



UNIVERSIDAD PRIVADA NORBERT WIENER

FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

“Estudio del comportamiento del oxígeno
disuelto y parámetros fisicoquímicos y
microbiológicos de la Bahía Interior de Puno”

Tesis para optar el título profesional de:

QUÍMICO FARMACÉUTICO

Presentado por:

Br: QUISPE LUJANO MARLENY SOLEDAD

Asesor:

Dra. JUANA ELVIRA CHAVEZ FLORES

LIMA – PERÚ

2016

DEDICATORIA

A Dios por ser el guía de mi vida y darme la oportunidad de culminar mis estudios brindándome vida, salud y amor cada día de mi vida. A mi madre Juliana Lujano Porcela por ser ejemplo de perseverancia, humildad y mucho sacrificio.

A todas las personas que viven y vivieron en mi entorno los cuales me han demostrado su esfuerzo, confianza, amistad, cariño y amor

AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar este trabajo, a la persona más importante de mi vida, a la que me ha dado todo el amor incondicional, el apoyo, la confianza y la paciencia, por creer en mí, por enseñarme, que es la base para llegar a mi meta trazada.

A mis asesores y amigos: Dra. Juana Elvira Chávez Flores, Ing. Alfredo Quispe Lujano, Ing. German Guille Calisaya, QF. María Salazar A, quienes en todo este tiempo me han brindado su apoyo y conocimiento para poder culminar la presente tesis.

A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a las Facultades de Ingeniería Química y Biología, por su apoyo incondicional, para la realización de este trabajo de investigación.

A mi alma mater Universidad Privada Norbert Wiener que me acogió y albergó estos años e hizo posible mi formación académica.

Agradezco a los miembros del jurado, Dr. Enrique León Soria, Mg. Hugo Villanueva Vílchez, QF. Fredy Guevara Ortega, por sus orientaciones al trabajo de investigación sin la cual no habría alcanzado los resultados obtenidos.

A todas aquellas personas que colaboraron desinteresadamente de una u otra manera para la realización de este trabajo de investigación. En general, quisiera agradecer a todas aquellas personas que colaboraron desinteresadamente, dándome todo el ánimo, sobre todo su cariño y amistad, a lo largo de mi formación profesional.

INDICE GENERAL

	Pág
Resumen	
Summary	
I. INTRODUCCION	1
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Justificación del problema	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Variables	5
1.5.1. Variable independiente	5
1.5.2. Variable dependiente	5
1.6. Hipótesis	5
1.6.1. Hipótesis general	5
1.6.2. Hipótesis específicos	5
II. MARCO TEORICO	6
2.1. Antecedentes	6
2.1.1. Antecedentes internacionales	6
2.1.2. Antecedentes nacionales	8
2.2. Base teórica	10
2.2.1. Lagos	10
2.2.1.1. Importancia de los lagos	10
2.2.1.2. Propiedad de los lagos	12
2.2.2. Lago Titicaca	15
2.2.2.1. Bahía de Puno	15
2.2.2.2. Bahía Interior de Puno	17

2.2.3. Contaminación ambiental	19
2.2.3.1. Contaminación de las aguas	19
2.2.3.1.1 Tipos de contaminación	19
2.2.4. Contaminación de la Bahía Interior de Puno	21
2.2.5. Intervención de la autoridad Lago Titicaca para descontaminación de la Bahía Interior de Puno	23
2.2.5.1. Instalación de los aireadores	23
2.2.6. Proceso de transferencia de oxígeno	25
2.3. Oxígeno disuelto	27
2.3.1. Importancia del oxígeno	28
2.4. Reacciones en los sedimentos	30
2.4.1. Ciclo de nitrógeno	30
2.4.2. Ciclo de fosforo	32
2.5. Monitoreo fisicoquímico del agua	34
2.5.1. Características fisicoquímicas del agua	34
2.5.1.1. Oxígeno disuelto	34
2.5.1.2. Temperatura	35
2.5.1.3. Demanda bioquímica de oxígeno	36
2.5.1.4. Demanda química de oxígeno	36
2.5.1.5. Potencial de hidrogeno	36
2.5.1.6. Conductividad eléctrica	37
2.5.1.7. Nitrógeno amoniacal	37
2.5.1.8. Nitratos	38
2.5.1.9. Fosforo	38
2.5.1.10. Solidos totales	39
2.5.1.11. Dureza total	39
2.6. Grupo de coliformes	40
2.6.1. Coliformes totales	40
2.6.2. Coliformes termotolerantes	40
2.6.2.1. Escherichia coli	40
2.7. Análisis microbiológico del agua	41
2.7.1. Índice de calidad de agua	42

III. PARTE EXPERIMENTAL	43
3.1. Tipo de investigación	43
3.2. Muestra	43
3.2.1. Ubicación de punto de muestreo	43
3.2.2. Toma de muestras	45
3.2.2.1. Conservación y transporte de muestra de agua	45
3.2.3. Frecuencia del muestreo	45
3.3. Lugar de ejecución	46
3.4. Materiales , equipos, reactivos	46
3.4.1. Materiales	46
3.4.2. Equipos	46
3.4.3. Reactivos	46
3.5. Técnicas, instrumentos, procedimiento de recolección y procesamientos de datos	46
3.5.1. Técnica de investigación	46
3.5.2. Diseño de investigación	47
3.5.3. Instrumentos de investigación	47
3.5.4. Procesamiento de datos	48
3.5.5. Análisis de datos	48
3.6. Métodos	48
3.6.1. Parámetros fisicoquímicos	48
3.6.1.1. Determinación de Temperatura	48
3.6.1.2. Determinación del oxígeno disuelto	49
3.6.1.3. Determinación de potencial de hidrogeno	50
3.6.1.4. Determinación de la conductividad eléctrica	51
3.6.1.5. Determinación de la demanda química de oxigeno	51
3.6.1.6. Determinación de la demanda Bioquímica de oxigeno	52
3.6.1.7. Determinación del fósforo total	52
3.6.2. Parámetros microbiológicos	53
3.6.2.1. Determinación del NMP de coliformes totales	53

3.6.2.2. Determinación del NMP de coliformes termotolerantes (<i>Escherichia coli</i>)	54
3.7. Calculo de concentración de saturación de oxígeno disuelto y coeficiente de transferencia de masa (Ley de Fick).	56
3.7.1. Cálculo de la presión atmosférica para la ciudad de Puno.	56
3.7.2. Cálculo de la presión parcial de oxígeno (PPO_2)	56
3.7.3. Cálculo de la fracción molar de equilibrio del oxígeno disuelto del agua	57
3.7.4. Cálculo de la concentración de saturación de oxígeno en el agua C_s	57
3.7.5. Cálculo de coeficiente de transferencia de oxígeno (K_{La})	58
3.7.6. Cálculo de tasa de cambio en la concentración	59

IV. RESULTADO

4.1. Interpretación de resultados fisicoquímicos	60
4.1.1. Oxígeno disuelto	60
4.1.2. Temperatura	61
4.1.3. Demanda Bioquímica de oxígeno	61
4.1.4. Potencial de hidrogeno	63
4.1.5. Conductividad eléctrica	63
4.1.6. Solidos disueltos totales	64
4.1.7. Nitrógeno amoniacal	65
4.1.8. Fosforo total	66
4.1.9. Dureza total	67
4.2. Resultado de los cálculos de concentraciones de saturación de OD y coeficientes de transferencia de masa	68
4.3. Interpretación del diseño experimental para oxígeno disuelto con aireadores en funcionamiento	69
4.3.1. Análisis de varianza de oxígeno disuelto	70
4.4. Interpretación del diseño experimental para oxígeno disuelto sin aireadores en funcionamiento	70
4.4.1. Análisis de varianza de oxígeno disuelto	71
4.5. Parámetros microbiológicos	72

4.5.1. Coliformes termotolerantes	72
4.5.2. Coliformes totales	73
4.5.3. Coliformes fecales (<i>E. Coli</i>)	74
4.6. Resultados de índice de calidad de agua	75
4.6.1. Calculo para hallar el índice de calidad de agua (ICA) de la Bahía Interior de Puno.	76
V. Discusión	77
VI. Conclusiones	81
VIII. Recomendaciones	82
IX. Referencia Bibliográfica	83
X. Anexos	90

ÍNDICE DE TABLA

	Pág.
Tabla 1. Rangos de concentración de oxígeno disuelto.	28
Tabla 2. Estado de oxidación de nitrógeno.	30
Tabla 3. Relación entre la temperatura y oxígeno disuelto en el agua.	36
Tabla 4. Estructuras del cálculo Índice calidad de agua.	42
Tabla 5. Puntos de muestreos en el sistema de aireación.	43
Tabla 6. Frecuencia de muestreo Bahía Interior de Puno.	45
Tabla 7. Matriz de diseño K = 2.	47
Tabla 8. Medición del oxígeno disuelto.	50
Tabla 9. Cálculos de concentración de saturación de oxígeno disuelto y coeficiente de transferencia de masa.	68
Tabla 10. Análisis de Varianza para oxígeno disuelto con aireadores en funcionamiento.	70
Tabla 11. Análisis varianza para oxígeno disuelto sin aireadores.	71
Tabla 12. Clasificación del índice de calidad de agua propuesto por Brown.	76
Tabla 13. Equipos para el estudio de parámetro.	93
Tabla 14. Parámetros fisicoquímicos determinados en el laboratorio de la UNA.	93
Tabla 15. Resultados de los principales parámetros fisicoquímico del mes de julio 2014 de la Bahía Interior de Puno. Facultad de ingeniería Química de la UNA.	94
Tabla 16. Resultados de los principales parámetros fisicoquímico del mes de agosto 2014 de la Bahía Interior de Puno. Facultad de ingeniería Química de la UNA.	95
Tabla 17. Resultados de los principales parámetros fisicoquímico del mes de setiembre 2014 de la Bahía Interior de Puno. Facultad de ingeniería Química de la UNA.	96
Tabla 18. Resultados de los principales parámetros fisicoquímico del mes de octubre 2014 de la Bahía Interior de Puno. Facultad de ingeniería Química de la UNA.	97
Tabla 19. Resultados de los principales parámetros fisicoquímico	

	del mes de noviembre 2014 de la Bahía Interior de Puno. Facultad de ingeniería Química de la UNA.	98
Tabla 20.	Resultados de los parámetros microbiológicos en los meses de Julio y Agosto del 2014 de la Bahía Interior de Puno. Facultad de ciencias Biológicas de la UNA.	99
Tabla 21.	Resultados de los parámetros microbiológicos en los meses de setiembre y octubre del 2014 de la Bahía Interior de Puno. Facultad de ciencias Biológicas de la UNA. Parámetros fisicoquímicos determinados en el laboratorio de la UNA.	100
Tabla 22.	Resultados de los parámetros microbiológicos en el Mes de noviembre del 2014 de la Bahía Interior de Puno. Facultad de ciencias Biológicas de la UNA. Parámetro Fisicoquímicos determinados en el laboratorio de la UNA.	101
Tabla 23.	Comparativo de resultados fisicoquímicos del sistema de aireación, medio con los no aireadores del ANA, UNA – Puno y otros autores.	102

ÍNDICE DE FIGURA

	Pág.
Figura 1. Esquema del proceso de eutrofización.	11
Figura 2. Esquema de eutrofización de un lago.	14
Figura 3. Mapa lago Titicaca	16
Figura 4. Mapa de la Bahía interior de Puno.	18
Figura 5. Instalación de los aireadores de la Bahía Interior de Puno.	23
Figura 6. Instalación de motores y sopladores (Base 5).	24
Figura 7. Esquema del ciclo del oxígeno disuelto en un cuerpo de agua.	29
Figura 8. Transformes biogeoquímicos de nitrógeno.	31
Figura 9. Ciclo de fósforo en ecosistemas acuáticos.	33
Figura 10. Relación entre coliformes totales, termotolerantes y fecales (E. coli)	41
Figura 11. Área de influencia de los puntos de muestreo	44
Figura 12. Oxígeno disuelto a partir del sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.	60
Figura 13. Temperatura a partir del sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.	61
Figura 14. Demanda Bioquímica de oxígeno a partir del sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.	62
Figura 15. Potencial del Hidrogeno a partir del sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.	63
Figura 16. Conductividad eléctrica a partir del sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.	64
Figura 17. Solidos disueltos totales a partir del sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.	65
Figura 18. Nitrógeno amoniacal a partir del sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.	66
Figura 19. Fósforo total a partir del sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.	67
Figura 20. Dureza total a partir del sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.	68

Figura 21. Diagrama Pareto estandarizado para oxígeno disuelto con aireación.	69
Figura 22. Superficie respuesta del comportamiento del oxígeno disuelto.	69
Figura 23. Diagrama Pareto estandarizado para oxígeno disuelto sin aireadores	70
Figura 24. Superficie respuesta del comportamiento del oxígeno disuelto.	71
Figura 25. Comportamiento de coliformes totales.	72
Figura 26. Comportamiento de coliformes termotolerantes	73
Figura 27. Comportamiento de Escherichia coli	74
Figura 28. Zona de muestreo de la Bahía Interior de Puno con sistema aireación.	103
Figura 29. Eutroficación de la Bahía de Interior de Puno.	103
Figura 30. Zona de aireación de la Bahía Interior de Puno (a, b, c, d)	104
Figura 31. Zona de muestreo de la Bahía Interior de Puno, para el análisis fisicoquímicos. (a, b, c, d)	105
Figura 32. Conservación de muestra en hielo y entrega de Muestras en el laboratorio de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Altiplano de Puno. (a y b)	106
Figura 33. Desembocadura de alcantarillado de la Bahía Interior de Puno.	107
Figura 34. Desembocadura de alcantarillado del frontis de la Universidad Altiplano de Puno.	107
Figura 35. Zona de muestreo de la Bahía Interior de Puno para el análisis microbiológico de coliformes Termotolerantes, totales y fecales (a, b, c).	108

ABREVIATURA

BIP:	Bahía Interior de Puno.
ALT:	Autoridad Binacional del Lago Titicaca.
UNA:	Universidad Nacional Altiplano de Puno.
OD:	Oxígeno disuelto.
T:	Temperatura
DBO:	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO:	Demanda química de oxígeno
c.e:	Conductividad eléctrica.
pH:	Potencial de hidrogeno.
SDT:	Solidos disueltos totales
NH₃⁺- N:	Nitrógeno amoniacal.
NO₂:	Nitrito.
NO₃:	Nitrato.
ICA:	Índice de calidad de agua.
Atm:	Atmosfera
K_{La}:	Coeficiente de transferencia
C_s:	Concentración de Saturación
P_{P02}:	Presion parcial del oxígeno.
CT:	Coliformes fecales.
E. Coli:	<i>Escherichia Coli.</i>
OMS:	Organización mundial de la salud
MNP/100mL:	Numero más probable por 100 mililitros.
NR:	No registra

RESUMEN

El presente trabajo de investigación forma parte del campo de la calidad ambiental, uno de los mayores problemas que enfrenta la ciudad de Puno es la contaminación de la Bahía Interior de Puno, debido al proceso de eutrofización que sufre a causa del mal tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Puno. **Objetivo:** Estudiar el comportamiento del oxígeno disuelto y los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la Bahía Interior de Puno. Las muestras fueron tomadas dentro de una zona aireada tomando en consideración 4 puntos. **Metodología:** Se utilizó el método analítico (APHA 1998), para el oxígeno disuelto se utilizó la técnica de electrodos de membrana in situ con el uso de un Oxímetro HANNA y para los coliformes se utilizó la técnica de tubos de fermentación múltiple (NMP). **Resultados:** Los cálculos obtenidos para la presión atmosférica de la ciudad de Puno (3810 m.s.n.m) es 0,62 atm, PP_0 es 0,1304 atm, la concentración de saturación de oxígeno a 20°C es de 5,77 mgO₂/L; en los parámetros fisicoquímicos se encontraron el OD 8,65mg/L, DBO₅ 40 mg/L, pH 8,37, c.e 1464.82 μ s/Cm, fósforo total 1,2162 mgP/L, N. Amoniacal 0,029 mgN/L; en los parámetros microbiológicos, se registró durante los meses de julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre del 2014, hubo una variación de coliformes totales se observó un valor máximo y mínimo en las muestras M1, M4 con 6500 NMP/100mL y 4500 NMP/100mL; en coliformes termotolerantes, se observó un valor máximo y mínimo en las muestras M1, M4 con 2500 NMP/100mL y 1700 NMP/100mL mientras que los coliformes fecales (*Escherichia coli*) se observó un valor máximo y mínimo en mínimo en la M1, M4 con ; con 680 NMP/100mL y 550 NMP/100mL; el índice de calidad (ICA) nos da 65,61% lo que nos indica que el agua se encuentra regular. **Conclusión:** Se demostró que el comportamiento del oxígeno disuelto de la Bahía Interior de Puno se encontró sobresaturado de 9,28 mg/L a 11,19 mg/L siendo la saturación máxima 5,77mg/L de acuerdo a la ley Henry; se identificó los parámetros fisicoquímicos (DBO, c.e, SDT, N- NH₃, Fósforo total) se encontró fuera de los valores estipulados por los ECA, con excepción del OD, T, pH, se encontró dentro a los valores estipulados por el ECA y microbiológicos coliformes (totales, termotolerantes, E. coli) estos se encuentran fuera de los (ECA).

Palabras Clave: Bahía Interior de Puno, Concentración de saturación de oxígeno disuelto, estándares de calidad de agua.

ABSTRACT

This research is part of the field of environmental quality, one of the biggest problems facing the city of Puno is the pollution of the Inner Bay of Puno, due to the process of eutrophication suffers because of poor water treatment waste from the city of Puno. Objective: To study the behavior of dissolved oxygen and chemical and microbiological parameters in the Inner Bay of Puno. Samples were taken within a zone aerated considering four points. Methodology: the analytical method (APHA 1998), for dissolved technique electrodes membrane in situ using an oximeter HANNA oxygen it was used and for coliform technique tubes multiple fermentation (NMP) was used was used. Results: The calculations for atmospheric pressure obtained from the city of Puno (3810 m.s.n.m) is 0.62 atm, PP_0 is 0.1304 atm, the concentration of oxygen saturation at 20 ° C is 5.77 mg O₂ / L; in physicochemical parameters were found OD 8,65mg / l, BOD₅ 40 mg / L, pH 8.37, 1464.82 c.e mS / cm, total phosphorus 1.2162 mgP / L, N. Ammoniacal 0,029 mgN / L; in microbiological parameters were recorded during the months of July, August, September, October, November 2014, there was a variation of thermotolerant coliforms, obtaining in M1, the maximum value 2500 NMP / 100 mL and was obtained and the minimum value was observed in M4 with 1700 NMP / 100 mL in total coliform a maximum and minimum value M1, M4 samples with 6500 NMP / 100 mL and 4500 NMP / 100 mL was observed; while fecal coliforms a maximum and minimum value was observed at least in the M1, M4 680 NMP / 100 mL; quality index (ICA) gives us 65.61% which indicates that water is regularly. Conclusion: It was shown that the behavior of dissolved oxygen of the Inner Bay of Puno found oversaturated with 9.28 mg / L to 11.19 mg / L and the maximum saturation 5,77mg / L according to the Henry law; physico-chemical parameters (BOD, ce, SDT, N NH₃, total phosphorus) was identified was found outside the values stipulated by the ECA, except OD, T, pH, was within the values specified by the ECA and microbiological coliforms (thermotolerant, total) these are outside (RCTs)

Keywords: Interior of Puno Bay, saturation concentration of dissolved oxygen, water quality standards. Dissolved oxygen.

I. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de oxígeno disuelto en aguas superficiales es importante, ya que afecta directamente el metabolismo de las especies, pero también indirectamente varios de sus procesos bioquímicos. En la mayoría de los lagos, ríos y arroyos no contaminados, la concentración de oxígeno disuelto, se mantiene arriba de 80% de saturación. La solubilidad del oxígeno se incrementa no linealmente en función de la temperatura. La concentración de saturación del oxígeno en los ecosistemas acuáticos, decrece cuando la temperatura se incrementa. La presión atmosférica también juega un papel importante en la solubilidad del oxígeno disuelto ya que la solubilidad decrece cuando la presión atmosférica decrece. Sin embargo, otros factores como los contaminantes orgánicos asociados con las descargas municipales o desechos industriales, pueden reducir las concentraciones de oxígeno disuelto. ¹

Con el objetivo de determinar los parámetros fisicoquímicos (OD, T°, DBO, pH, c.e, STD, N-NH₃, P total, dureza total) y microbiológicos (coliformes termotolerantes, coliformes totales, *Escherichia coli*) que presentan las aguas de la Bahía Interior, evaluados en cada mes y determinar el índice de calidad de agua. Los resultados de los análisis fueron evaluados mediante comparación con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aguas según la categoría 4 “Conservación del Ambiente Acuático – lagos y lagunas”, en concordancia con la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338. ²

La determinación de oxígeno disuelto en agua de Bahía Interior Puno, es un parámetro muy relevante para la vida acuática y de los macrófitos que coexisten con ella, además de evitar la eutroficación de la Bahía Interior por exceso de nutrientes. Para ello se determinaron ensayos experimentales del oxígeno disuelto tanto en la superficie y a 3 metros de profundidad, instalados en el frontis de la Universidad Nacional del Altiplano, evidenciados que los análisis de Oxígeno Disuelto en la zona de aireado fueron sobresaturados respecto al dato calculado 5,77 mg/O₂/L que representa al nivel máximo de saturación por litro de agua para la Bahía Interior Puno.

1.1 Planteamiento de problema

Las condiciones medio ambientales del Lago Titicaca vienen degenerándose paulatinamente de manera focalizada, siendo en las zonas con mayor contaminación: la Bahía interior de Puno y los ríos Ramis y Coa en el Perú y la Bahía de Cohana en Bolivia. Para superar esta situación, se han realizado diversos estudios, diferentes acciones específicas y puntuales para la reducción de la contaminación.^{3,4}

Estudios realizados en Bahía interior de Puno, hecho por la Autoridad Binacional de Lago Titicaca (ALT), revelo que las aguas de Bahía interior de Puno se encuentra eutrofizada, por incremento poblacional de la ciudad de Puno y la alta tasa de desechos como los residuos sólidos, aguas residuales, aguas domésticas y metales pesados, esto sumado a la falta de una planta de tratamiento de aguas residuales viene contribuyendo a la contaminación y eutrofización.⁵

El esfuerzo interinstitucional, de la Autoridad Lago Titicaca (ALT), en la Bahía interior de Puno en el año 2008 realizó la instalación de cuatro sistemas de aireación en la Bahía interior de Puno, con el fin de mejorar las condiciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que son indicadores de la calidad de agua (ICA) como el Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química Oxígeno (DQO) y Coliformes totales, coliformes termotolerantes *Escherichia coli*. De éstos cuatro sistemas, uno fue transferido a la laguna de estabilización del Espinar y los otros tres se encontraban en la Bahía interior de Puno a cargo de la ALT (Autoridad Binacional de Lago Titicaca).^{6,7}

El Sistema de aireación venía funcionando como prueba, si bien se apreció una mejora de la calidad del agua en el área de influencia del sistema, sin embargo (no se realizó un monitoreo constante de los parámetros fisicoquímicos y microbiológica), por el cual, no se contaba con los registro y datos completos, esto permitiría una efectiva evaluación integral de la zona aireada y determinar la eficiencia de los aireadores de la Bahía interior de Puno, es de interés

confirmar que la calidad del agua de la Bahía Interior de la ciudad de Puno se encuentra eutrofizada y en condiciones anóxicas.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿En qué medida el oxígeno disuelto influye en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos degradantes de materia orgánica?

1.2.2 Problemas específico

1. ¿En qué medida los niveles de oxígeno disueltos permitirá predecir la sobrevivencia de las especies acuáticas dentro de la Bahía Interior Puno?
2. ¿En qué grado la utilización de los parámetros fisicoquímicos incide en la medición del índice de calidad de agua (ICA) de la Bahía Interior Puno?
3. ¿En qué medida los parámetros microbiológicos pueden evidenciar el grado de contaminación bacteriana de la Bahía Interior Puno?

1.3 Justificación del problema

La Bahía Interior de Puno viene sufriendo grandes cambios en lo referente a su calidad del agua, en los últimos años este problema se ha acentuado, con el crecimiento de la población, sobre todo a partir del año 1960.³

Ante la necesidad de evidenciar en qué medida influye el sistema de aireación mecánica, en el área de influencia instalada en la Bahía Interior Puno, teniendo en cuenta la altura sobre el nivel del mar (3,810 m.s.n.m), verificando la demanda de oxígeno necesaria en la vida acuática especialmente en los microorganismos degradantes de la materia orgánica (NPK), es indispensable el estudio del comportamiento oxígeno disuelto (OD) y verificar qué factores están predisponiendo a que la Bahía Interior de Puno, se encuentre eutrofizada, esto será factibles a aplicarse en la descontaminación del Bahía Interior Puno.

La eutroficación de la Bahía Interior de Puno, está en progresión geométrica debido al vertimiento descontrolado de carga orgánica o desechos urbanos que ingresan al Lago Titicaca, esto ocasiona la

contaminación vertiginosa, por consiguiente trae consecuencia negativa con la salud pública. La investigación pretende generar datos con relación al comportamiento del oxígeno disuelto (OD), los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos considerando que esto permitirá determinar en que condiciones se encuentra el agua de la Bahía Interior Puno.

Los resultados de la investigación reveló si las aguas de la Bahía Interior de Puno están en condiciones hipóxicas y anóxicas, lo que permitirá verificar los niveles de oxígeno disuelto (OD) a diferentes profundidades. En ese sentido determinara la presión atmosférica a la altura de Puno, la presión parcial de oxígeno (PpO_2), con lo que se determina la concentración de saturación de oxígeno disuelto para nuestras condiciones de altura.

Finalmente, para contrastar los cálculos analíticos, se determinó la concentración de saturación del oxígeno disuelto, mediante método analítico (APHA), utilizando la técnica de electrodos de membrana, in situ para efectos de parámetros fisicoquímicos, para el análisis microbiológico se empleó el método de conteo NMP en coliformes totales, termotolerantes y *escherichia coli*, de forma tal se evidencia si las aguas de Bahía Interior de Puno, está dentro de los estándares de calidad (ECA), asimismo contribuirá a la determinación del Índice Calidad de Agua (ICA) clasificado por Brown.

1.4 Objetivos:

1.4.1 Objetivo General

Estudiar el comportamiento del oxígeno disuelto y los parámetros fisicoquímicos (OD, T°, DBO, pH, c.e, STD, N-NH₃, P total, dureza total) y microbiológicos (coliformes termotolerantes, coliformes totales, coliformes fecales) en la Bahía Interior de Puno.

1.4.2 Objetivo Específicos

1. Determinar los niveles de oxígeno disuelto en la Bahía Interior de Puno.
2. Determinar los parámetros fisicoquímicos (OD, T°, DBO, Ph, c.e, STD, N-NH₃, P total, dureza total) y el índice de calidad de agua (ICA) en la Bahía Interior de Puno.
3. Determinar los parámetros microbiológicos (coliformes totales, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*), en la Bahía Interior de Puno.

1.5 Variables

1.5.1 Independiente: Estudio comportamiento del oxígeno disuelto.

1.5.2 Dependiente: Parámetros fisicoquímicos (OD, T°, DBO, Ph, c.e, STD, N-NH₃, P total, dureza total) y microbiológicos (coliformes totales, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*).

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipotesis General

El estudio del comportamiento del oxígeno disuelto influye directamente en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la Bahía Interior de Puno.

1.6.2 Hipotesis Especifico

1. Los niveles de oxígeno disueltos evaluados permitirá la sobrevivencia de las especies acuáticas dentro de la Bahía Interior de Puno.
2. La utilización de los parámetros fisicoquímicos determinará en la medición del índice de calidad de agua (ICA) de la Bahía Interior de Puno.
3. Los parámetros microbiológicos pueden evidenciar el grado de contaminación bacteriana de la Bahía Interior de Puno.

II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Ledesma C, Bonansea M, et.al. 2013,⁸ en el estudio titulado Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). El embalse Río Tercero (Argentina) se encuentra afectado por diversas actividades antrópicas que impactan negativamente sobre el recurso, una de las consideraciones más importante es poder definir las variables más significativas, **Objetivo;** Determinar la calidad del agua y estado trófico del embalse Río Tercero (Argentina). **Metodología;** Para la toma de muestras, almacenamiento, conservación y técnicas analíticas se realizó según APHA (2000), para identificar las variables se realizó un análisis estadístico descriptivo multivariado generando una matriz de correlación y un análisis de componentes principales (ACP), con el fin de generar bases para una adecuada gestión de los recursos hídricos de la región. El embalse experimentó un deterioro en su calidad, pasando desde un estado de mesotrófico a eutrófico. **Resultados;** Se demostró que existe correlación positiva entre la clorofila- a y las variables fósforo total ($r = 0,83$), oxígeno disuelto ($r = 0,51$) y temperatura ($r = 0,43$). El ACP explicó el 65,6% de la variabilidad total de los datos. El análisis multivariado estableció que las variables más significativas para explicar la variabilidad en el reservorio fueron clorofila-a, fósforo total y temperatura, lo que demuestra que los florecimientos algas deberían ocurrir en las estaciones primavera-verano. **Conclusión;** Se demostró que a través de las variables físicas, químicas y biológicas se logró establecer una evaluación de la calidad del agua, así como se determinó que el embalse Río Tercero sufrió un cambio de la calidad de agua de mesotrófico a eutrófico, demostrándose su deterioro.

López M, Pulido M, Serrano A, et.al, 2012,⁹ en el estudio titulado Evaluación estacional de las variables fisicoquímicos del agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. La evaluación se realizó en diferentes estaciones climáticas durante el período enero de 2009 a marzo de 2010. Se eligieron cuatro sitios de muestreo, la Mata de Tampamachoco, Isla Potreros Sur, CFE y Pipiloya. **Objetivo:** Evaluar las condiciones fisicoquímicas del agua

de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, México, en diferentes estaciones climáticas durante el período enero de 2009 a marzo de 2010. **Método:** Las mediciones se realizaron *in situ* las variables de temperatura, pH, porcentaje de saturación de oxígeno, salinidad, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT) y transparencia. Para analizar el comportamiento de las variables fisicoquímicas a escala temporal y entre los sitios de muestreo de la Laguna de Tampamachoco, se realizó un análisis de varianza de una vía, se evaluó con una prueba F al 95% de significación y para visualizar las diferencias se realizó una prueba de Tukey al 95% de significación (Zar, 1999; Daniel, 2002). Se aplicó el programa Statgraphics Plus V. 5.1. **Resultados:** Se midieron las variables fisicoquímicas mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las estaciones climáticas con excepción de la transparencia; mientras que entre los sitios muestreados no hubo diferencias significativas ($P > 0,05$). **Conclusión:** Se evaluó las condiciones fisicoquímicas del agua de la Laguna Tampamachoco, encontrando los promedios máximos registrados en una relación entre las variación climática; pH, % de saturación de oxígeno y SDT (invierno del 2009), la salinidad y conductividad eléctrica (primavera), la temperatura (verano).

Hernández J, Espinoza Y, Malpica L, et.al. ¹⁰ En el estudio titulado Calidad del agua de riego y parámetros microbiológicos y químicos del suelo de la zona agrícola de Barbacoas, estados Aragua, se realizó un estudio. **Objetivo:** Determinar la relación entre la calidad del agua de riego y la contaminación microbiológica y química del suelo, mediante la determinación de microorganismos indicadores como coliformes totales, coliformes fecales. **Metodología:** Para la cuantificación de coliformes fecales (CF) se utilizó el método tubos múltiples. El número más probable (NMP) fue determinado utilizando un 95% de confianza. **Resultados:** Los valores de coliformes Totales en las aguas de riego oscilaron entre 107 a 109 NMP/100 mL. La mayor concentración de Coliformes Totales fue observada en el punto control (puente) con el mayor ($P < 0,05$) valor de $1,1 \times 10^{10}$ NMP/100 mL. Por otra parte, el agua de riego de la parcela de lechosa presentó el menor valor ($1,5 \times 10^7$ NMP/100 mL) de Coliformes Fecales. **Conclusión:** Se determinó que no existe relación directa entre los parámetros evaluados en el agua de riego y los suelos de las diferentes parcelas.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Beltrán D, Palomino R, Moreno E, et.al 2015, ¹¹ en el estudio titulado Calidad de agua de la Bahía Interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011. Se establecieron 12 estaciones de muestreo aleatoriamente evaluados mensualmente entre diciembre de 2010 a abril 2011. **Objetivo:** Evaluar la calidad del agua de la Bahía Interior de Puno, lago Titicaca entre diciembre del 2010 a abril del 2011. **Metodología:** Se determinaron parámetros fisicoquímicos utilizando las metodologías validadas de EPA y APHA los nutrientes se determinaron mediante espectrofotometría. La temperatura, oxígeno disuelto, pH, fosfatos, nitratos y nitritos del agua indican que el área próxima a la salida de la laguna de estabilización de la ciudad (isla espinar) es una zona crítica de contaminación en la Bahía Interior de Puno. **Resultados:** Los valores de transparencia del agua fueron bajos. La conductividad eléctrica del agua registro valores elevados. Los valores de alcalinidad fueron altos (75 -150 mg/L), muy altos (> 150 mg/L), indicando un alto contenido de carbonatos y bicarbonatos. La dureza total registrada indica aguas duras (121 – 180 mg/L), muy dura (>180 mg/L). Las altas cantidades de coliformes en aguas cercanas a la isla Espinar serian el resultado de la descarga de aguas residuales de la ciudad de Puno, sin un tratamiento adecuado. **Conclusión:** Se demostró, la calidad de agua de la Bahía Interior de Puno, lago Titicaca; posee un incremento en los parámetros fisicoquímicos (OD, DBO₅) una alta carga de coliformes fecales >2000 NMP/100mL, lo que nos indica que están por encima de los estándares calidad de agua (ECA).

Canales A. 2010, ¹² en el estudio titulado, Evaluación de la Biomasa y Manejo de *Lemna gibba* (lenteja de agua) en la Bahía interior del Lago Titicaca, Puno. Evaluación de la biomasa, se realizó en forma mensual durante 12 meses, en sector de la Bahía Interior de Puno. **Objetivos:** Determinar la eficacia de la biomasa (Kg /m²) de lenteja de agua de la Bahía Interior del lago Titicaca y plantear una estrategia de manejo de la lenteja de agua de la bahía interior del lago Titicaca. **Metodología:** Para determinar la biomasa (Kg /m²), se ha muestreado utilizando el método de cuadrantes aleatorios de 0,25 x 0,25 m², luego estos datos fueron extrapolados al m². Se pesó la cantidad de lenteja de agua, para ello se utilizó una balanza de precisión con la finalidad de determinar

la biomasa en materia verde de lenteja de agua. Luego, se efectuó un análisis de datos a través de un software infostat 2007, con la finalidad de determinar diferencias de la biomasa (Kg /m²) entre los meses de evaluación. Así mismo, se realizó un análisis de correlación de la biomasa con respecto a la temperatura del agua, pH del agua, con la finalidad de determinar cuál de las variables tuvo una mayor afinidad con la biomasa de la lenteja de agua. **Resultados:** El promedio de la biomasa de la lenteja de agua en la bahía interior fue de 6,94 Kg /m², mientras que los promedios de pH y temperatura del agua fueron de 6,3 y 13,8°C, respectivamente. **Conclusión:** Se demostró la eficacia de este organismo para crecer en condiciones difíciles (además hay altos niveles de N, P y metales pesados); se planteó varias alternativas para disminuir el proceso de eutrofización del lago Titicaca.

2.2. Base Teórico

2.2.1. Lagos

El lago es aquella masa de agua permanente y relativamente extensa, más o menos profunda, depositada en una depresión del terreno y sin comunicación con las aguas oceánicas.¹³

Los lagos, igual que los ríos, han sido de gran importancia para la humanidad. Estas grandes masas de agua que se encuentran almacenadas en las depresiones de la corteza terrestre, las cuales se alimentan principalmente de las precipitaciones y de las corrientes superficiales. La mayor parte de los lagos son de agua dulce, sin embargo también existen lagos salinos, debido a que fueron mares.¹⁴

2.2.1.1. Importancia de los lagos

Los lagos son de gran importancia regional, gracias a estos el clima de los lugares cercanos se regula, además son una fuente de alimentación para la fauna de la región y representan una reserva de agua para el riego de cosechas, así como para consumo humano.¹⁴ Los ecólogos clasifican los lagos por el contenido de sus nutrientes y por su productividad primaria. Los que tienen pocas existencias de nutrientes vegetales se llaman **oligotróficos** u **oligotrofos** (mal alimentados). Con frecuencia esta clase de lagos son profundos y tienen riberas escarpadas. Por lo habitual, poseen aguas cristalinas y pequeñas poblaciones de fitoplancton y peces. Dado su limitado nivel de nutrientes, su productividad primaria neta es muy baja.¹⁵

Con el tiempo, el sedimento, el material orgánico y los nutrientes inorgánicos llegan a casi todos a los lagos oligotróficos, y las plantas crecen y se descomponen formando sedimentos en el fondo. Los lagos que contienen las grandes existencias de nutrientes que necesitan los productores se llaman **eutróficos** o **eutrofos** (bien alimentados), por lo habitual son poco profundos y su agua es muy turbia, de tono café o verde. Debido a sus altos niveles de nutrientes, su productividad primaria neta es muy elevada. Las entradas de nutrientes de la atmósfera y de las zonas urbanas y agrícolas cercanas, derivadas de las actividades humanas,

aceleran la eutrofización de los lagos, en un proceso llamado eutrofización cultural, que muchas veces introduce una cantidad excesiva de nutrientes a los lagos, los cuales se describen como hipereutróficos.

a. **Eutrofización** ¹⁶

Es el enriquecimiento en nutrientes de las aguas. Produce un crecimiento excesivo de algas, las cuales al morir se depositan en el fondo de los ríos o lagos, generando residuos orgánicos que, al descomponerse, consumen gran parte del oxígeno disuelto y de esta manera pueden afectar a la vida acuática y producir la muerte por asfixia de la fauna y flora, hasta el punto de matar el río o lago por completo. Las algas se desarrollan cuando encuentran condiciones favorables: temperatura, sol y nutrientes.

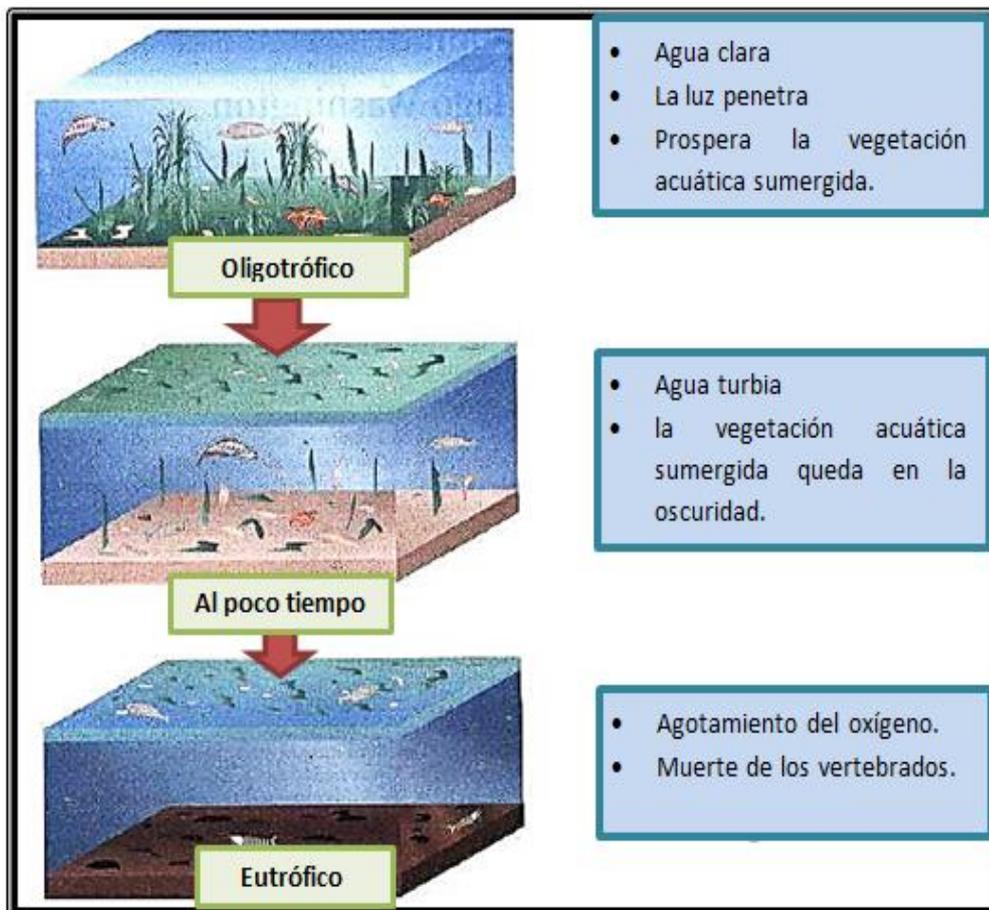


Figura 1. Esquema del proceso de eutrofización.¹⁶

2.2.1.2. Propiedades del lago

a. Estratificación: las capas de los lagos

El agua de los lagos tiende a formar capas o estratos dependiendo de la temperatura y la profundidad a que se encuentre. Generalmente el agua de la superficie se encuentra a una temperatura mayor que el agua del fondo. Se puede decir que hay tres capas, la superficial, una intermedia y la del fondo. Cuando el clima cambia y entra el invierno el agua que está en la superficie se enfría y se hunde, haciendo que el agua caliente que estaba en el fondo salga a la superficie. Al mezclarse el agua ocurre una inversión térmica.¹⁷

b. Oxígeno.

