consejo Canadiense CCME–WQI y el ICA–PE, Puno – 2018 (Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Unión) https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/1771/Ver%20c3%b3nica_Tesis_Licenciatura_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Hernandez, P. (2015). VARIACIONES FISICOQUÍMICAS TEMPORALES EN LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, EN EL PERIODO 2012-2013 <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1425/1/Variaciones%20fisicoqu%20micas%20temporales%20en%20la%20laguna%20de%20Limoncocha%20en%20el%20periodo%202012-2013.pdf>

Huamani, M. (2019) Contaminantes del ecosistema del lago Titicaca de la región puno y la gestión ambiental del turismo

Huisa, D. (2017). DETERMINACIÓN DEL ÁREA DEGRADADA Y BIODIVERSIDAD DE LA ZONA DE INFLUENCIA POR LA ACTIVIDAD PETROLERA EN LA ZONA DE AHUALLANE, DISTRITO DE PUSI, HUANCANE – PUNO disponible en: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5289/Huisa_Balcon_Dennis_Xavier.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jaime, M. (2008). Determinación de la curva de calibración en la demanda bioquímica de oxígeno por el método de la azida sódica modificada. Universidad de El Salvador, San Salvador.

Jiménez, M. y Vélez, M. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. <https://www.redalyc.org/pdf/1450/145020399004.pdf>

Laura Ortiz J.R. (2019) GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO CHILI MEDIANTE EL EMPLEO DE ÍNDICES FÍSICO QUÍMICOS DE CALIDAD AMBIENTAL, AREQUIPA (Tesis de Posgrado, Universidad Nacional de San Agustín) <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9653/UPlaorjr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Larrea Murrell J. A., Rojas Badia M.M., Romeu Álvarez B., Rojas Hernández N.M., Pérez Mayra H. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas. Revista CENIC. Ciencias Biológicas, vol. 44, núm. 3, 2013, pp. 24-34 Centro Nacional de Investigaciones Científicas Ciudad de La Habana, Cuba <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181229302004.pdf>

Lazzaro, X., Slimani, S. (2018). Estudio pluridisciplinario del lago Titicaca (Bolivia – Perú), Informe de Práctica Misión Jóvenes Expertos - MJ'ECKO - 2018

López R. (2015). Informe de investigación 111/2014-2015, Tratamiento Y Vertimiento De Aguas Residuales De Origen Doméstico Y Municipal En El Ámbito Urbano, 21 de enero de 2015

Marín, R., (2003) *Fisicoquímica y microbiología de los medios*. Madrid, Díaz de Santos.

Medrano, M; Mmani, A; Muñoz, E; Diaz, R; Medrano, E. (2020). Operation of the Domestic Wastewater Treatment Plants circumlacteustres to Lake Titicaca-Sector Peru and the framework in defense of ecosystems. Ciencia y Desarrollo 23(3).

Ministerio de Agricultura y Riego. (2018). Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales. Autoridad Nacional del Agua

Ministerio de Agricultura y Riego. (2018). Clasificación De Los Cuerpos De Agua Continentales Superficiales. Autoridad Nacional del Agua

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, (2015). Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Desaguadero. Edición Final, abril 2015. Disponible en: https://eudora.vivienda.gob.pe/observatorio/INSTRUM_GESTION/PDU/ESTUDIOS/DESAGUADERO/05-PDU%20DESAGUADERO-RESUMEN%20EJECUTIVO.pdf

Municipalidad Distrital de Pomata, (2020). Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental de la Municipalidad Distrital de Pomata 2020. Disponible en: http://munipomata.gob.pe/web/Documentos/planefa/PLAN_2020.pdf

Muñoz, H. (2015). Relationship between Dissolved Oxygen, Rainfall and Temperature: Zahuapan River, Tlaxcala, Mexico, Universidad Autónoma de Tlaxcala, México, Technol. cienc. agua vol.6 no.5 Jiutepec sep./oct. 2015.