La presencia de oxígeno en el agua del lago, determina donde se pueden encontrar los peces y el plancton. Cuando el oxígeno está presente en todas las profundidades los seres vivos se encuentran distribuidos en todo el lago. Durante el verano, cuando los estratos están más marcados se encuentran poco o nada de oxígeno en la capa del fondo, y los seres vivos deben subir para poder sobrevivir. Cuando ocurre la inversión térmica el recambio de agua hace que se vuelva a oxigenar el agua del fondo. Cuando los niveles de oxígeno son muy bajos. Los peces y los otros organismos acuáticos, morirán.¹⁷

Cada lago tiene su demanda bioquímica de oxígeno que, sin quererlo, puede causar que los peces se vuelvan vulnerables a enfermedades y se mueran, la demanda bioquímica de oxígeno cambia como consecuencia de: contaminación; sobreabundancia de alga, que limita el paso de la luz a través del agua; desechos orgánicos de algas, plantas y peces muertos; Crecimiento de bacterias anaeróbicas que liberan gases tóxicos.

c. Nutrientes. ¹⁷⁻²⁰

Los compuestos nutritivos esenciales para el crecimiento de algas y otros microorganismos vivos, son el nitrógeno y el fósforo. El aporte artificial de estos nutrientes en los lagos es debido a la actividad

agrícola, urbana e industrial. El aumento del nitrógeno total es debido a la incorporación de las descargas de proteínas animales y vegetales, el aumento de las descargas de fósforo es debido al rápido crecimiento demográfico (desechos, pérdida de los bosques y pavimentación); la industrialización (procesos alimenticios y preparación de ácido fosfórico) y la intensificación de la agricultura.

Las plantas y las algas requieren de fósforo y nitrógeno para su crecimiento. La concentración de éstas sustancias en el agua y los sedimentos, regulan la cantidad total de plantas y algas que pueden crecer. En la mayoría de los lagos, el fósforo es escaso y cuando se encuentra en abundancia provoca un crecimiento acelerado de las algas. Este exceso de fósforo proviene de otras fuentes. Bajo ciertas condiciones, especialmente cuando hay poco oxígeno en el agua del fondo, se libera fósforo de los sedimentos al agua superior. Como resultado las algas abundan, reduciendo la claridad del agua y la penetración de la luz.

d. **Algas.**^{19,20}

Las algas son organismos microscópicos parecidos a las bacterias, son autótrofas y contienen clorofila. Cuando son muy numerosas le dan un color, olor y sabor desagradable al agua. Las algas microscópicas se encuentran diluidas en toda el agua donde hay luz y se dominan en su conjunto plancton y no suelen ser visibles, a menos que estén en abundantes cantidades, en cuyo caso le dan al agua un color verdoso. Son una fuente de alimento y energía para los peces y otros organismos que habitan en el lago. Sin embargo, inhiben el crecimiento de otras plantas, vuelven turbia el agua, tapan la luz del sol y contribuyen a la falta de oxígeno y muerte de los peces, provocando problemas en el sabor y olor del agua y los peces.¹⁷ Las algas verde – azules son la causa primaria del desagradable sabor y olor del agua. Esto se puede reducir disminuyendo los nutrientes que producen el sobre - crecimiento de algas, para esto se utiliza el sulfato de aluminio y la aireación que produce un recambio en las capas del agua y lleva las algas verde - azules al fondo del lago, donde ya no reciben luz y

mueren. El exceso de algas produce grandes masas de residuos desagradables de color verde que flotan en la superficie y producen mal olor. La frecuente aparición de brotes de algas indica que los niveles de nutrientes especialmente de fósforo, están muy altos.

e. **Sedimentación.**²¹

El aire y el agua mueven la tierra de la cuenca hacia el lago. La tierra se va al fondo, sedimentándose, y se reduce la profundidad como parte del llenado natural del lago. Sin embargo, la sedimentación es acelerada grandemente por las actividades humanas que dejan la tierra expuesta sin vegetación por periodos prolongados. La tierra se torna vulnerable a la erosión cuando quedan pendientes deforestadas como resultado del desarrollo urbanístico y las actividades agrícolas cerca del lago o de los ríos de la cuenca. La sedimentación está íntimamente asociada con la eutrofización.

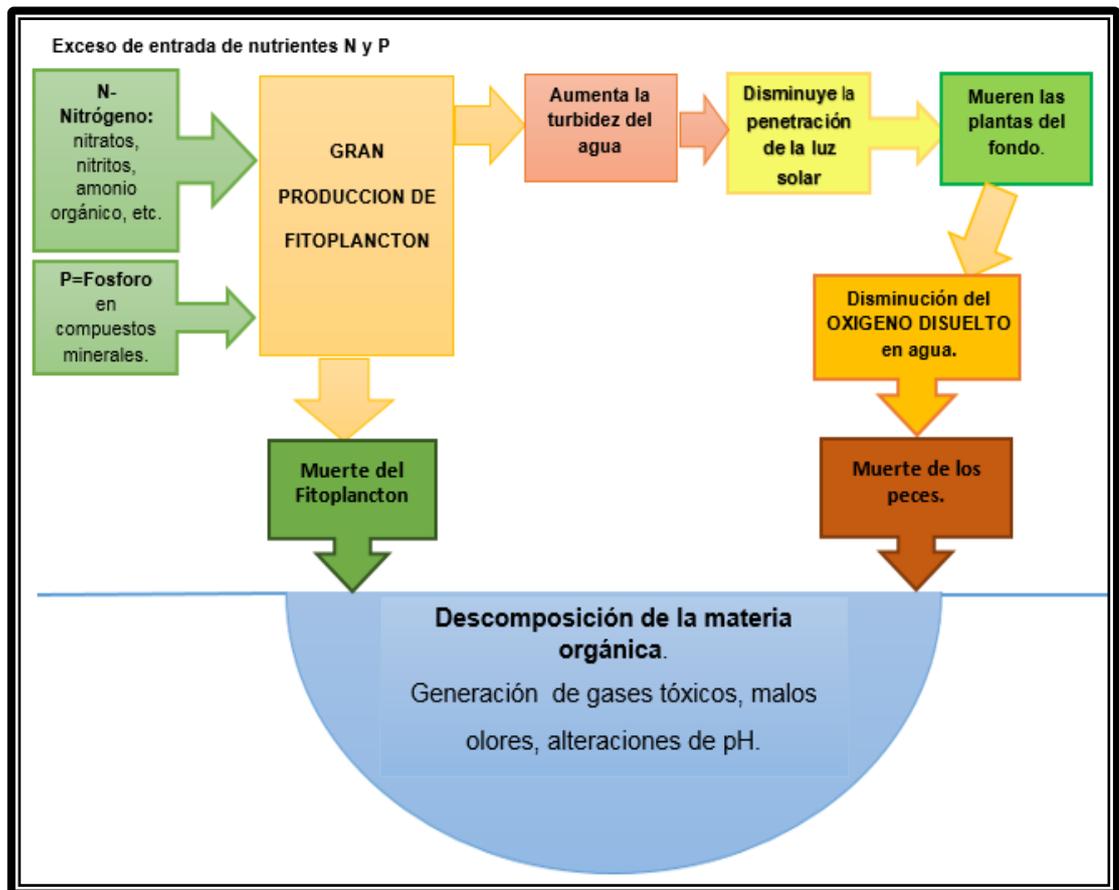


Figura 2. Esquema de eutrofización de un lago.¹⁶

2.2.2. Lago Titicaca ^{22,23}

Es una cuenca lacustre del Altiplano, se encuentra inmerso en una cuenca vertiente compartida entre las repúblicas del Perú y de Bolivia. Al norte la cuenca vertiente está limitada por la Cordillera Vilcanota culminando a 5480 m, nudo de unión de las Cordilleras Occidental y Oriental que delimitan el Altiplano.

A una altitud promedio de 3810 m.s.n.m. se posiciona como el lago navegable más alto del mundo. Ocupa un área total de 8,562 Km² (el lado peruano tiene un área de 4772 Km² y el lado boliviano con 3,790 Km²), mide 204 Km de largo por 65 km de ancho y una profundidad 283 m cerca de la isla de Soto, se estima que contiene un volumen de 883 millones de m³ de agua. Se pueden identificar tres zonas marcadas, el Lago Menor 2112 Km²; el Lago Mayor o Chucuito con 6450 Km² y dentro de este espacio la Bahía de Puno con 564 Km².

2.2.2.1. Bahía de Puno ^{22, 23}

Está comprendida en un estrecho, formado por las penínsulas de Capachica, Chucuito y la microcuenca de Puno, esta área tiene 25 km de largo por 20 Km de ancho, haciendo un área de 50,000 Has. Formando un ecosistema peculiar morfológico y biogenético. La Bahía de Puno tiene una extensión de 589 Km², con un volumen aproximado de agua de 5 millones de m³, se comunica con el Lago Grande por un estrecho de 6,5 Km, entre las penínsulas de Chucuito y Capachica. Tiene una profundidad promedio de 10 m, con una máxima de 30 m. En el Ecosistema Insular se distinguen tres sub unidades islas Esteves, Espinar y del Diablo. Estos están en proceso de cambio a montes isla, por la colmatación y retroceso lacustre. Constituyen relictos de bloques fallados levantados sometidos a la fuerte erosión. Son unidades morfológicas rocosas, firmes, con aptitudes paisajísticas y turísticas.

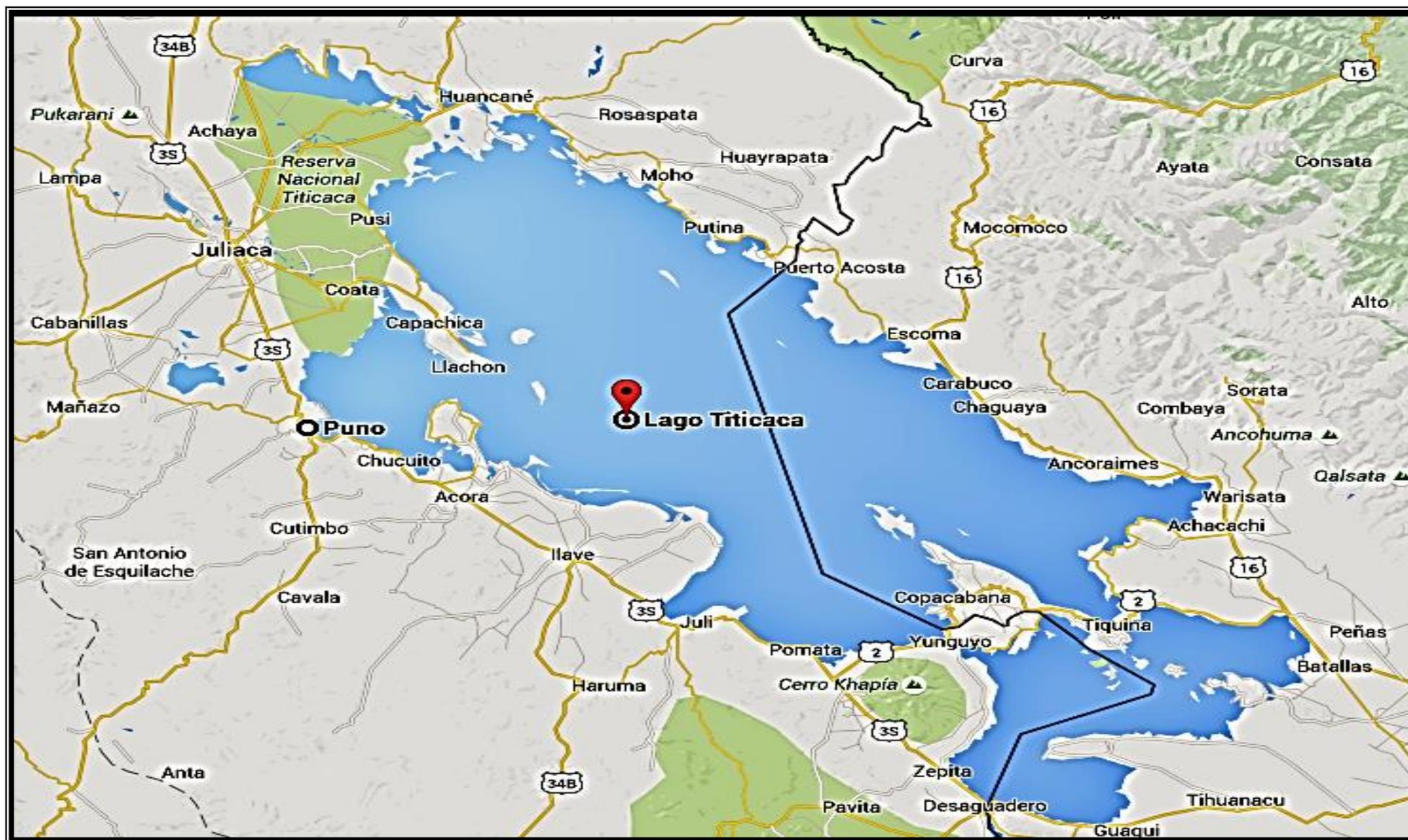


Figura 3. Mapa Lago Titicaca.²³

2.2.2.2. Bahía Interior de Puno ^{22 - 24}

La Bahía interior de Puno es una pequeña sección de la Bahía de Puno, se ubica frente a la ciudad de Puno, con una superficie aproximada de 16 Km², es un espejo de agua entre los promontorios de Chulluni y Chimu, aunque el estrecho entre estos promontorios es de casi 4 km de ancho, la mayor parte se encuentra bloqueada por extensos totorales, dejando solamente abierto un angosto canal de más o menos 300 metros de ancho cerca de Chimu, que comunica con la bahía exterior de Puno.

Es en esta área se produce un intenso proceso de eutroficación, ocasionado principalmente por las aguas residuales que se descargan desde la ciudad de Puno. Las acciones de monitoreo de calidad de agua que realizan diversas instituciones se desarrollan en diferentes puntos dentro de esta área. En la bahía interior la profundidad máxima encontrada es de 8 m y la profundidad promedio es de aproximadamente 2,4 m, el área de superficie menor a 2 m de profundidad corresponde al 50% del área total de la Bahía Interior de Puno.

Al Este de la Bahía interior, desarrollan extensos totorales que restringen el flujo de agua entre el interior y el exterior de esta bahía, de tal manera que se facilita la acumulación de contaminantes y sedimentos, que provienen de la ciudad principalmente. El extremo sureste de la bahía, en las cercanías de Chimu, queda abierto solo un canal de 300 m de ancho aproximadamente; este canal tiene una profundidad variable entre 6 y 7m. Asimismo, existe otro canal de navegación que conduce hacia las islas flotantes de Los Uros, en la Reserva nacional del Titicaca, asentados en parte del total localizado en el noreste de la Bahía en las proximidades de la Isla Esteves.



Figura 3. Mapa Bahía Interior de Puno.²³

2.2.3. Contaminación ambiental

Se define como la presencia de sustancias, energía u organismos extraños en un ambiente determinado en cantidades, tiempo y condiciones tales, que causen desequilibrio ecológico.¹⁹ Como ejemplo de contaminación podemos mencionar la presencia de diversas sustancias líquidas que se vierten en lagos, ríos y océanos, etc. O los residuos sólidos provenientes de las ciudades que se depositan en diversas áreas donde causan severos daños al suelo y el agua.

2.2.3.1. Contaminación de las aguas.^{25, 26}

La contaminación del agua es la adición de materia extraña que deteriora la calidad del agua. Es la presencia de elementos, sustancias o energías en concentración o niveles no deseados. La calidad es la propiedad del agua – de sus usos actuales y/o potenciales, que le permite seguir siendo útil, da de beber al hombre y a los animales, sustenta toda la vida marina, sirve para irrigar la tierra, y toda recreación. La contaminación de las aguas es la que se realiza a través de los residuos industriales y los desagües de las ciudades que son arrojados a los ríos, lagos y mares, también los detergentes empleados en las distintas labores domésticas e industriales, por contener sustancias químicas, causan la extinción de seres vivos en el agua.

2.2.3.1.1. Tipos de contaminación.²⁷

a. Por su origen:

✓ Contaminación natural

Esta es la contaminación debida a fenómenos naturales, como la erosión y las erupciones volcánicas y está relacionada con la composición de suelos, aguas y los componentes de algunos alimentos. Esta clase de contaminación no es tan grave como la antropogénica.

✓ **Contaminación antropogénica**

Es la generada por la actividad del hombre y es más grave por su naturaleza y la gran variedad de contaminantes generados. Dichas actividades son las industriales, mineras, agropecuarios, artesanales y domésticas.

b. Por el tipo de contaminante:

✓ **Contaminación biológica**

Esta contaminación se presenta cuando un microorganismo (virus, hongo o bacterias) se encuentra en un ambiente que no le corresponde y causa daños a los demás organismos que lo habitan. Con frecuencia, este tipo de contaminación es provocado a las deficiencias de los servicios de saneamiento como drenajes y alcantarillados, abastecimiento de agua potable, sistemas de tratamiento de aguas negras, o debida a malos hábitos higiénicos. Sin embargo, la contaminación biológica es relativamente de fácil prevención y control, ya que si se llevan a cabo las medidas de recolección oportuna y adecuada de la basura, su confinamiento en lugares acondicionados para tal fin; campañas de educación para la salud, se podrán prevenir muchas de las enfermedades debidas a esta fuente.

✓ **Contaminación física**

Esta contaminación es la provocada por agentes físicos como las radiaciones ionizantes, energía nuclear. Ruido, presiones extremas, calor y vibraciones. Se presenta tanto en ambientes cerrados como los laborales y como en abiertos, y éstos últimos provocan daños a la población en general. Una característica de este tipo de contaminación es que en ocasiones sus efectos pueden presentarse a largo plazo, como es el caso del ruido, que después de que una persona está expuesta a este agente de manera permanente y prolongada, presentará problemas en su sistema auditivo como sordera. También provoca muerte de flora y fauna, cáncer y mutaciones entre otros.

✓ **Contaminación química**

La contaminación química es la provocada por diferentes sustancias de uso industrial y doméstico, que se encuentran dispersas en el ambiente. Puede considerarse a este tipo como el más grave de los tres, pues a dichas sustancias las podemos encontrar en los tres estados de la materia (líquido, sólido y gaseoso) y por lo tanto pueden depositarse en el agua, suelo y aire, y por esta razón pueden entrar más fácilmente en los organismos vivos. También pueden incorporarse de manera fácil a los ciclos bioquímicos, provocando de esta forma daños severos en el ambiente. La contaminación es el daño o alteración del agua por efecto de productos extraños. Las aguas de lluvias, las aguas de los ríos, lagos y aún de los mares son contaminadas por los gases residuales, por los desechos de los lugares habitados, fábricas y ciudades, etc.

2.2.4. Contaminación de la Bahía Interior Puno.^{28 - 31}

La contaminación en puntos focales del Lago Titicaca, constituye sin duda un problema que está afectando no sólo a la biodiversidad sino al ser humano que habita la zona. El problema de la contaminación hídrica originado por la descarga de efluentes no tratados, es bastante común y grave en nuestros países, debido a que no existe un control adecuado de parte del Estado hacia la industria y la población en general, y los efectos abarcan un espectro amplio de problemas, que van desde la pérdida de recursos hidrobiológicos, hasta daños a la salud.

Las problemáticas ambientales y en especial las que se refieren a la polución hídrica, están relacionadas con varias causales internas y externas. La carencia de una gestión integral de residuos y la práctica de la ganadería intensiva están poniendo en riesgo al ser humano, al ecosistema y a la biodiversidad en general. La costumbre de que el ganado permanezca en la orillas del Lago Titicaca para que se alimente de la totora y otra vegetación acuática aumenta los niveles de contaminación en el agua, creándose un ciclo cerrado de contaminación.

En la bahía de Puno se verificó un proceso descontrolado de contaminación que con lleva al deterioro ambiental del ecosistema de la ciudad de Puno, generando daños a la salud, a la diversidad en plantas y animales así como a las funciones ambientales. La eutrofización ha causado cambios negativos sobre el comportamiento de la flora acuática y por consiguiente ha afectado la fauna lacustre, más del 98% del fondo de la bahía interior de Puno es casi anóxica con niveles de oxígeno disuelto bajos, que determina la extinción de los organismos bentónicos, lo cual ha generado una interrupción de los procesos metabólicos del ecosistema.

La mayor parte del Lago Titicaca puede clasificarse como eutrófica y habitualmente deficiente en déficit de nitrógeno, excepto durante el período de mezcla. Varios factores biogeoquímicos pueden favorecer la limitación por nitrógeno en el lago Titicaca. El elevado índice de erosión de las rocas sedimentarias ricas en fósforo de la cuenca vertiente puede causar una carga en fósforo relativamente elevada, se sugiere que la fijación de nitrógeno puede ser baja en los medios terrestres que rodean el lago Titicaca, y que ésta puede contribuir a la relativa pobreza en nitratos de los ríos que llegan al lago. Los aportes de NO_3^- , NH_4^+ de origen antrópico son relativamente bajos en relación con los de otras regiones más pobladas e industrializadas del mundo, donde las lluvias ácidas y las descargas de aguas residuales pueden elevar la concentración de nitrógeno. Se observan problemas de eutrofización en algunas zonas muy focalizadas como son las bahías de Puno. ^{31, 32}

En la figura 5 se muestra la base 5, el área de investigación o zona de influencia para mejorar la calidad de agua en la Bahía interior Puno.



Figura 5. Instalación de los aireadores de la Bahía Interior de Puno.³³

2.2.5. Intervención de la Autoridad Lago Titicaca para descontaminación de la Bahía Interior de Puno.³³

La Autoridad Autónoma Binacional del Lago Titicaca, ente normativo y mediante Memorándum del 26 de octubre del 2006 encargo al Autoridad Lago Titicaca (ALT) hace la intervención de descontaminación de la Bahía Interior de Puno, Bahía de Cohana Bolivia, cuenca del río Ramis y cuenca del río Suches. En ese escenario la primera acción de la Autoridad Lago Titicaca (ALT) es la cosecha de la lenteja de agua (*Lemna gibba*), en un volumen de 42 000 m³ entre los años: 2008, 2009 y 2010.

2.2.5.1. Instalaciones de los aireadores.³³

Posterior a ello se hace la instalación de 4 sistemas de aireadores en la bahía interior de Puno, con el fin de mejorar la calidad del agua, de los 4 sistemas de aireación uno fue trasladado a la laguna de estabilización de Espinar y tres se encontraron operativos: los sistemas de aireación (01) y (02) que está en la base (5) en el frontis UNA-PUNO y el sistema de aireación (03) que está en la bases (7) en el lado adyacente del muelle del Lago Titicaca (entrada Turística).

Los tres sistemas de aireación son similares tienen el mismo diseño de instalación, cuenta con un compresor marca DRESSER ROOTS que es accionado por un motor eléctrico de 25 HP mediante un sistema de transmisión de fajas en V, su operación y funcionamiento de cada equipo es de forma automática desde cada caseta, se vino operando alternadamente en tiempo de una hora, para cada equipo en un lapso de siete horas diarias, a la salida del soplador centrifugo se acopló una tubería de 2 pulgadas de diámetro como línea de tubería principal de 250 m de longitud y 30 líneas de tuberías secundarias (manguera de 5/8 de pulgada) de material polietileno de alta y baja densidad acoplado a la tubería principal distribuido equitativamente en ambos lados de 15 líneas de 15m y 30 m de extensión conectados alternadamente cada uno a un difusor al igual que al lado derecho, teniendo un total de 30 difusores para cada sistema de aireación en un área efectiva de 150 m de largo y un ancho de 66,45m. Los tres sistemas de aireación no contaban con aparatos de medición que hace dificultoso saber la entrada real de flujo de aire producido por cada soplador así como el control de presión, velocidad y pérdidas producidas en la conducción y transferencia de aire, así como la medición del consumo de energía.



Figura 6. Instalación de motores y soplador (base 5). ³³

2.2.6. El proceso de transferencia de oxígeno ³³

Se puede explicar mediante la teoría de las dos películas, una de gas y otra de líquido, unidas por una interface gas - líquido. Estas dos películas son estacionarias, están rodeadas por el gas y por el líquido, ambos en régimen turbulento. El proceso se produce en dos etapas:

- **Etapla I.** Saturación de la interface gas-liquido, mediante el paso del gas (O₂) por la película de gas. La resistencia al paso del gas es muy pequeña
- **Etapla II.** Paso de las moléculas del gas (O₂) de la interface, las cuales atraviesan la película de líquido, hasta el seno del líquido. Es el paso controlador ya que en la película de líquido se tiene la mayor resistencia a la difusión del oxígeno.

La velocidad de transferencia de más (oxígeno) está dada por la siguiente ecuación (Fick):

$$\frac{\partial M_{O_2}}{\partial t} = -D_{O_2} A \frac{\partial C_{O_2}}{\partial x} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dónde:

- **M_{O2}** = Kg O₂
- **t** = Tiempo (h)
- **C_{O2}** = Concentración de oxígeno disuelto (Kg/m³)
- **D_{O2}** = Coeficiente de difusión del oxígeno (m²/h)
- **A** = Área superficial de contacto entre el gas y el líquido (m²)
- **X** = Posición en la película de líquido (m)

Como se observa, la velocidad transferencia de masa depende del pendiente de concentración, el cual depende a su vez de la posición en la película de líquido.

La ecuación (2.1) se puede simplificar suponiendo que la variación de la concentración en la película sea lineal; entonces, el gradiente de concentraciones se puede simplificar y llegar a la ecuación (2.2).

$$\frac{\partial Mo_2}{\partial x} = \frac{Clo_2 - Cs}{x_f} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dónde:

- **Clo₂** = Concentración de oxígeno en el líquido (mg/L).
- **Cs** = Concentración de saturación en la interface (mg/L).
- **Xf** = Espesor de la película de líquido (m).

Sustituyendo el valor de la ecuación (2.2) en la ecuación (2.1) y dividiendo el volumen del líquido, se obtiene la ecuación (2.3)

$$\frac{1}{V} \frac{dMo_2}{dt} = \frac{Do_2}{x_f} \frac{A}{V} (Clo_2 - Cs) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dónde:

$$\frac{1}{V} \frac{dMo_2}{dt} = \frac{dCo_2}{dt}$$

$$\frac{Do_2}{x_f} = kl = \text{coeficiente de transferencia} \left(\frac{m}{h} \right)$$

$$\frac{A}{V} = a = \frac{\text{area total de contacto}}{\text{volumen del liquido}} \left(\frac{m^2}{m^3} \right)$$

Siendo así, la ecuación (2.3) se transforma en la ecuación (2.4), que también se define como capacidad de oxigenación (CO):

$$CO = \frac{dCo_2}{dt} = KLa(Cs - Clo_2) = \frac{kg}{m^2h} \dots \dots \dots (2.4)$$

Analizando la última ecuación (2.4) podemos ver la mayor velocidad de transferencia de oxígeno se alcanzara cuando la concentración en el líquido Clo₂, sea cero. Por otro lado, la velocidad de transferencia será cero cuando: Cs = Clo₂ “Lo que significa que el líquido está saturado”.

También es importante observar que la velocidad de transferencia es proporcional al coeficiente de transferencia (Kla). Por lo tanto, al disminuir el espesor de la película (X_f), se incrementa el Kla y, consecuentemente, la velocidad de transferencia; esto se logra aumentando la turbulencia en el líquido. Así mismo, al aumentar el área de contacto entre el líquido y el gas, se incrementara la relación A/V , es decir aumentarían también el Kla y la velocidad de transferencia de O_2 , lo cual se puede alcanzar o bien reduciendo el tamaño de la burbuja de gas en el caso de los difusores o bien el tamaño del glóbulo de líquido, en el caso de los aireadores de superficie. La eficiencia del equipo de aireación puede ser evaluada mediante la medición del Kla .

Respecto al diseño de sistemas de aireación de reactores biológicos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, es necesario tomar en cuenta que los proveedores de equipo realizan las pruebas para evaluar la eficiencia de transferencia de oxígeno ($kgO_2/HP\ m^3$) en condiciones estándar, es decir a $20^\circ C$, la atmosfera con el agua limpia. Sin embargo, los equipos de aireación no se instalarán necesariamente en lugares donde prevalezcan las condiciones estándar de temperatura y presión, ni mucho menos se utilizarán para airear aguas limpias.

Por tal motivo se requiere conocer diferentes parámetros que servirían para corregir el comportamiento de los equipos a las condiciones reales de operación.

2.3 Oxígeno disuelto. ³⁴

El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de contaminación del agua. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica que el agua es de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. El oxígeno disuelto, proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua, parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Otros factores como la salinidad, la altitud (debido a que cambia la presión) también afectan los niveles de oxígeno disuelto.

En los lagos el nivel de oxígeno disuelto varía fundamentalmente con la profundidad, mientras en los ríos y arroyos los cambios suelen estar más a la dimensión horizontal. El oxígeno disuelto depende de la temperatura. El agua más fría puede contener más oxígeno que el agua más caliente. El oxígeno disuelto se puede expresar en miligramos por litro (mg/L) o en porcentaje de saturación (%).

2.3.1. Importancia del Oxígeno disuelto. ^{34, 35}

En el cuerpo de agua se produce y a la vez se consume oxígeno. La producción de oxígeno está relacionada con la fotosíntesis, mientras el consumo dependerá de la respiración, descomposición de sustancias orgánicas y otras reacciones químicas. También puede intercambiarse oxígeno con la atmósfera por difusión o mezcla turbulenta. La concentración total de oxígeno disuelto dependerá del balance entre todos estos fenómenos. Los niveles bajos de oxígeno disuelto pueden encontrarse en áreas donde el material orgánico está en descomposición. Las bacterias requieren oxígeno para descomponer desechos orgánicos y, por lo tanto, disminuyen el oxígeno del agua. Si se consume más oxígeno que el que se produce, puede alcanzar niveles por debajo de lo necesario para la vida de muchos organismos. Los peces son sensibles a la hipoxia.

Tabla 1. Rangos de concentración de oxígeno disueltos. ³⁵

(OD) mg/L	CONDICIÓN	CONSECUENCIA
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0 – 5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5 – 8	Aceptable	OD adecuada para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.
8 – 12	Bueno	
> 12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética.

Cuando existe abundante cantidad de materia orgánica, el crecimiento bacteriano es favorecido enormemente y, como consecuencia de ello, los niveles de oxígeno disuelto dentro de la masa de agua se reducen rápidamente a cero. Tanto en el metabolismo bacteriano como las consecuencias de un medio fuertemente reductor, son los responsables de la acidificación progresiva del medio.³⁶

Por otro lado, durante la anoxia prolongada, los lagos tropicales pierden una porción substancial de su dotación de nitrógeno por desnitrificación y consecuentemente, el nitrógeno es el elemento que más frecuente que limita el crecimiento Fitoplanctónico en los lagos tropicales.³⁷

Las aguas dulces por lo general se estratifican durante el verano y no en otoño ni invierno, si bien en los lagos tropicales la estratificación está presente a lo largo del otoño.

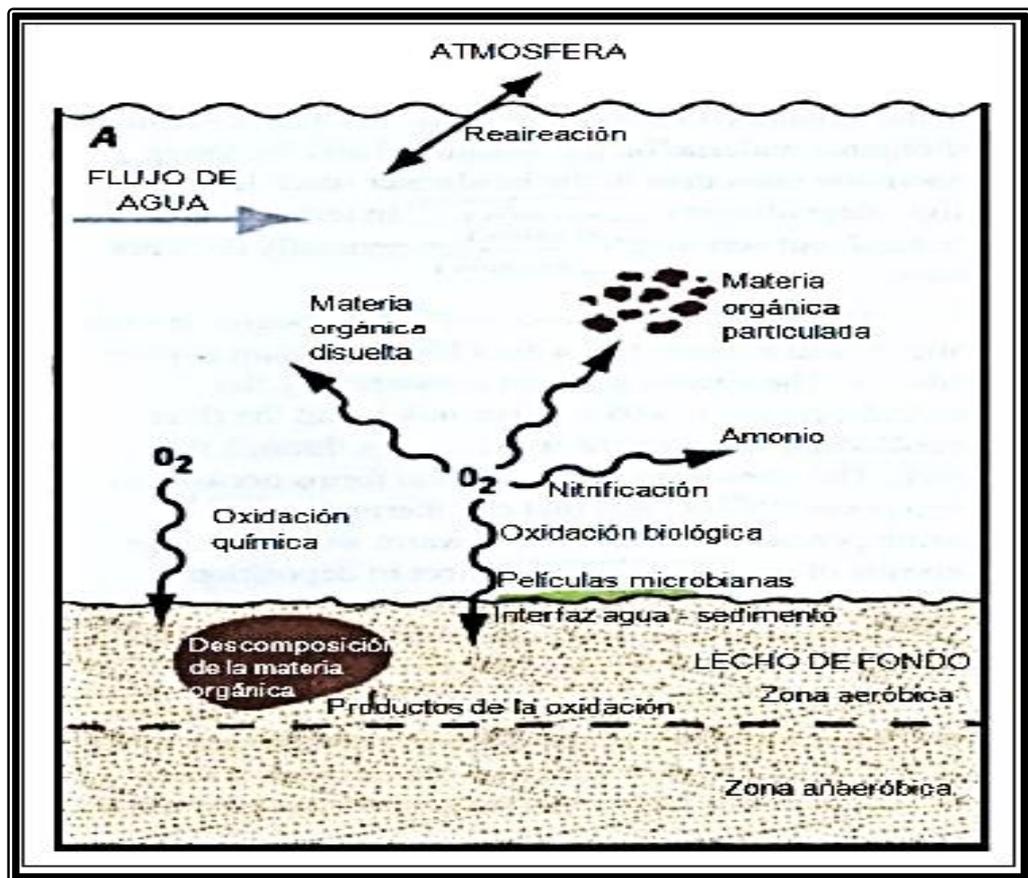


Figura 7. Esquema del ciclo del oxígeno disuelto en un cuerpo de agua.³⁷

2.4 Reacciones en los sedimentos.^{38 - 40}

Los nutrientes son esenciales para el desarrollo de las distintas formas de vida en los ecosistemas. Los principales nutrientes son, carbono, nitrógeno, fósforo y sílice. Además de estos, existen también los denominados micronutrientes como pueden ser: hierro, manganeso, azufre, etc. De forma general, el carbono se asume que suele estar disponible en exceso, ya que dada la alta solubilidad del CO₂ en agua, y su garantizada difusión desde la atmósfera, éste se encuentra normalmente en cantidades suficientes en la columna de agua y también en los sedimentos debido a que forma parte de infinidad de compuestos como la materia orgánica, rocas, minerales, aunque esto no significa que sea biosimilable en todas sus formas.

Los denominados micronutrientes, como el nitrógeno y el fósforo se suele considerar nutrientes limitantes del crecimiento de las comunidades de fitoplancton y que existen en cantidad suficiente en el entorno natural para el desarrollo de la vida, por lo que se van a encontrar estudios referentes a la calidad de agua., suelen centrarse en el nitrógeno y fósforo.

2.4.1 Ciclo del nitrógeno.⁴⁰

El nitrógeno puede encontrarse en una gran variedad de compuestos con diferentes estados de oxidación, que van desde +5 a -3.

Tabla 2. Estados de oxidación del Nitrógeno. ⁴⁰

Estados de oxidación	Compuesto
+5	NO ₃ ⁻ , N ₂ O ₅
+4	NO ₂
+3	HONO, NO ₂ ⁻ , N ₂ O ₃
-1	H ₂ NOH, HN ₃ , NH ₂ OH

Sin embargo, desde el punto de vista de la calidad de las aguas los compuestos nitrogenados más importantes son nitrógeno orgánico, amonio NH₃/NH₄⁺, nitrito NO₂, nitrato NO₃⁻ y nitrógeno gas (N₂), por lo que

son sobre estos compuestos en los que se centrará el desarrollo del ciclo del nitrógeno.

Cabe destacar que, en el caso del nitrógeno, existen compuestos que se encuentran en forma disuelta o particulada, y son las fracciones disueltas las que pueden ser empleadas por los microorganismos. De forma general se asume que únicamente el nitrógeno orgánico se encuentra en forma particulada el cual debe sufrir una hidrólisis previa para poder ser utilizado por los microorganismos. Mientras que el resto de compuestos, es decir, el amonio, nitrato y nitrito se encuentran en forma disuelta o soluble, aunque también existe cierta cantidad de nitrógeno orgánico en forma soluble. Las distintas formas del nitrógeno existentes en el agua pueden agruparse en:

1. Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID), que incluye los nitratos, nitritos y amonio.
2. Nitrógeno Orgánico (NO), el cual puede estar en forma disuelta o particulada.

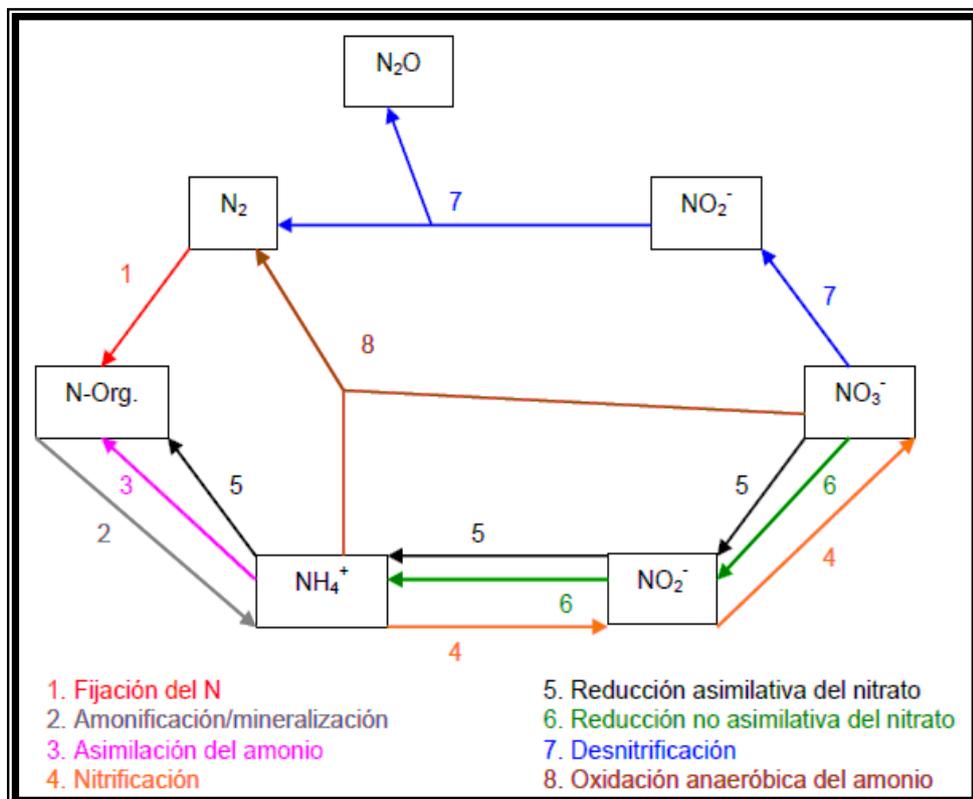
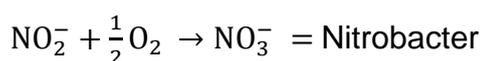
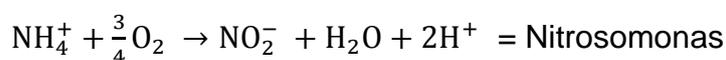


Figura 8. Transformaciones biogeoquímicas del Nitrógeno. ⁴⁰

Un proceso altamente importante es la nitrificación, el cual se trata de la oxidación del amonio produciendo nitratos, previo paso por nitrito. Este proceso se lleva a cabo por bacterias autótrofas quimiosintéticas, especialmente el género *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. Como se ha comentado este proceso se realiza en dos fases, la primera de ella es la oxidación del amonio a nitrito realizada principalmente por el género *Nitrosomonas* y una segunda fase que consiste en la oxidación del nitrito produciéndose nitratos, la cual es llevada a cabo principalmente por el género *Nitrobacter*. El proceso descrito se lleva a cabo a través de las siguientes reacciones:



Tal y como puede observarse en las reacciones, para producirse la nitrificación del amonio es necesaria la presencia de oxígeno, es decir, se trata de bacterias aerobias.