Naciones Unidas, (2017). Organización de las Naciones Unidas. [En línea] Available at: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>

Onda Azul, (2021). Pilcuyo: Comuneros nuevamente observan contaminación del río Zapatilla, disponible en: <https://radioondaazul.com/pilcuyo-comuneros-nuevamente-observan-contaminacion-del-rio-zapatilla/>

ONU-DAES. (22 de octubre 2014). Calidad de Agua. Extraído de:
<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

OTT, W., 1978. Environmental Indices, Theory and Practice, A.A Science, Ann Arbor, Michigan-USA, extraído de: Velarde Paz B.G. (2016) INDICE DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DEL RIO CHILI EN EL SECTOR DE SACHACA-TIABAYA-HUAYCO. QUvepabg.pdf (unsa.edu.pe)

Organización de las Naciones Unidas, (2015). La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Disponible en:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

Paredes, M; Huaman, S; Espinoza, M; Changanqui, D. (2020), Evaluación de la calidad del agua de la laguna Marvilla en los Pantanos de Villa (Lima, Perú).

Peña Pulla E., (2007). Calidad de Agua – Trabajo de Investigación Oxígeno Disuelto OD (Trabajo de Investigación, Escuela Superior Politécnica del Litoral)
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>

Perez, J.; Nardin, A.; Galindo, A. (2017). Análisis Comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Río Ranchería, La Guajira-Colombia, Informacion Tecnologica, Vol. 29(3), 47-58 (2018).

Programa Nacional de Saneamiento Rural, P. (2016). Mejoramiento de agua potable y creacion de disposicion sanitaria de excretas sector sajsani. Lima: Diaconia y aderconsult srl.

Poonam, T., Tanushree, B., & Sukalyan, C. (2013). Water quality indices—important tools for water quality assessment: a review. International Journal of Advances in chemistry, 1(1),

Proyecto PNUMA – TITICACA (2011). Encuesta para la Identificación, caracterización y estimación de la carga dispuesta de las principales fuentes contaminantes puntuales de la región de Puno- Peru, Documento Base

Quiroz, L., Izquierdo, E., & Menéndez, C. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 38(3), 41-51 p.

Raffo Lecca E., Ruiz Lizama E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial 17(1): 71-80 (2014) UNMSM <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>

Revelo, (2014) . Muestreo y determinación de variaciones físicas en la Laguna de Limoncocha. Tesis de Grado. Quito, Ecuador: Universidad Internacional SEK.

Rodriguez, R. (2019), Evaluación de la calidad del agua en la cuenca chancay-lambayeque (perú) en términos de índices de calidad del agua ica-pe y nsf-wqi. Obtenido de:

<http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/5578/Informe%20final-Rodriguez%20Flores-%20FIARN-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rodriguez, S. (2019), Determinación del Estado Trófico actual de la laguna de Colta mediante la cuantificación de parámetros químicos (fosfatos, nitratos) y transparencia Secchi, disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18203/1/T-UCE-0012-FIG-098.pdf>

Roca, E. (2018). Variación de oxígeno disuelto y su influencia como indicador de calidad de agua en la bahía de paracas (2013 – 2015) – pisco, obtenido de <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/3670/TESIS%20ROCA%20BARRET%20ELVIS%20JOEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Romero Bazán, W. O. (2019). Fuentes de contaminación Antrópica

Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R y Zambrano, L. (2007). Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Instituto Nacional de Ecología (México), U. S. Fish and Wildlife Service. México.

SERFOR, (2016). Investigación de la muerte de mas de 10 000 ranas en el rio Coata. Disponible en: <https://www.gob.pe/serfor>

Sierra Ramírez C.A. (2011). Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico. Universidad de Medellín.

SPDA, (2020). Aymaras exigen atención inmediata por contaminación de río con arsénico, SPDA Actualidad Ambiental, 19 de noviembre 2020.

Sutadian, A.D., Muttill, N., Yilmaz, A.G., y Perera, B.J.C. Development of river water quality indices-a review, doi: <http://doi.org/10.1007/s10661-015-5050-0>, Environ. Monit. Assess. 188, 58. (2016).

TULSMA, 2015. Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislacion Secundaria del Ministerio del Ambiente. En: *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua*. Quito: Registro Oficial, p. 185.

United States Environmental Protection Agency (2015). Water:Monitoring & Assessment ,conductividad, [En línea] Available at:<https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms59.html>

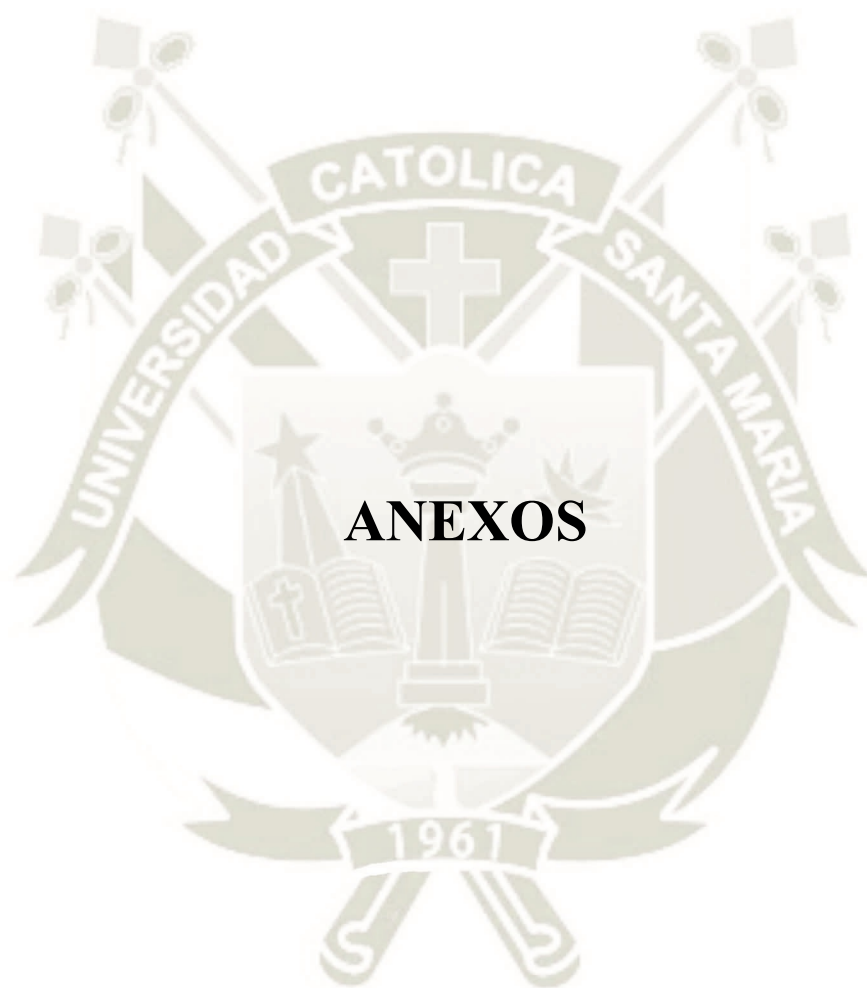
VALDERRAMA, A. y CORDOVA, D (2004). Contaminación por residuos sólidos urbanos en el malecón turístico de la bahía interior del Lago Titicaca de la ciudad de Puno; Revista Científico Social No 1, Maestría Salud Pública, UNA Puno.

Valdez,2003, Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales, Presentación de PowerPoint (wordpress.com)

Vargas García A., Reyes Navarrete M.G., Alvarado de la Peña A.I., González Valdez L.S., Magdalena Antuna D., Vázquez Alarcón E., Estaban Mendez M., Quintos Escalante M., Herrera Benavides A. (s.f). CLORUROS TOTALES EN EL AGUA DE ABASTECIMIENTO. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional 20 de Noviembre II Durango. <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/8825/1/clorurosnov12.pdf>

Yan, L., Yinguang, C. and Qi, Z. (2007). Effect of initial pH control on enhanced biological phosphorus removal from wastewater containing acetic and propionic acids. *Chemosphere*. 66, 123-129.