2.4.2. Ciclo del fósforo.⁴⁰

El fósforo es un componente esencial para el desarrollo de los organismos, ya que forma parte del ADN, ARN, fosfolípidos, ATP y c-AMP. El ciclo del fósforo difiere al del nitrógeno en varios aspectos, el primero de ellos es que mientras la principal reserva de nitrógeno es de tipo atmosférico la de fósforo es de tipo sedimentario. El fósforo forma parte de numerosas rocas y minerales que por disgregación y lavado, pueden alcanzar las masas de agua, de hecho el 95% del fósforo particulado se encuentra en forma de apatito $\text{Ca}_5 [\text{PO}_4]_3 (\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$. Otra de las diferencias significativas es relativa a los estados de oxidación.

En los ecosistemas naturales el fósforo aparece casi exclusivamente en forma pentavalente, en estado de oxidación +5, encontrándose como fosfato PO_4^{3-} . Prácticamente todas las formas disueltas y particuladas de

fósforo son combinaciones, acomplejamientos o modificaciones de este ion, por lo que en este caso no tienen lugar cambios en el estado de oxidación y en general el ciclo biogeoquímico del fósforo es similar al del fosfato. El fósforo suele encontrarse en diferentes formas, particulada o disuelta, orgánica e inorgánica. Dentro del fósforo particulado se incluye la mayor parte del fósforo orgánico, fosfatos de hierro y calcio, y el fósforo retenido en arcillas o formando parte de minerales y rocas. Dentro del fósforo disuelto se puede encontrar el fósforo orgánico disuelto y el fósforo inorgánico disuelto. Éste último puede encontrarse bajo distintas formas de disociación del ácido fosfórico según la siguiente reacción.



El fósforo es erosionado de la tierra y transportado a los ecosistemas acuáticos continentales y posteriormente al océano como una mezcla de formas particuladas y disueltas (materia orgánica muerta suspendida, fósforo orgánico particulado, fosfatos, minerales fosforados en suspensión). Además existe un intercambio con el mar abierto de fosfatos, fósforo orgánico particulado y materia orgánica suspendida.

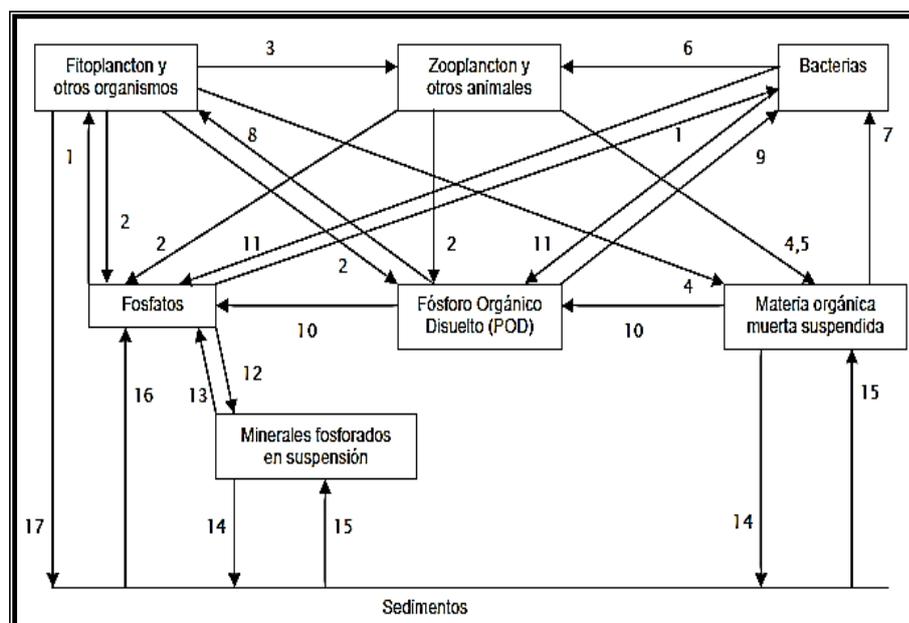


Figura 9. Ciclo del fósforo en ecosistemas acuáticos.⁴⁰

2.5 Monitoreo fisicoquímico del agua

Los monitoreos están diseñados para identificar cambios en los ecosistemas acuáticos a través del tiempo. En un sistema acuático existen fluctuaciones naturales diarias de sus parámetros, por lo que únicamente se pueden identificar influencias externas.

2.5.1 Características fisicoquímicas del agua.

2.5.1.1. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes que caracteriza la calidad de las aguas superficiales sean ríos, lagos o lagunas; su concentración depende principalmente de la altitud, la temperatura del agua y del tipo de cuerpo de agua; su importancia radica en la función que cumple en el mantenimiento de la vida acuática en general.⁴¹ La cantidad de oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de contaminación. Este depende de la temperatura del agua y de la presión atmosférica; la concentración de oxígeno disuelto disminuye a medida que la temperatura del agua aumenta.⁴²

El origen del oxígeno disuelto en el agua es debido a las turbulencias de este medio en la interface aire-agua, y la producción fotosintética. La solubilidad del oxígeno en el agua se debe a varios factores, en particular a la temperatura, a la presión atmosférica y a la salinidad. Cuando la temperatura se eleva, el contenido de oxígeno disminuye en razón de su pequeña solubilidad, pero también a causa del consumo aumentado por los seres vivos y las bacterias que se multiplican. Estas modificaciones pueden ocasionar gusto y olores desagradables. En las canalizaciones metálicas, un contenido inferior a 5 mg/l de oxígeno ocasionaría la corrosión de la misma.⁴³

Si el oxígeno disuelto no se recupera en un ecosistema, se favorecen los procesos anaeróbicos los cuales son responsables de la descomposición de la materia orgánica y la formación de malos olores.⁴⁴

El agua se supersatura con oxígeno debido a que el agua se mueve rápidamente. Esto generalmente dura un periodo corto de tiempo, pero puede ser dañino para los peces y otros organismos acuáticos. Los valores del porcentaje de saturación del OD de 80 – 120% se consideran excelente y los valores menores al 60% o superiores a 25% se consideran malos.⁴⁵ Indica que, todos los animales y la mayor parte de las plantas requieren de oxígeno para su metabolismo, los animales acuáticos usan el oxígeno disuelto presente en el agua en el que viven. Por tanto el oxígeno es el parámetro más importante para los lagos, además del agua misma sus propiedades de solubilidad y distribución son muy importantes para comprender el comportamiento, crecimiento fisiológico y distribución de los organismos acuáticos.⁴⁶

2.5.1.2. Temperatura

La temperatura se mide en grados Centígrados o Celsius (°C) usando un termómetro. La temperatura afecta las propiedades físicas y químicas del agua tienen gran influencia sobre los organismos acuáticos, modificando sus hábitos alimenticios, reproductivos y sus tasas metabólicas. La temperatura es uno de los factores que determinan la cantidad de oxígeno que el agua puede mantener en disolución, como así también afecta la velocidad de reciclado de los nutrientes en un sistema acuático.⁴⁷

- En represas, lagos y estanques, el agua puede formar capas o estratos de diferentes temperaturas. La mayoría de los organismos acuáticos toleran cambios graduales de temperatura, pero los cambios drásticos pueden causarles estrés térmico. Las

temperaturas por arriba de 32°C pueden ser letales para muchos organismos acuáticos.

Tabla 3. Relación entre la temperatura y el oxígeno disuelto en el agua.⁴⁷

Temperatura (°C)	0	5	10	15	20	25	30	35
Oxígeno disuelto (mg/L)	14,6	12,3	11,3	10,1	9,1	8,2	7,5	6,9

2.5.1.3. Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Es la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios, para obtener CO₂ y H₂O. Se determina midiendo el proceso de reducción de oxígeno disuelto en la muestra de agua manteniendo la temperatura a 20 °C en un periodo de 5 días. Esta prueba proporciona una medida de la contaminación orgánica del agua.⁴⁸

2.5.1.4. Demanda Química oxígeno

Es la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. Las sustancias oxidables presentes en la muestra se oxidan en solución fuertemente ácida con un exceso de dicromato de potasio en presencia de sulfato de plata que actúa como agente catalizador.⁴⁸

2.5.1.5. Potencial de Hidrogeniones pH

El potencial de hidrógeno es una medida de la actividad del ion hidrogeno. En las aguas naturales es una medida del equilibrio ácido – base, dado por las diferentes compuestos disueltos, sales y gases. El principal sistema para regular el pH en los sistemas naturales es el compuesto por carbonatos, bicarbonatos y ácido carbónico.⁴⁹

El pH es influenciado por las condiciones climáticas, hidrológicas y por las actividades de organismos acuáticos. Es un parámetro importante de la calidad del agua porque el intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de vida biológica es muy estrecho y crítico.⁵⁰

2.5.1.6. Conductividad eléctrica (c.e)

La conductividad se evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, es una medida indirecta de la cantidad de iones en solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio).⁵¹ La conductividad en los cuerpos de agua dulce se encuentra primariamente determinada por la geología del área a través del cual fluye el agua (cuenca). Indica que, la conductividad es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica y es igual al recíproco de la resistividad de la solución. Dicha capacidad depende de la presencia de iones; de su concentración, movilidad y valencia, y de la temperatura ambiental. Las soluciones de la mayoría de los compuestos inorgánicos (ej. Aniones de cloruro, nitrato, sulfato y fosfato) son relativamente buenos conductores.⁵²

Para medir la conductividad del agua, se mide con un aparato llamado conductímetro, el cual se debe tener en cuenta la temperatura de la muestra ya que la conductividad está estrechamente relacionada con la temperatura. En aguas residuales domésticas, la conductividad puede demostrar el grado de degradación de las características del servicio de abastecimiento del lugar.⁵³

2.5.1.7. Nitrógeno amoniacal

La química del nitrógeno es compleja debido a los varios estados de valencia que puede asumir este elemento y al hecho de que los cambios en la valencia pueden ser afectados por organismos vivos. Las formas de mayor interés son: nitrógeno amoniacal, nitrógeno de

nitritos, nitrógeno de nitratos y nitrógeno orgánico. En el tratamiento biológico de aguas residuales, los datos de nitrógeno amoniacal y orgánico son importantes para determinar si el residuo contiene suficiente nitrógeno para nutrir los organismos.

En programas de control de contaminación de ríos y lagos, es necesario conocer los valores de las formas de nitrógeno en forma de nitratos. El nitrógeno en forma de nitratos, por una parte, es uno de los elementos esenciales para el crecimiento de algas y por otra parte, en forma de nitrógeno orgánico, causa una demanda de oxígeno al ser oxidado por las bacterias nitrificantes, reduciendo los niveles de oxígeno disuelto. En aguas residuales el contenido de nitrógeno total es de 20 – 70mg/l. mientras que en ríos y en aguas sin contaminación fuerte es de 0.1 – 3 mg/L.⁵⁴

2.5.1.8. Nitratos

En los nitratos está presente en anión NO_3^- , el nitrógeno es estado de oxidación +5 se encuentra en el centro de un triángulo formado por los tres oxígenos. Los nitratos constituyen parte de los nutrientes esenciales para muchos organismos autótrofos o fotosintéticos y en este sentido, se presencia en el agua puede ocasionar fenómenos de eutrofización en ríos y lagos. La eutrofización es el crecimiento desmedido de algunas especies vegetales que cubren con un manto vegetal la superficie del agua impidiendo de esta forma su oxigenación natural.⁵⁵

2.5.1.9. Fosfatos

Son nutrientes para las plantas. Tienen aplicaciones industriales diversas y como fertilizantes. Los vestidos de PO_4^{3-} , a las aguas naturales pueden causar eutrofización. De la utilización de los fosfatos y nitratos, presentes en la materia orgánica de la basura de los detergentes hechos a base fosfatos, ocurre el proceso eutrofización, ya que estos arrojados a los ríos y lagos. Durante las épocas cálidas, la sobrecarga a estos productos químicos, que sirven de nutrientes,

generan el crecimiento acelerado de vegetales como algas, cianobacterias, lentejas de agua, los cuales al morir y ser descompuestos por las bacterias aeróbicas provocan el agotamiento del oxígeno disuelto en la capa superficial de agua y causan la muerte de los diferentes tipos de organismos acuáticos que consumen oxígeno, en las aguas de los lagos y ríos.⁵⁶

Lago eutrófico es aquel lago de poca profundidad y poco contenido de oxígeno disuelto, el cual disminuye de 9 mL a 4 mg/L. Esto afecta negativamente a los organismos. Cuando el nivel baja 2 mg/ L, supone que todos los animales han muerto y hay significativa elevación de la DBO.⁵⁶

2.5.1.10. Sólidos totales.

Este es uno de los parámetros más importantes de gran importancia en sus diferentes formas: materia flotante, suspendida, coloidal y disuelta, se clasifican por el tamaño de sus partículas encontradas en el agua: Sólidos totales, sólidos disueltos o filtrables, sólidos sedimentables y sólidos volátiles.⁵⁷

Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o su suministro de varias maneras. Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior potabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional. Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido.⁵⁸

2.5.1.11. Dureza total

La Dureza en el agua es principalmente una medida de la cantidad de calcio y magnesio disuelto en ella. La piedra caliza (CaCO_3 o MgO_3) es la fuente natural de dureza. Los animales y las plantas requieren de calcio y magnesio para la vida. El calcio es un componente importante de huesos, paredes celulares y conchas de muchos organismos acuáticos. En aguas no contaminadas el valor de

la dureza total es por lo general muy similar al valor de la alcalinidad total. La dureza del agua de mar es de 6, 000 mg/L o superior.⁵⁹

2.6. Grupo Coliformes

2.6.1. Coliformes totales

Los coliformes totales son un grupo de microorganismos que comprende varios géneros de la familia enterobacteriaceae. Este grupo de microorganismos se encuentra ampliamente difundido en la naturaleza, agua y suelo, además, habita normal del tracto intestinal del hombre y animales de sangre caliente. Se caracterizan por ser bacilos Gram negativos, aerobios o anaerobios facultativos, son oxidasa negativa, no formadores de esporas y son capaces de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas a 35°C +/- 2°C en un tiempo máximo de 48 horas. El grupo de bacterias coliformes es el principal del grado de contaminación de aguas.⁵⁹

2.6.2. Coliformes termotolerantes

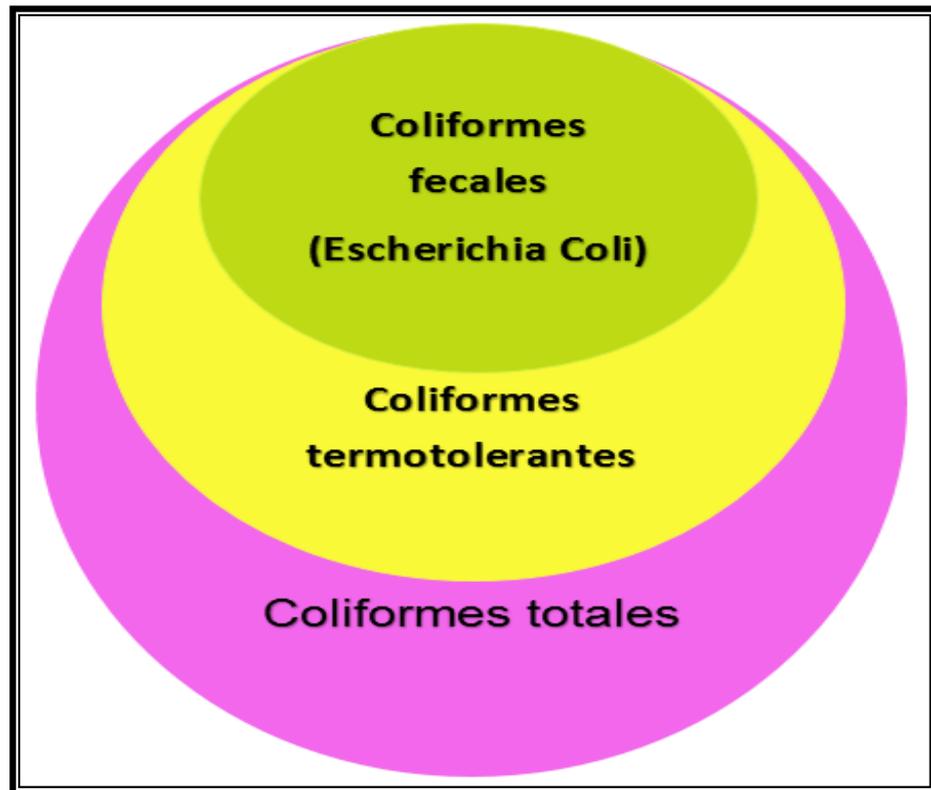
Son un subgrupo de los coliformes totales, capaces de fermentar la lactosa a 44,5C° con producción de ácido y gas, están formados principalmente por *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter* *Escherichia coli*, se caracterizan por soportar temperaturas hasta 45°C; comprende un grupo muy reducido de microorganismos, entre los que se destaca *Escherichia coli*, siendo el más reconocido representante de contaminación de calidad de agua.⁶⁰

2.6.2.1. *Escherichia Coli*

Escherichia Coli se caracteriza por ser una bacteria Gram negativa, capaz de fermentar la lactosa a una temperatura entre 44°C y 44,5°C, tiene un origen específicamente fecal, pues está siempre presente en grandes cantidades en las heces de los seres vivos de sangre caliente. Desde hace tiempo se reconoce que los organismos del grupo coliformes son un buen indicador microbiano de la calidad del agua. La presencia de *Escherichia Coli* en muestras de agua,

indica la existencia de fallas en la eficacia de tratamiento de aguas, en la integridad del sistema de tratamiento, y por tanto evidencia de contaminación de diferentes orígenes: suelo, superficies de agua dulce y tracto digestivo.⁶⁰

Figura 10. Relación entre coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia Coli*.⁶¹



2.7. Análisis microbiológico de aguas

En el análisis microbiológico de las aguas no se buscan directamente las bacterias o virus patógenos, sino algunas bacterias indicadoras de contaminación como heces fecales existen diversas técnicas de análisis microbiológico que permiten detectar la presencia de ciertos microorganismos indicadores de contaminación tales como el método de filtración por membrana, la técnica del NMP o fermentación en tubos múltiples, los cuales son utilizados como control de calidad de agua donde se requiere procesar un gran número de muestras.⁶²

2.7.1. Índice de Calidad de Agua

El Índice de Calidad del Agua indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura. Así, el agua altamente contaminada tendrá un ICA = 0 %, en tanto que el agua en excelentes condiciones el valor del ICA = 100%. El Índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creó y diseñó un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: Índice de Calidad del Agua (ICA).⁶³

Se desarrolló, por primera vez en 1970 es una metodología para crear un índice de calidad de agua debido a la necesidad de implantar un método uniforme que pudiera medir la calidad del agua. Esta proporciona los efectos desfavorables de la contaminación al hombre y a la vida acuática. Además, como es característica de los índices, que permite evaluar los cambios de la calidad del agua. índice puede ser aplicado a cualquier cuerpo de agua donde los objetivos hayan sido probados. Esto incluye ríos, arroyos, áreas marinas como bahías y acuíferos. Las categorías del índice de manera general son aplicables a varios usos.^{63,64}

Tabla 4. Estructura del cálculo Índice Calidad de Agua.⁶³

INDICE DE BRITISH COLUMBIA	ECUACION	OBSERVACIONES
CCME- WQI (Canadá) DWQI (EU)	$ICA = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right)$ <p>El divisor 1,732 normaliza el resultado entre un rango entre 0 y 100, donde 0 representa la peor calidad de agua y 100 representa la mejor calidad de agua.</p>	<p>El índice incorpora tres elementos :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alcance F_1 porcentaje de parámetros que exceden la norma. • Frecuencia F_2 porcentaje de prueba individual de cada parámetro que exceden la norma. • Amplitud F_3 magnitud en la excede la norma cada parámetro que no cumple.

III. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Tipo de investigación

Diseño longitudinal, observacional, explicativo.

3.2. Muestra

El agua de Bahía Interior de Puno.

3.2.1 Ubicación del punto de muestreo

Las coordenadas del punto de muestreo se determinaron con equipo de estación total.

Tabla 5. Puntos de muestreo en el sistema de aireación.

ESTACION	PUNTOS DE MUESTREO EN EL SISTEMA DE AIREACION BASE 5			
	Nº DE MUESTRAS	LONGITUD °W	LONGITUD °S	FECHA
P.1	M.1 (Superficial)	8249463,242	391443,175	Julio – Noviembre 2014
	M.2 (Profundidad 3m.)	8249463,242	391443,175	Julio – Noviembre 2014
P.2	M.3 (Superficial)	8249506,029	391430,796	Julio – Noviembre 2014
	M.4 (Profundidad 3m.)	8249506,029	391430,796	Julio – Noviembre 2014
P.3	M.5 (Superficial)	8249506,148	391401,236	Julio – Noviembre 2014
	M.6 (Profundidad 3m.)	8249506,148	391401,236	Julio – Noviembre 2014
P.4	M.7 (Superficial)	8249486,164	391520,068	Julio – Noviembre 2014
	M.8 (Profundidad 3m.)	8249486,164	391520,068	Julio – Noviembre 2014

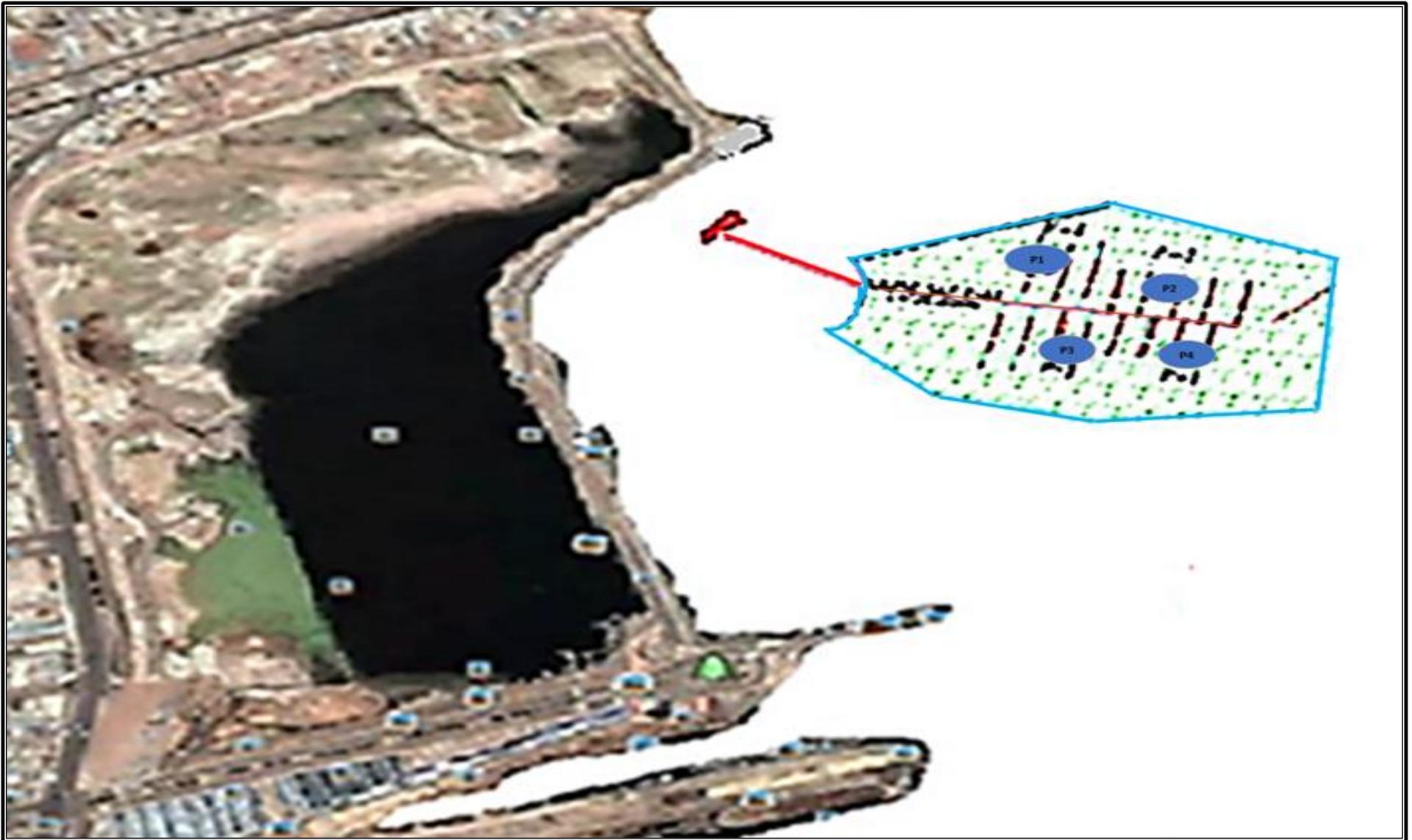


Figura 11. Área de influencia de los puntos de muestreo. ³³

3.2.2. Toma de muestras

Se procedió a realizar la recolección de muestras en la zona de instalación de los aireadores con la finalidad de determinar el comportamiento de oxígeno disuelto y sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la Bahía Interior de Puno, se consideró la toma de Muestra Simple teniendo en consideración el “Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales”.

La toma de muestras se realizó de acuerdo al APHA (1992), que consistió en el uso de frasco de vidrio esterilizados de boca ancha debidamente limpias y rotuladas.

La recolección de muestras se efectuó a bordo de una embarcación artesanal, tomando como referencia 4 puntos de muestreo dentro de la zona aireación, se recolecto en dos dimensiones en la superficie y a 3 m de profundidad del agua, haciendo un total de 8 muestras bajo la codificación M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆, M₇ y M₈, como se detalla en tabla 7.

3.2.2.1. Conservación y transporte de las muestras de agua

Las muestras recolectadas fueron conservadas a temperatura de 4 C°, en cajas térmicas (Coolers) y luego se llevó al laboratorio de la facultad Ingeniería Química para la respectivo análisis en la Universidad Nacional Altiplano de Puno (UNA).

3.2.3. Frecuencia de muestreo

La frecuencia que se realizó fue cada mes, luego se llevó al laboratorio de la Universidad Altiplano de Puno para el análisis de las muestras.

Tabla 6. Puntos de muestreo en el sistema de aireación.

Parámetros	Frecuencia/ mes
Fisicoquímicos	Durante 5 meses (1vez cada por mes) /Julio a Noviembre del 2014
Microbiológicos	Durante 5 meses (1vez cada por mes) /Julio a Noviembre del 2014

3.3. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se desarrolló entre los meses de Julio 2014 a Noviembre 2014, en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química y Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno.

3.4 Materiales, equipos, reactivos

3.4.1 Materiales para la determinación de los ensayos

Vasos para precipitación, Buretas, Probeta, Matraz Erlenmeyer, Papel filtro, Pipetas Volumétricas, Capsula de Porcelana, Estufa, Desecador, Pinzas Para crisol, Pipetas, Caja Petri “Senna; Modelo: 3-60915”, Frascos de muestra.

3.4.2 Equipos

Balanza analítica “Sartorius M-Class”, Potenciómetro para pH Marca Alpha, Equipo HACH DR/850. Portable Colorimeter, Equipo HACH DRB-200, Equipo HACH Sension 5, Espectrofotómetro 21D.

3.4.3 Reactivos

Ácido sulfúrico (0,01N).Merck Chemical ®, Ácido sulfúrico Merck Chemical ®, Indicador Ferroina, Fenolftaleína, Solución de hidróxido de sodio hepta hidratado. Merck Chemical ®, Cloruro de Bario. Merck Chemical ®, Cianuro de Amonio Merck Chemical ®, Sulfato Ferroso Amoniaco Merck Chemical ®, Sulfato de Plata, Solución de Tampón (pH 10%).

3.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección y procesamiento de datos

3.5.1. Técnica de investigación

La técnica de investigación que se utilizó es el método de diseño factorial 2^2 con replicas en todos los puntos del diseño, con 4 ensayos experimentales P1, P2, P3, P4.

3.5.2 Diseño de investigación

Se utilizó el protocolo de muestreo mediante la toma de muestra in situ para determinar el oxígeno disuelto (OD), y los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

3.5.3 Instrumentos de investigación

El instrumento de investigación que se empleó fue el manual de guía de ensayo, para el método factorial 2^2 con replicas en todos los puntos del diseño, para las variables independientes (X_1 y X_2) y mediante mediciones indirectas y cálculos analíticos para la variable dependiente (Y). Para la calidad del agua se realizará mediante un plan de muestreo que permita el aseguramiento de la calidad, según las normas establecidas por los estándares de calidad ambiental (ECA) para lagos.

Tabla 7. Matriz de diseño K= 2

N°	X ₀	X ₁	X ₂	X ₁ X ₂	(Y)
1	+1	-1	-1	+1	26
2	+1	+1	-1	-1	29
3	+1	-1	+1	+1	26
4	+1	+1	+1	-1	30

Dónde:

X₀= Variable ficticia.

X₁= Tiempo (intervalo de tiempo de muestreo).

X₂= Profundidad (a la que se muestrea).

Y = Total de respuestas.

3.5.4 Procesamiento de datos

Se procedió a tomar muestra dentro del área de influencia de acuerdo al protocolo de muestreo para enviar a los laboratorios de Química y Biología. Se tabuló los datos obtenidos con el programa de Microsoft Excel 2010 para obtener los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Se utilizó el programa STATGRAPHICS Centurión XV para desarrollar la matriz de 2² planteada en términos de variable codificadas para obtener una respuesta óptima de oxígeno disuelto.

3.5.5 Análisis de datos

Se determinó las concentraciones de oxígeno disuelto, fisicoquímico y microbiológico respectivamente se hizo comparaciones con los resultados de otros trabajos de investigación nacional, mencionados en la tabla 23, Lo cual sirvió para observar las diferencias existentes en concentraciones, cuando hay aireación artificial y sin aireación suministrada.

3.6. Metodología

El presente trabajo de investigación pertenece a un tipo de estudio observacional, explicativo y longitudinal, siguiendo los parámetros establecidos del monitoreo de la Autoridad Nacional del Agua, según decreto ley N° 29338. Para los parámetros fisicoquímicos se utilizó el método analítico (APHA 1998), se utilizó la técnica de electrodos de membrana *in situ* con el uso de un equipo Oxímetro HANNA y para los parámetros microbiológicos (coliformes), se utilizó la técnica de tubos de múltiple (NMP).

3.6.1. Parámetros fisicoquímicos.⁶⁵

3.6.1.1. Determinación de la temperatura

Se realizó la medición *in situ* de la temperatura en los puntos de P₁, P₂, P₃, P₄ con el Termómetro digital (0 - 100°C), Pizeta con agua destilada.

3.6.1.2. Determinación del oxígeno disuelto

Para determinar este parámetro se utilizó el método de electrodo de membrana, in situ con el uso de un Oxímetro HANNA modelo HI 9146, (0 a 20 mg/L). Equipo Sugerido por las normas.

- Oxímetro HANNA HI – 9146, (con electrodo de membrana impermeable)
- Sonda O.D. Con 4m.de cable con recubrimiento impermeable.
- Solución en electrolito de (H170415)

a. Calibración del Oxímetro HANNA (HI-9146)

- Se verifica que no haya burbujas en el electrodo. Si hay burbujas. Es necesario cambiar la solución y la membrana tiene que estar llena con electrolito. Dicha solución ya viene preparada solución en electrolito de (H1170415).
- Se enciende el medidor. Aparece “COND” en el display para informarle de que la sonda está en modo auto acondicionamiento (polarización automática).
 - Una vez que aparezca “COND” La sonda esta polarizada y el instrumento puede ser calibrado.
 - Para una calibración exacta, se recomienda esperar un tiempo adicional de 5 0 10 minutos para garantizar el óptimo acondicionamiento de la sonda.
 - Retire la tapa protector de la membrana.
 - Pulse (CAL) aparece “__” en el display más grande junto con “CAL” Para indicar el instrumento está en modo calibración.
 - En seguida el instrumento se estabilizara automáticamente el valor real de saturación. Tras aprox. 1 minuto mostrara “100%” en el display y un pequeño “SAMPLE”, para indicar que la calibración se ha completado.

- Pulse FACTOR y asegúrese de que F1 Y F2 están fijados a los valores de altitud y salinidad.

Notas:

- El instrumento debe ser calibrado cada vez que se cambie la sonda la membrana o el electrolito.
- Para interrumpir la calibración durante la calibración pulse CAL.
- El display puede ser cambiado de lecturas en % de saturación a mg/L sin re calibración, con solo pulsar RANGE.

Tabla 8. Medición del Oxígeno Disuelto. ⁶⁵

MEDICIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO	
Lecturas en mg/L.	El valor de medición se lee directamente en mg O ₂ /L. Los resultados se reportan en mg/l.
Lectura de saturación % O₂	La lectura % de oxígeno nos da el índice de saturación de oxígeno con respecto al 100% al nivel del mar
Lectura de temperatura	La parte inferior del display mostrara la temperatura medida en grados Celsius.

3.6.1.3. Determinación del Potencial hidrogeno (pH)

La medición del pH se realizó in situ con el equipo Potenciómetro con electrodo de Calomel, Pipeta con agua destilada, Vaso de precipitado de 500 ml, Soluciones Buffer de pH 4,0 y 7,0.

Procedimiento:

1. Se deposita en un vaso de precipitado una muestra representativa, previamente homogeneizada.
2. Se introduce el electrodo en el vaso de precipitado, se toma la lectura cuando el valor permanece constante. Es importante enjuagar el electrodo cada vez que se tome una lectura.

Nota: Antes de usar el potenciómetro, deberá ser calibrado con las soluciones buffer de pH 4,0 y 7,0.

3.6.1.4. Determinación de la conductividad eléctrica (c.e.)

La medición de la conductividad eléctrica se realizó in situ con el equipo conductímetro, probeta de 250 mL.

Procedimiento:

1. Se deposita agua con muestra en un probeta de 250 mL, se introduce el electrodo agitando con movimientos verticales para expulsar cualquier burbuja de aire presente dentro del mismo. El electrodo deberá estar cubierto casi por completo de agua.
2. Cada lectura que se realice con el electrodo deberá ser enjuagado con agua destilada. Asegurándose de lavar el interior del electrodo, evitando de esta manera que las lecturas no sean representativas de la muestra en turno.

Nota: Los aparatos de lectura (potenciómetro o conductímetro) actuales no necesitan de un precalentamiento, basta con un ajuste semanal de la calibración.

3.6.1.5. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno

La medición de la demanda química de oxígeno se realizó con el método de reflujo abierto.

Procedimiento:

1. Añadir 2 mL, de muestra a la solución digestora $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$ a cada muestra.
2. Cultivar en equipo digestor, durante 2 horas toda las muestras.
3. Después de la digestión esperar hasta que enfríe.
4. Seguidamente titular con solución (Sulfato Ferroso Amoniacal) 0,025M.
5. Indicador: Ferroina. Titular hasta que vire, este pasara de un color amarillo – verdoso a uno azul y luego a uno café- rojizo. Cuando se presenta el color azul se está muy cerca de la terminación. El valor de la DQO se calculara con la siguiente formula.

$$DQO. \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{V_B - V_M * 8000 \text{ meqO}_2}{V_M mL}$$

Dónde:

- V_B = mL valorante gastado para el blanco.
- V_M = mL valorante gastados para la muestra.
- M = Molaridad de sol.FAS

3.6.1.6. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La determinación Demanda Bioquímica de Oxígeno por incubación a cinco días en laboratorio, se realiza por el método 5210B, APHA-AWWA-WPCF. 2005.⁶⁵

3.6.1.7. Determinación del fósforo total

La medición de fósforo total se realizó mediante el método espectrofotometría, 9 fiolas de 100 mL, Pizetas con agua destilada.

Procedimiento:

1. Añadir 25 mL, de muestra a una fiola de 100 mL, más 10mL de solución de (Meta vanadato de amonio), 0,00M
2. Seguidamente aforar con agua destilada a 100 mL, esperar 15 minutos para que la reacción se complete.
3. Después del aforo sacar una alícuota en la celda del equipo espectrofotometría. Para luego ser lectorado en absorbancia.

El valor de fosforo total, se calculara con la siguiente formula:

$$P \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{Abs.* F * 100}{V_M ml}$$

Dónde:

- Abs. = Absorbancia
- F = Factor de calibración.
- V_M = volumen de muestra.

3.6.2. Determinación de parámetros microbiológicos.⁶⁶

La determinación microbiológica se realizó a través de la técnica de tubos múltiples (NMP), estos comprenden a los coliformes totales y coliformes termotolerantes.

3.6.2.1. Determinación del NMP de Coliformes Totales

La determinación de microorganismos coliformes totales por el método del Número más Probable (NMP), se fundamenta en la capacidad de este grupo microbiano de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a 35°C +/- 1°C durante 48 h, utilizando un medio de cultivo que contenga sales biliares. Esta determinación consta de dos fases, la fase presuntiva y la fase confirmativa.

a) Método I: Prueba presuntiva:

En la **fase presuntiva** el medio de cultivo que se utiliza es el caldo Lauril sulfato de sodio el cual permite la recuperación de los microorganismos dañados que se encuentren presentes en la muestra y que sean capaces de utilizar a la lactosa como fuente de carbono.

Procedimiento:

- Preparar diluciones 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}
- Pipetear 1 ml de cada dilución a cada uno de 3 tubos de Caldo LST.
- Incubar tubos a 35 - 37°C por 24 - 48 horas.
- Después de 24 horas anotar tubos con producción de gas. Reincubar los tubos negativos por 24 horas más.
- Después de 48 horas anotar tubos con producción de gas.
- Seleccionar dilución menor con 3 tubos positivos y las siguientes diluciones altas y referir a la tabla del NMP.
- Confirmar presencia de coliformes transfiriendo una asada de los tubos con LST positivos al gas a tubos con caldo BRILLA o agar EMB. Incubar tubos y placas a 24 - 48 horas a 35 - 37°C. Ver formación de gas o colonias típicas. Anotar el número de tubos confirmados de cada dilución como bacterias coliformes positivo.

b) Método II Prueba confirmativa:

Durante la fase confirmativa se emplea como medio de cultivo caldo lactosado bilis verde brillante (**CLVBB**) el cual es selectivo y solo permite el desarrollo de aquellos microorganismos capaces de tolerar tanto las sales biliares como el verde brillante.

Procedimiento:

- Preparar diluciones 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}
- Pipetear 1 ml de cada dilución a cada uno de 3 tubos de Caldo BRILA.
- Incubar tubos a 35-37°C por 24 - 48 horas.
- Después de 24 horas anotar tubos con producción de gas. Reincubar los tubos negativos por 24 horas más.
- Después de 48 horas anotar tubos con producción de gas.
- Seleccionar dilución menor con 3 tubos positivos y las siguientes diluciones altas y referir a la tabla del NMP.
- Confirmar presencia de coliformes transfiriendo una asada de los tubos con BRILA, positivos al gas a placas con agar VRBA o Endo. Incubar 24 - 48 horas a 35 - 37°C. Ver o colonias típicas. Anotar el número de tubos confirmados de cada dilución como bacterias coliformes positivo.