ANEXO 1

Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA) según D.S. N° 004-2017-MINAM

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₈ - C ₄₀)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos (e)		1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrín + Dieldrín	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difencil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrín	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(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 (NO₃⁻-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N ($\text{NO}_2\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO_2).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{E_{CA\text{Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{E_{CA\text{Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{E_{CA\text{Bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{E_{CA\text{Bromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares.

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

Nota 1:

- 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.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$)	mg/L	10	**
Nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- 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.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(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 (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃).

(d) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

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

Nota 3:

- 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 Amoniaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICOS				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrín	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrín	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrín	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

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

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

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

Nota 4:

- 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.

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
FÍSICOS- QUÍMICOS						
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	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	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 ₃ ⁻) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH ₃)	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 Suspendedos 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
INORGÁNICOS						
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
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
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
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
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
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrín	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
Endrin	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

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
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
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 ($\text{NO}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (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 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 NH_3).

Tabla N° 2: 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 NH_3)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,80	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 20 g/kg								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 30 g/kg								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	2,50	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

Notas:

(*)El 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, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N ($\text{NH}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH_3).

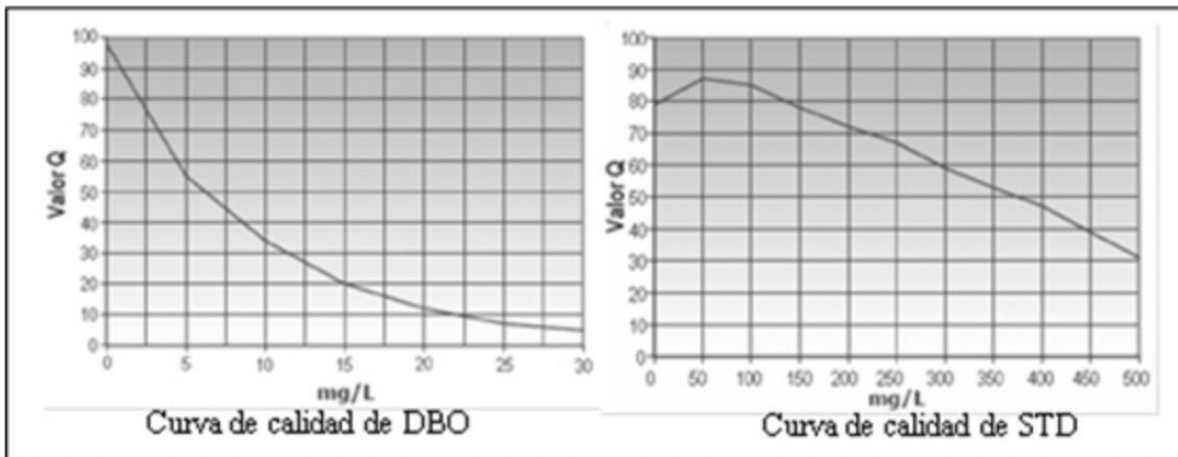
NOTA GENERAL:

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.
- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

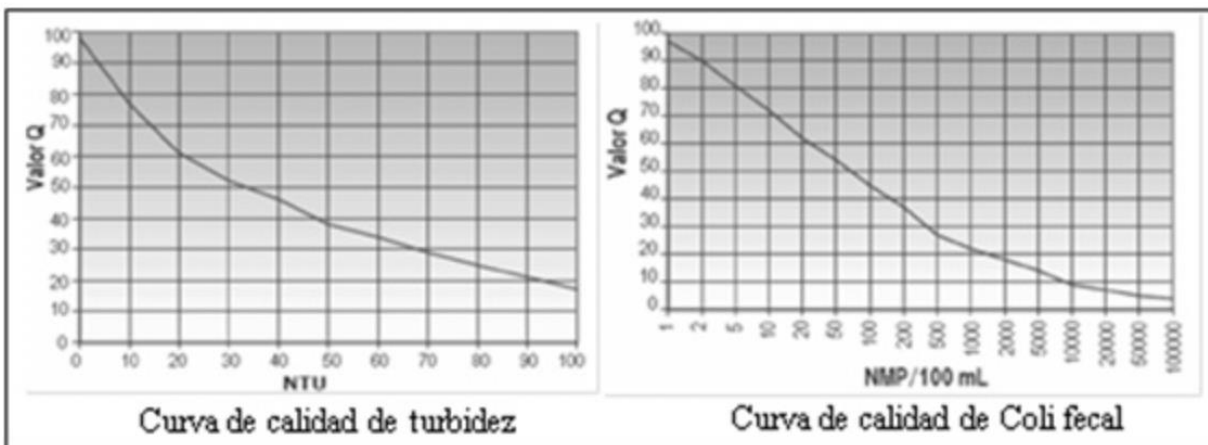
1529835-2

ANEXO 2

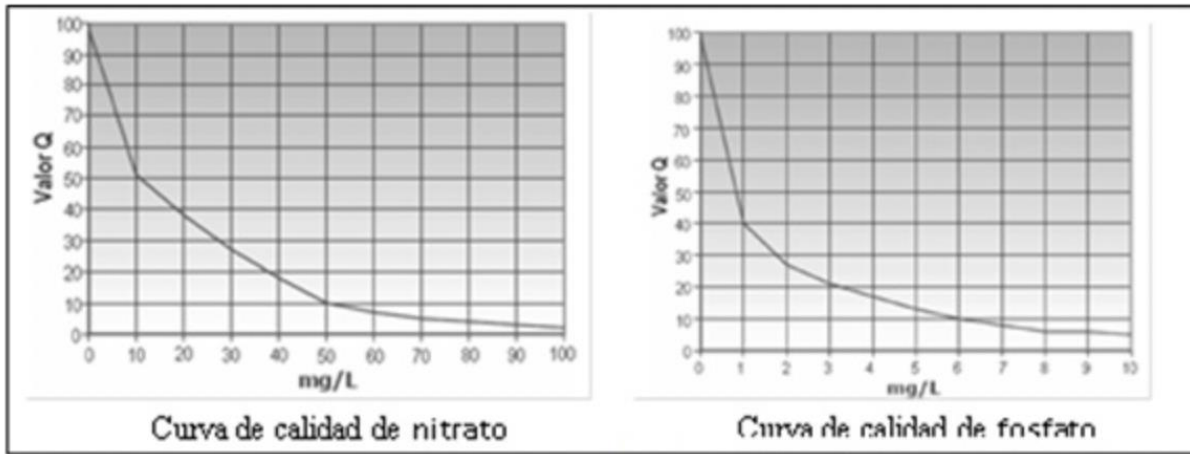
Curvas de función para la determinación de ICA-NSF