3.6.2.2. Determinación del NMP de Coliformes Termotolerantes (*E. Coli*).⁶⁶

La determinación del número más probable de microorganismos coliformes fecales se realiza a partir de los tubos positivos de la prueba presuntiva y se fundamenta en la capacidad de las bacterias para fermentar la lactosa y producir gas cuando son incubados a una temperatura de $44,5 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 a 48 h. Finalmente, la búsqueda de *Escherichia Coli* se realiza a partir de los tubos positivos de caldo EC.

a) Procedimiento: Método I

- Seleccionar tubos con LST gas positivo según método I.
- Inocular una asada en tubos con caldo EC e incubar a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$.
- Leer producción de gas a 24 - 48 horas (presencia de coliformes fecales)

b) Procedimiento: Método II

- Seleccionar tubos con BRILA gas positivo según método II.
- Inocular una asada en tubos con caldo BRILA y caldo triptonado e incubar a $44 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Leer producción de gas a 24 - 48 horas y liberación de indol a las 24 horas (presencia de coliformes fecales).

3.7. Cálculo de concentración de saturación oxígeno disuelto y coeficiente de transferencia de masa (ley de Fick).³³

3.7.1. Cálculo de la presión atmosférica para la ciudad de Puno (p)

Según la fórmula de Halley, se tiene:

$$P = 760e^{(-E/8005)} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dónde:

P= Presión atmosférica local a nivel del Lago Titicaca

E= Altura sobre el nivel mar (3810 m.s.n.m.)

Reemplazando valores se tiene:

$$P = 760e^{(-3810/8005)}$$

$$P = 760e^{-(0.4759525297)}$$

$$P = 472,18 \text{ mmHg} = 0,62 \text{ atm}$$

- La presión local en Puno es de **472,18 mmHg**, teniendo una pérdida respecto a nivel del mar de 40 % lo que implica que la presencia de oxígeno a utilizarse en el sistema de aireación será menor.

3.7.2. Cálculos de la presión parcial de oxígeno (ppo₂)

Teniendo en cuenta que la abundancia del oxígeno dentro de la atmósfera es 21% de O₂, por tanto

$$P_{PO_2} = 0,21 \times P$$

$$P_{PO_2} = 0,21 \times 472,18 \text{ mmHg}$$

$$P_{PO_2} = 99,14 \text{ mmHg}$$

P_{PO₂} = 0,1304 atm (Presión parcial de oxígeno en Puno) que es la que en realidad varía a diferentes alturas o pisos ecológicos.

✓ De tablas se tiene: H_{cte} Henry ≈ 4.01x10⁻⁴ atm / fracción molar.⁵⁵

3.7.3 Cálculos de la fracción molar de equilibrio del gas disuelto (oxígeno disuelto) en el agua.

Calculando según la ecuación de Henry:

$$P = H \cdot X \dots\dots\dots(3.2)$$

Dónde:

P = Presión parcial de oxígeno

X = Fracción mol oxígeno

H = Constante de la ley de Henry

Despejando y reemplazando valores se obtiene:

$$X = \frac{P}{H}$$

$$X = \frac{0,1304 \text{ atm}}{4,01 \times 10^{-4} \frac{\text{atm}}{\text{fraccion mol}}}$$

$X = 3,25 \times 10^{-6}$, este valor representa la fracción molar de equilibrio del gas disuelto (oxígeno) en el agua.

3.7.4. Cálculo de la concentración de saturación de oxígeno en el agua (Cs) a 20 °C y 0,6212 atm

Los moles de agua por litro, está dado por:

$$\eta_w = \frac{1000\text{g/L}}{18\text{g/mol}} \Rightarrow \eta_w = 55,6 \text{ mol/L}$$

55,6 mol/L, lo que representa la cantidad de moléculas de agua en un litro de agua.

– Se calculan de moles de oxígeno por litro de agua, según la ecuación:

$$\eta_g = \frac{\eta_w X}{1-X} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\eta_g = \frac{55,6 \times 3,25 \times 10^{-6}}{1 - 3,25 \times 10^{-6}} \Rightarrow = \frac{180,7 \times 10^{-6}}{0,9999675}$$

$\eta_g = 1,80 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$, cuyo resultado nos servirá para encontrar la concentración de saturación del oxígeno.

- Cálculo de la concentración de saturación para el O₂.
- Realizando un producto y analizando sus dimensiones encontramos la concentración de saturación de oxígeno.

$$C_s = 1,80 \times 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times \frac{32\text{g}}{\text{mol}}$$

$$C_s = 57,6 \times 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{L}} \times \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}}$$

$C_s = 5,77 \text{ mg O}_2/\text{L}$, este valor representa la cantidad de oxígeno disuelto por litro de agua, lo que evidencia que en un litro de agua de la Bahía Interior de Puno debe contener como máximo **5,77 mg** de oxígeno por litro de agua y no habría espacio para albergar más moléculas de oxígeno disuelto por ser está saturada.

3.7.5 Cálculo del coeficiente global de transferencia de oxígeno

(k_{1a}):

De la ecuación de FICK de transferencia de masa se tiene:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -D_{O_2} \cdot A \frac{\partial c_{O_2}}{\partial X} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\frac{dc}{dt} = \frac{D_{O_2}}{\Delta X} \cdot \frac{A}{V} (C_s - C) \dots\dots\dots (3.4.1)$$

$$\frac{dy}{dx} = K_L a (C_s - C) \dots\dots\dots (3.4.2)$$

Dónde:

- ❖ $V =$ Volumen aproximado de tratamiento (m^3) $\approx 42000 m^3$
- ❖ $D_{O_2} =$ Coeficiente de difusión de oxígeno $\approx 2,06 cm^2/s$
- ❖ $A =$ Área de influencia del aireo (m^2) $\approx 9967,5 m^2$

– De (3.4.2) se tiene:

$$a = \frac{A}{V} = \frac{9967,5m^2}{42000m^3} \longrightarrow a = 0,2373 m$$

$$D_{O_2} = 2,06 \times 10^{-4} m^2 \times \frac{3600}{h} \longrightarrow D_{O_2} = 0,7416 m^2 /h$$

$$K_L = \frac{D_{O_2}}{\Delta X} = \frac{0,7416 \frac{m^2}{h}}{3m} \longrightarrow K_L = 0,2472 \frac{m}{h}$$

$$K_L \times a = 0,2472 \frac{m}{h} \times \frac{0,2373}{m} \longrightarrow K_L a = 0,058684 h^{-1}$$

– Por lo tanto el coeficiente de transferencia será:

$$K_L a = 0,058684 h^{-1} \cong 0,06 h^{-1} = \frac{0,06}{h}$$

3.7.6. Cálculo de tasa de cambio en la concentración de oxígeno (dc/dt)

$$\frac{dc}{dt} = K_L a (C_s - C) \dots \dots \dots (3.5)$$

En condiciones estándar a nivel de Puno $C_s, 18,8 ^\circ C$ y $C = 0 mg/L$.

$$\frac{dc}{dt} = \frac{0,06}{h} (5,77 \frac{mg}{L} - 0) \longrightarrow \frac{dc}{dt} = 0,3562 \frac{mg}{L.h}$$

IV. RESULTADOS

4.1 Interpretación de resultados fisicoquímicos

Los resultados de fisicoquímicos están en función a los puntos estudios, tomando en consideración que se midieron dichas muestras en un periodo en que se encontraba en funcionamiento el sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno. Se consideró 02 dimensiones promedio superficial y promedio profundidad a 3 m.

4.1.1. Oxígeno Disuelto

- En la figura 12 se observa una variación de oxígeno disuelto del agua de la Bahía Interior de Puno, los valores más altos se obtuvieron en la superficie con 11,19 mg/L, mientras en la columna de agua de 3 m. es de 9,43mg/L, estos valores tienden a bajar en 14%. Los valores determinados presentan un promedio estadístico de 8,65 mg/L.
- Los valores obtenidos del oxígeno disuelto están dentro de los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental” (ECA), para Aguas. Categoría 4, cuyo valor indica ≥ 5 mg /L.

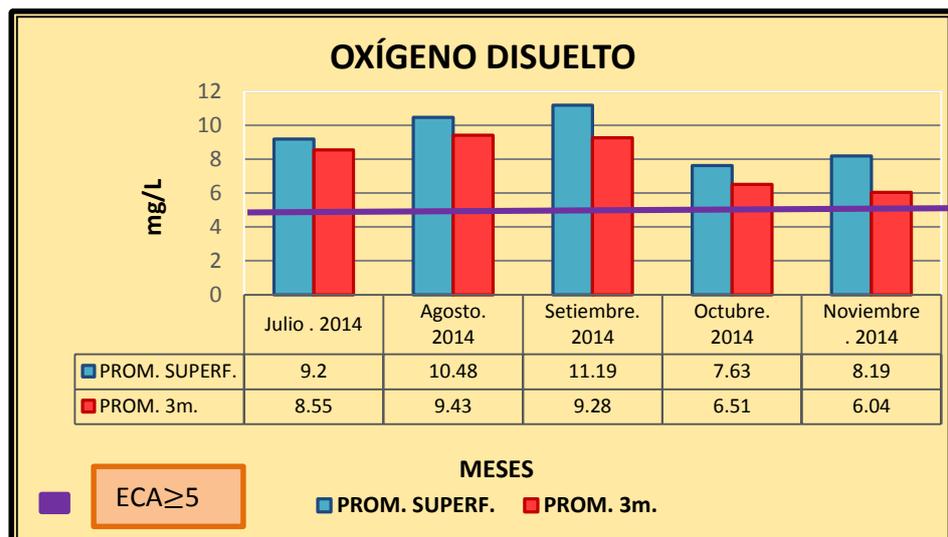


Figura 12. Oxígeno Disuelto a partir del Sistema de Aireación en la Bahía Interior de Puno.

- Una de las consecuencias en la disminución del oxígeno disuelto es el incremento de Temperatura entonces podemos decir que la temperatura es inversamente proporcional al oxígeno disuelto. El Oxígeno Disuelto, disminuye progresivamente a medida que aumenta la profundidad del agua y la luminosidad decrece, la razón de dicha disminución depende de la turbidez del agua, es esencial para la respiración de la mayoría de los organismos vivientes, necesario para la descomposición de la materia orgánica y evita la eutrofización.

4.1.2. Temperatura

- En la figura 13 se observa una variación de temperatura del agua de la Bahía Interior de Puno, los valores más altos se obtuvieron en la superficie con 22°C, mientras en la columna de agua de 3 m. es de 20°C, estos valores tienden a bajar en 7%. Los valores determinados presentan un promedio estadístico de 19,4°C.

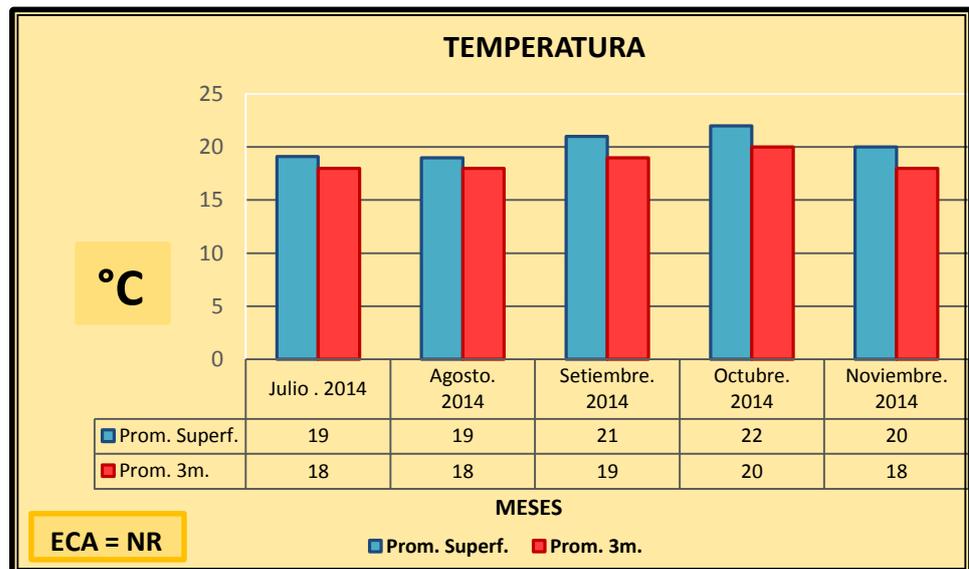


Figura 13. Temperatura del Agua a partir del Sistema de Aireación en Bahía Interior de Puno.

- El incremento de la temperatura disminuye la solubilidad de los gases en el agua, como O₂. La tasa metabólica de los organismos acuáticos también está relacionada con la temperatura en aguas; el consumo por

respiración incrementa el consumo de oxígeno e incrementa la descomposición de la materia orgánica.

4.1.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno

- En la figura 14 se observa una variación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) del agua de la Bahía Interior de Puno,
- Los valores obtenidos en la superficie es de 39,5 mg/L, tienden a bajar, mientras en la columna en la columna de agua a 3 m. suben en 51,75 mg /L estos valores tienden a subir en un porcentaje de 26%. Los valores determinados presentan un promedio estadístico de 41,025 mg/L. Los valores del DBO_5 , están fuera de los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental”, para Aguas. Categoría 4, cuyo valor indica < 5 mg/L.
- Esto es causado por las aguas que la población vierte a la Bahía de manera irresponsable con alto índice de nutrientes (fosfatos y nitratos), que hace que el lago por sí mismo no pueda recuperarse.

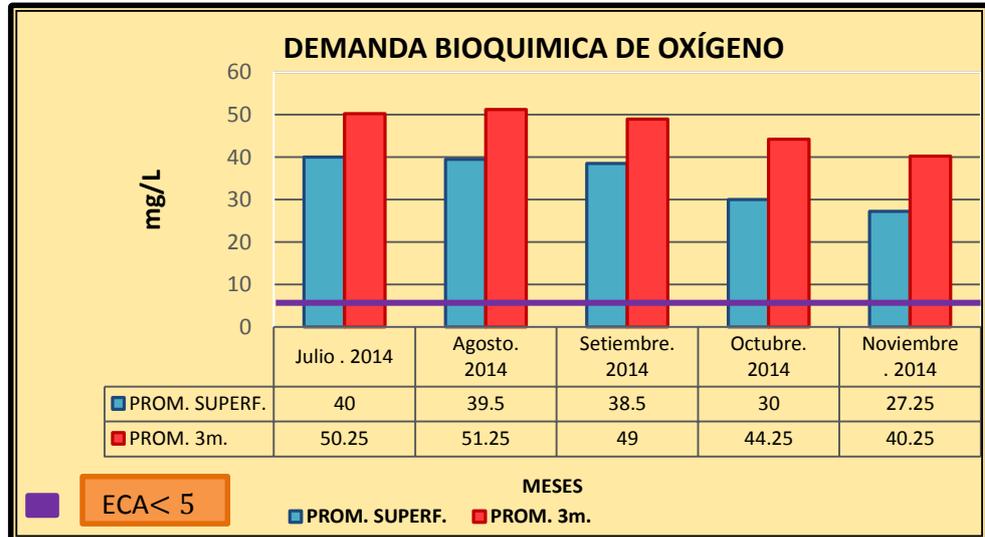


Figura 14. Demanda Bioquímica de Oxígeno a partir el sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.

- En la Bahía Interior de Puno no existen corrientes de agua para la generación del oxígeno disuelto y la que se pueda generar está en

función del movimiento rotacional de la tierra y los vientos generados en la zona.

4.1.4. Potencial de hidrogeno (pH)

- En la figura 15 se observa una variación de potencial de hidrogeno
- Los valores obtenidos en la superficie es de 8,25, tienden a bajar, mientras en la columna en la columna de agua a 3 m. suben en 8,525 estos valores tienden a subir en un porcentaje de 4 %. Los valores determinados presentan un promedio estadístico de 8,37
- Los valores del pH, están dentro de los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental”, para Aguas. Categoría 4, cuyo valor indica 6,5 – 8, 5. Los valores determinados para este estudio, varían de 8,1 hasta 8,525 están considerados como óptimo para la vida acuática.

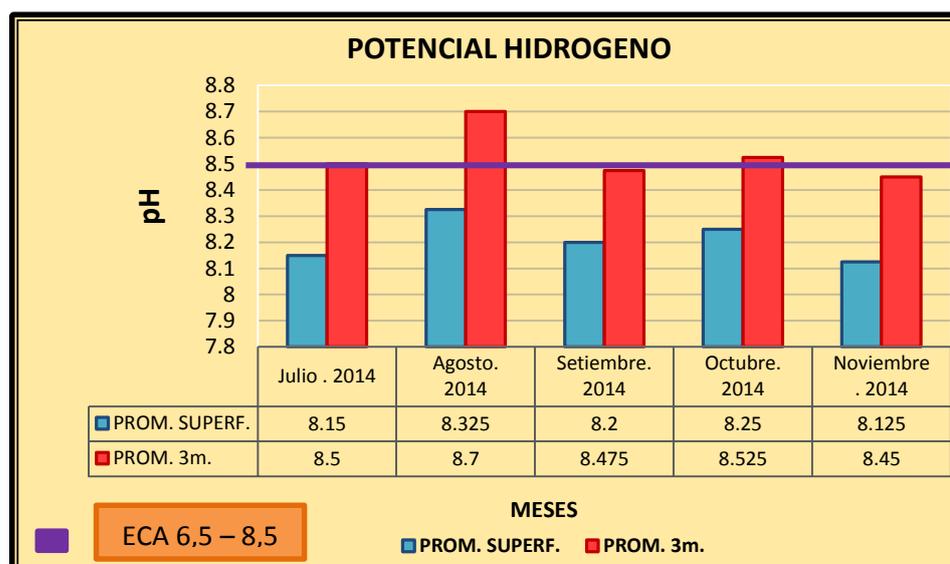


Figura 15. Potencial del Hidrogeno a partir del sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.

4.1.5. Conductividad eléctrica

- En la figura 16 se observa una variación de conductividad eléctrica.
- Los valores obtenidos en la superficie es de 1468,5 $\mu\text{S}/\text{C m}$, tienden a bajar, mientras en la columna en la columna de agua a 3 m. suben en 1483,25 $\mu\text{S}/\text{C m}$ estos valores tienden a subir en un porcentaje

de 1 %. Los valores determinados presentan un promedio estadístico de 1467,575 $\mu\text{S}/\text{C m}$.

- Los valores de la conductividad eléctrica, están fuera de los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental” (ECA), para Aguas. Categoría 4, cuyo valor indica $< 1000 \mu\text{S}/\text{C m}$.⁶⁷

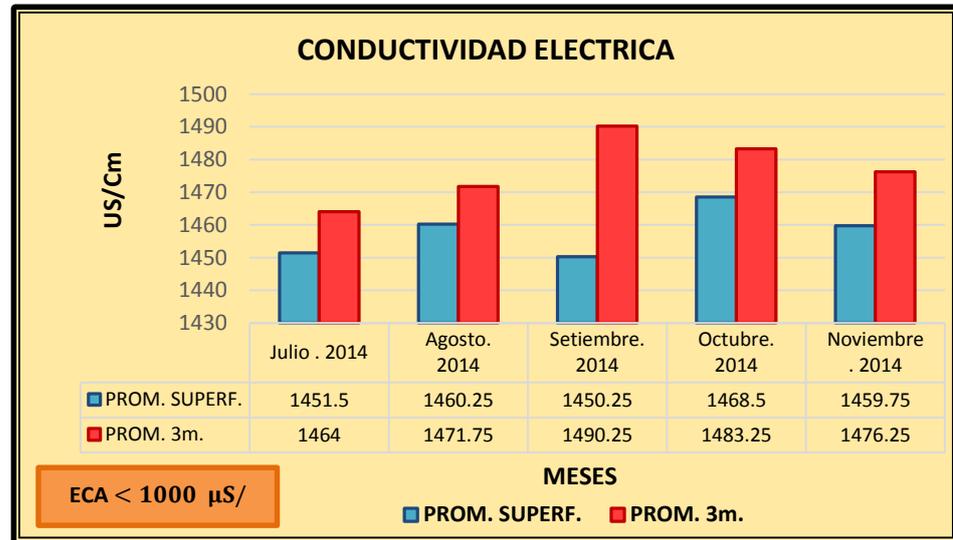


Figura 16. Conductividad eléctrica a partir del sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.