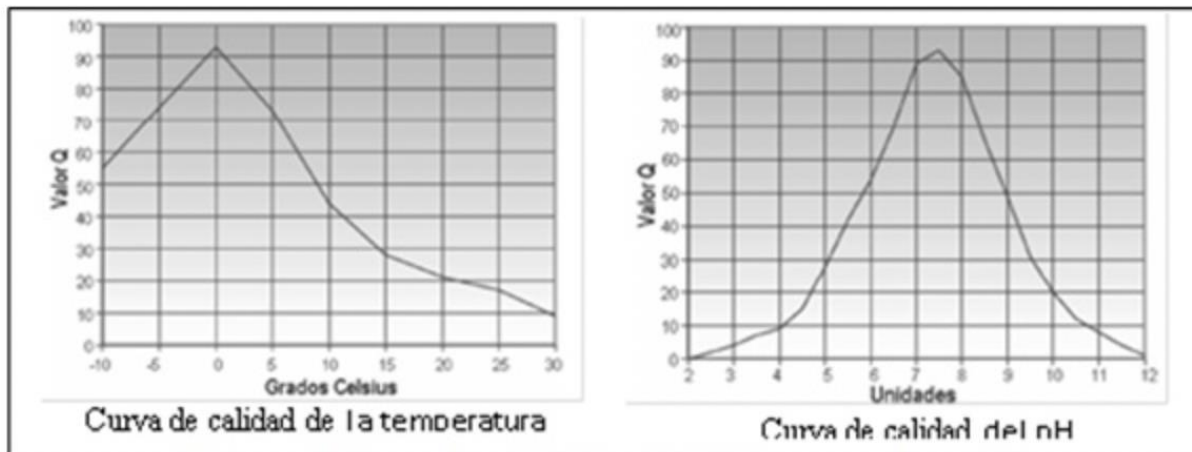
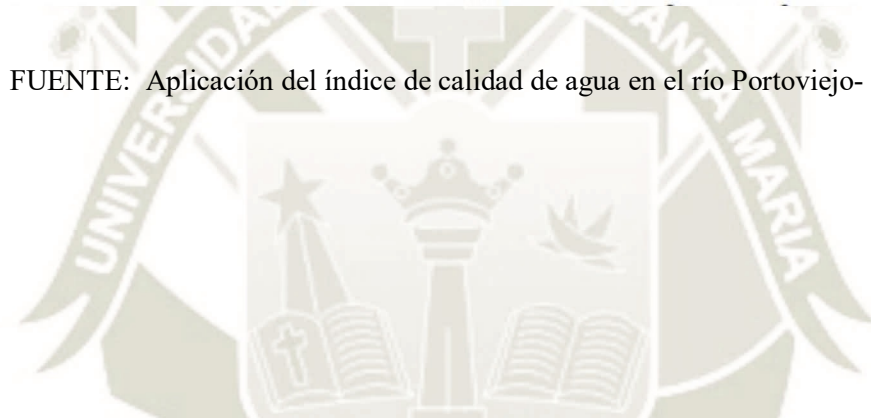
FUENTE: Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo- 2017



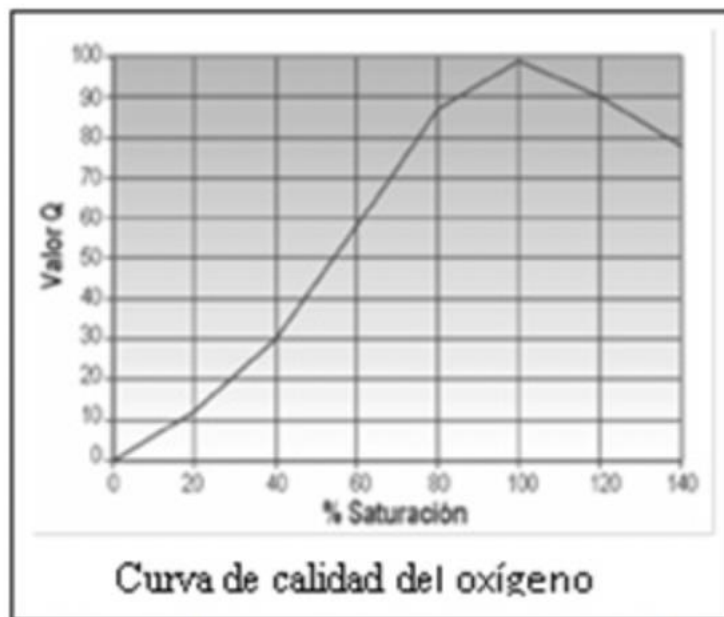
FUENTE: Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo- 2017



FUENTE: Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo- 2017



FUENTE: Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo- 2017




FUENTE: Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo- 2017



ANEXO 3

Petición a la institución PEBLT: Información de resultados de análisis de calidad de agua de los monitoreos en las Bahías del Lago Titicaca

MINAGRI PEBLT	
DIAR	016

 **PERÚ** Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego

Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca

"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

Puno, 11 MAY 2021

CARTA N° 092, -2021-MIDAGRI-PEBLT/DE

Señorita:
THAIS FIORELLA LINO RIVA
Urbanización Señorial, Pasaje La mansilla N°103 - Cayma
Celular:943541679

Arequipa.-

Asunto : Remito información de resultados de análisis de calidad de agua de los monitoreos en las Bahías del Lago Titicaca lado Peruano.