- Durante el periodo de monitoreo se manifiesta un incremento de la concentración de sólidos disueltos y cationes metálicos, esto debido a las precipitaciones pluviales, se evidencia una ligera disminución de contenido de sólidos disueltos, cationes metálicos y algunas sales disueltas, mientras los valores medidos en la profundidad, aumentan progresivamente.

4.1.6. Sólidos Totales Disueltos

- En la figura 17 se observa una variación de sólidos totales disueltos. Los valores obtenidos en la superficie es de 721,5 mg/L, tienden a bajar, mientras en la columna de agua a 3 m. suben en 726 mg/L estos valores tienden a subir en un porcentaje de 0,65 %. Los valores determinados presentan un promedio estadístico de 692.35 mg/L.

- Los valores del sólidos totales disueltos., están fuera de los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental” (ECA), para Aguas. Categoría 4, cuyo valor indica ≤ 25 .

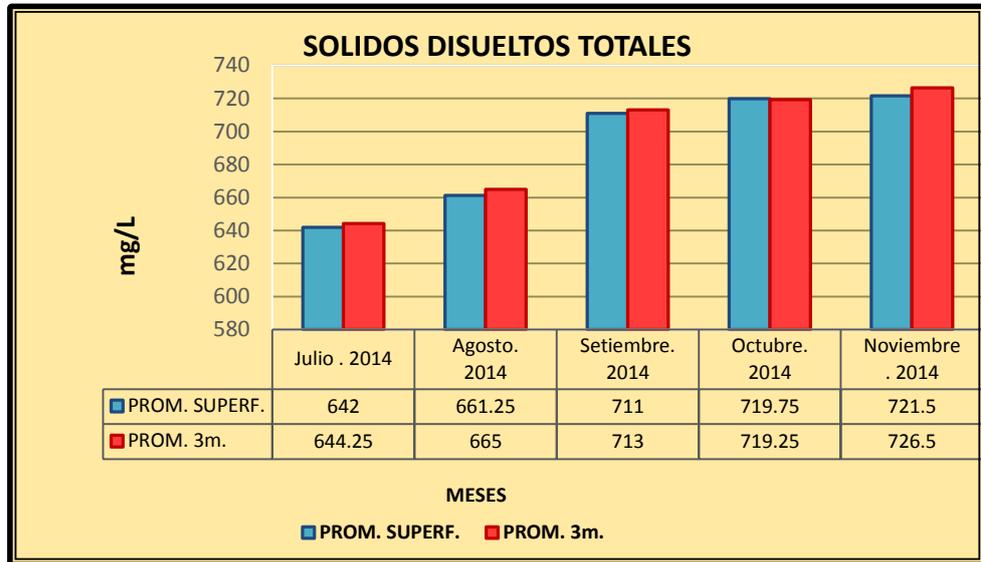


Figura 17. Sólidos disueltos totales a partir del sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno

- Se puede apreciar el incremento de (SDT), a partir del mes de Octubre se debe al inicio de la temporada de lluvia, que las precipitaciones pluviales incrementaron el nivel del agua en la Bahía Interior de Puno, consigo traen sales, materia orgánica, gases.

4.1.7. Nitrógeno amoniacal

- En la figura 18 se observa una variación de nitrógeno amoniacal. Los valores obtenidos en la superficie es de 0,025mg/L, tienden a bajar, mientras en la columna en la columna de agua a 3 m. suben en 0,045mg/L esto valores tienden a subir en un porcentaje de 52 %. Los valores determinados presentan un promedio estadístico de 0,029mg/L.
- Los valores medidos del nitrógeno amoniacal en superficie cumple con los ECA, mientras que a 3 m de profundidad se encuentra fuera de los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental”, para Aguas. Categoría 4, cuyo valor indica $< 0,02\text{mg/L}$.

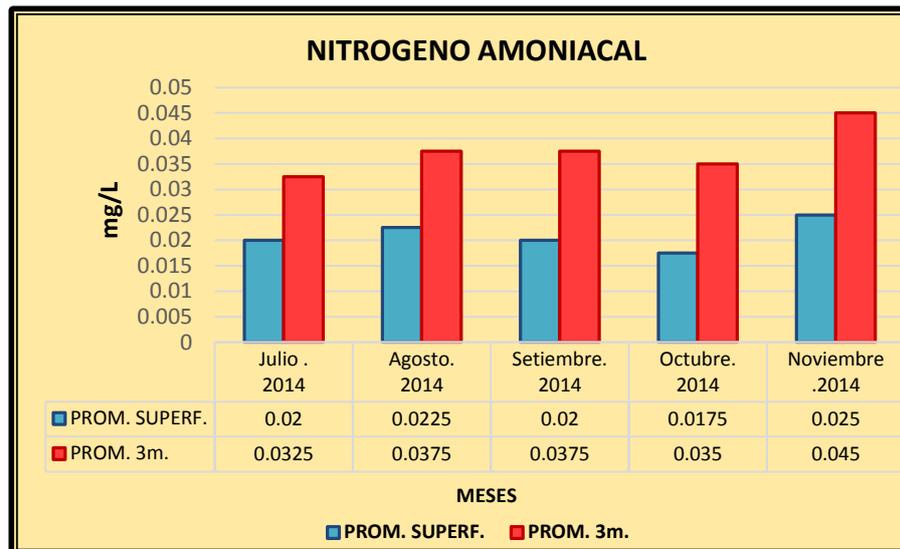


Figura 18. Nitrógeno amoniacal a partir del sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.

- El NH_3-N , es un gas toxico para la vida acuática, pero gracia al proceso de nitrificación esta molécula puede ser descompuesto mediante bacterias nitrificantes aerobias, consiste en la oxidación de Amoniaco bajo condiciones estrictamente aeróbicas, el proceso ocurre en dos etapas; comienza con la oxidación del amoniaco a nitritos, seguido de la oxidación del nitrito a nitratos, se da en cuerpos de agua con un alto contenido de Oxígeno Disuelto, este sustancia es de suma importancia para la mitigación del Nitrógeno Amoniacal, motivo por el cual se sustenta la aireación en el cuerpo del agua

4.1.8. Fósforo total

- En la figura 19 se observa una variación de fósforo total. Los valores obtenidos en la superficie es de 1,39 mg / L, tienden a bajar, mientras en la columna en la columna de agua a 3 m. suben en 1,59 mg/L estos valores tienden a subir en un porcentaje de 11 %. Los valores determinados presentan un promedio estadístico de 1,21625 mg/L.
- Los valores del fósforo total, están fuera de los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental” (ECA), para Aguas. Categoría 4, cuyo valor indica < 0,02 mg/L, debido a la existe gran cantidad materia orgánica sin degradar con mayor concentración de nitrógeno,

ortotofosfatos, polifosfatos, fosfatos orgánicos generalmente estas sustancias están consideradas como nutrientes para el crecimiento de algas.

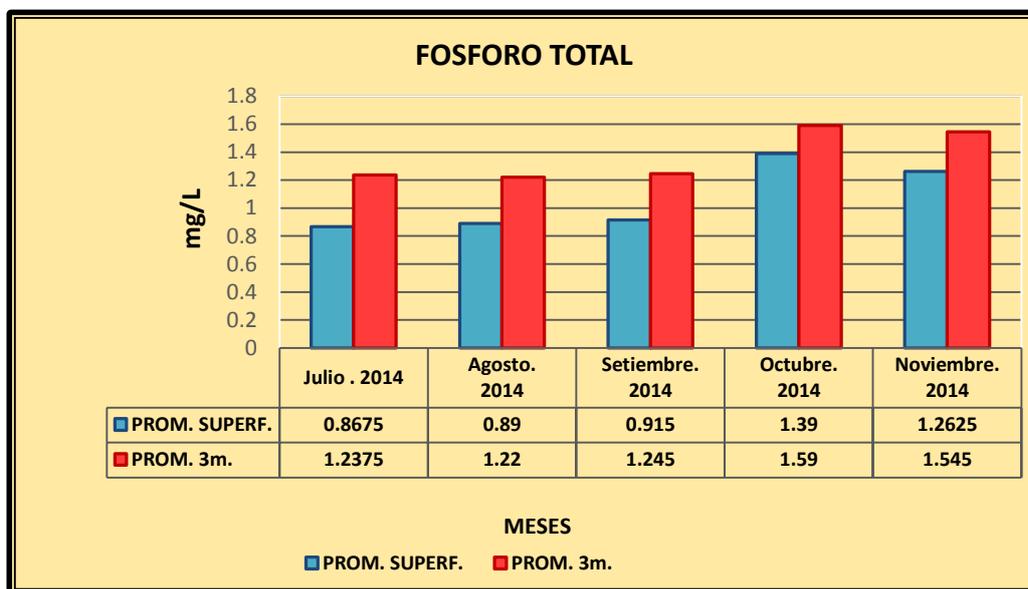


Figura 19. Fósforo total a partir del sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.

- Se puede apreciar el incremento de fósforo total, en el mes de octubre, noviembre en este mes el nivel del agua aumento en la Bahía Interior de Puno, sin embargo, en los meses julio, agosto y setiembre los valores monitoreados resultan casi constantes no hay un incrementare en mayor proporción, por lo que la oxigenación ayuda controlar y sedimentar a los nutrientes.

4.1.9. Dureza total

- En la figura 20 se observa una variación de dureza total. Los valores obtenidos en la superficie es de 391,5 mg / L, tienden a bajar, mientras en la columna en la columna de agua a 3 m. suben en 397,25 mg / L estos valores tienden a subir en un porcentaje de 2 %.
- Los valores determinados presentan un promedio estadístico de 388,692 mg / L. Los valores medidos de dureza total están dentro de las normas de (OMS) para aguas dulces, que debe ser controlado dentro de ≤ 500 mg/L.

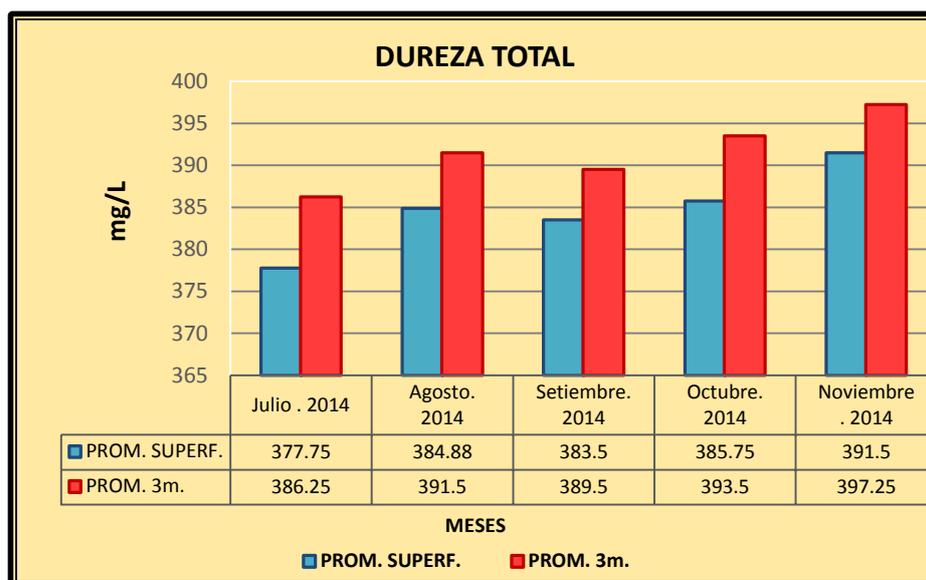


Figura 20. Dureza Total a partir del sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.

4.2. Resultados de los cálculos de concentración de saturación de oxígeno disuelto y coeficiente de transferencia de masa

Tabla 9. Cálculos de concentración de saturación de oxígeno disuelto y coeficiente de transferencia de masa

CÁLCULOS DE CONCENTRACIÓN DE SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO Y COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MASA		
	Cantidad	Unid
Presion atmosférica (3810 m.s.n.m)	0,62	atm
Presion parcial del oxígeno	0,1304	atm
Fracción molar de equilibrio oxígeno disuelto	$3,25 \times 10^{-6}$	adimensional
Concentración de saturación de oxígeno a 20 °C y 0,62 atm	5,77	mg O ₂ /L
Coficiente Global de Transferencia de oxígeno K _{La}	0,06	h ⁻¹
Tasa de cambio en la concentración de oxígeno.	0,3564	mg/L.h

4.3. Resultados del diseño experimental para oxígeno disuelto (OD) con aireadores en funcionamiento.

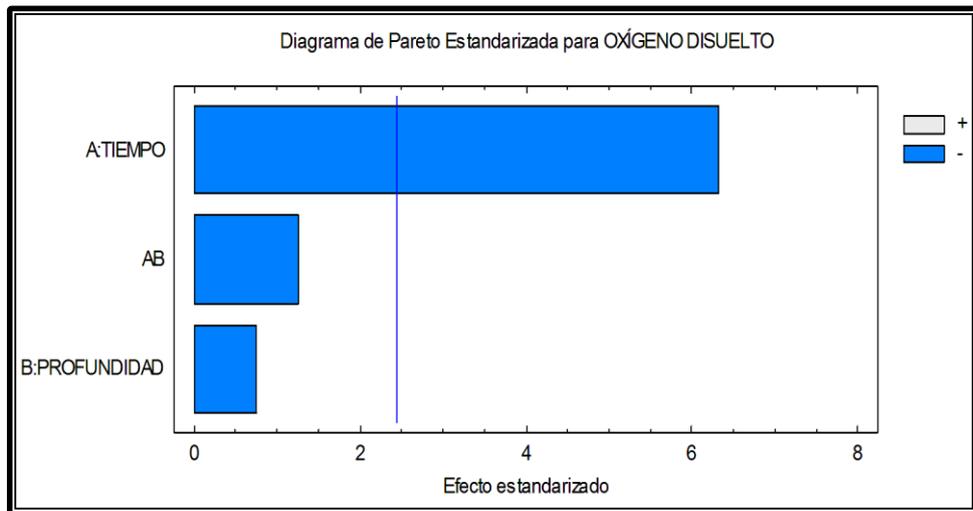


Figura 21. Diagrama Pareto estandarizada para OD.

- En la **figura 21**, se observa que la variable tiempo(A) y la variable de interacción (AB) para el diseño experimental son de mayor significancia, mientras que la profundidad (B) es insignificante.

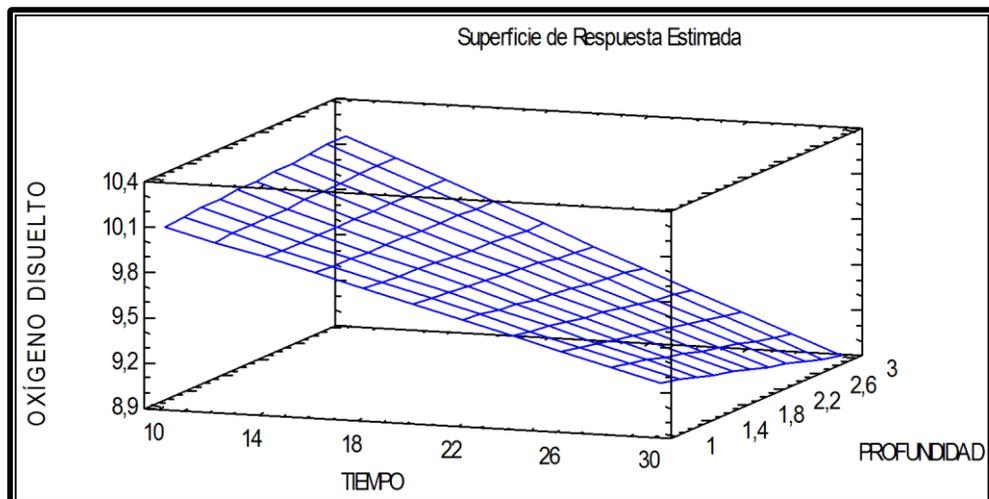


Figura 22. Superficie respuesta del comportamiento del OD.

- En la **figura 22**, se observa la superficie respuesta que representa a una curva plana con sus respectivas curvas de nivel, que incluye a su valor óptimo obtenido es **10,2 mgO₂/L**.

4.3.1 Análisis de Varianza para OD

Tabla 10. Análisis de Varianza para OD con aireadores en funcionamiento.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:TIEMPO	3,36021	1	3,36021	39,96	0,0007
B:PROFUNDIDAD	0,0481333	1	0,0481333	0,57	0,4779
AB	0,134408	1	0,134408	1,60	0,2530
bloques	0,225679	2	0,11284	1,34	0,3298
Error total	0,504488	6	0,0840813		
Total (corr.)	4,27292	11			

- ✓ Modelo matemático del comportamiento para el oxígeno disuelto
- ✓ En variables Codificadas:

$$Y = 10,3675 - 0,03175 X_1 + 0,0148333 X_2 - 0,0105833 X_1 X_2$$

4.4. Resultados del diseño experimental para oxígeno disuelto (OD) sin aireadores en funcionamiento.

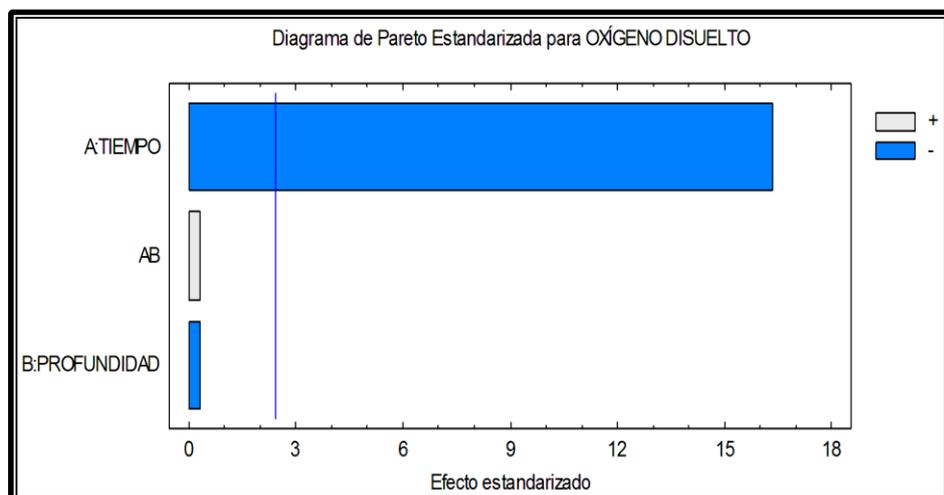


Figura 23. Diagrama Pareto estandarizada para OD sin aireadores.

- En la **figura 23**, se observa que la variable tiempo(A) es el único significativo cuando no está sometido a aireación mientras que la variable de interacción (AB) y profundidad (B) no son significativas.

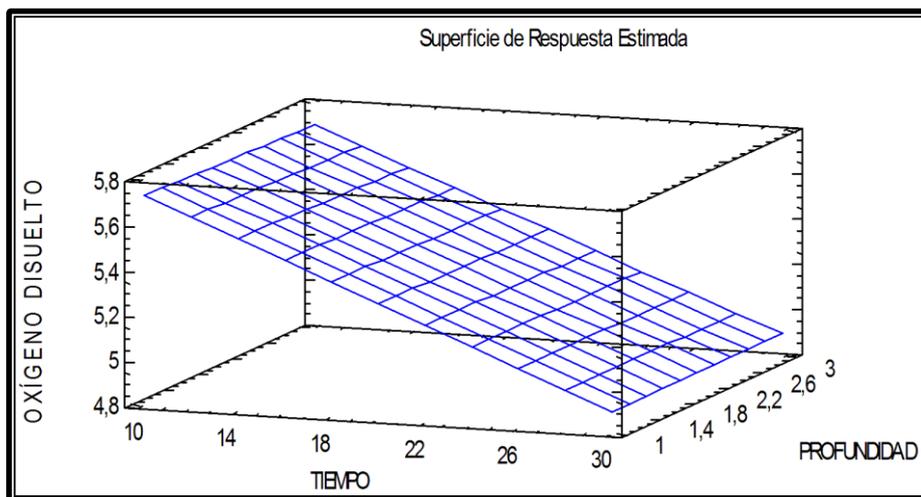


Figura 24. Superficie respuesta del comportamiento del OD.

- En la **figura 24**, se observa la superficie respuesta que representa a una curva plana con sus respectivas curvas de nivel, que incluye a su valor óptimo obtenido es **5,7333 mgO₂/L**.

4.4.1. Análisis de