Referencia : Carta N°01-2021-TFLR

De mi mayor consideración:

Mediante el presente me dirijo a usted, en atención al documento de referencia, en la cual solicita la información de **Resultados de Análisis de Calidad de Agua de los Monitoreos en las Bahías del Lago Titicaca lado Peruano**; por ello remitimos dicha información en físico y así mismo comunicarle que la información digital será enviada al correo electrónico indicada de acuerdo a la coordinación dada con el responsable.


Es propicia la oportunidad, para expresarle los sentimientos de mi especial consideración.

Atentamente,


MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO
PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA
ING. JULVER JOSUE VILCA ESPINOZA
DIRECTOR EJECUTIVO
CIP. 102574

Adjunta (16) folios
C.c.
DIAR
Archivo

CUT: 1320-2021

 BICENTENARIO PERÚ 2021

Av. La Torre N° 399 - Puno
Teléfono (051) 208440
www.peit.gob.pe
www.minagri.gob.pe

MINAGRI PEBLT	
DIAR	015

Arequipa, 22 de abril de 2021

CARTA N° 01-2021-TFLR

MINAGRI
 MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO
 PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA
 SECRETARIA DIRECCION EJECUTIVA

23 ABR 2021

HORA: 13:50 CUT N°: 1320
 FOLIOS: FIRMA:

MINAGRI
 MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO
 PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA

23 ABR 2021

HORA: 10:26 CUT N°: 1320-21
 FOLIOS: 01 FIRMA:

Ing. JULVER JOSUE VILCA ESPINOZA

DIRECTOR EJECUTIVO – PEBLT

PRESENTE

ASUNTO: SOLICITA INFORMACIÓN DE RESULTADOS DE ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA DE LOS MONITOREOS EN LAS BAHÍAS DEL LAGO TITICACA LADO PERUANO.

REFERENCIA: APROBACIÓN DE PERFIL DE TESIS: DETERMINACIÓN DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUAS DE LAS PRINCIPALES BAHÍAS DEL LAGO TITICACA LADO PERUANO-PUNO EN EL PERIODO 2015 – 2020.

Mediante el presente me dirijo a usted con la finalidad de solicitar tenga a bien proporcionarme los datos del análisis de calidad de agua de los años 2015 al 2020 realizado en las Bahías del lago Titicaca lado peruano, por vuestra institución en la Dirección de Infraestructura Agraria y Riego, Meta Monitoreo y Evaluación, datos que servirán para el desarrollo de mi proyecto de tesis **DETERMINACIÓN DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUAS DE LAS PRINCIPALES BAHÍAS DEL LAGO TITICACA LADO PERUANO-PUNO EN EL PERIODO 2015 – 2020.**

Los parámetros solicitados son:

- Parámetros fisicoquímicos del año 2015 al 2020
- Parámetros de nutrientes del año 2015 al 2020
- Parámetros microbiológicos del año 2015 al 2020
- Parámetros de metales y metales pesados

MINAGRI
 MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO
 PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA

23 ABR 2021

HORA: 10:11 CUT N°:
 FOLIOS: FIRMA:

Sírvase canalizar la presente solicitud por la Ley de Transparencia

Concedor de su amplio espíritu colaborador,

Atentamente.

Thais Fiorella Lino Riva
DNI 70443851

FELT - DIRECCION EJECUTIVA

Posición: DIAR
 Para: Coordinación
epimonia
7

MINAGRI PEBLT
DIRECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA AGRARIA Y RIEGO

Destino: Fran. Lino
 Para: gr. Atención

FE: 23/4/21



Fecha: 23/4/21 Firma:

MINAGRI PEBLT
 DIRECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA AGRARIA Y RIEGO

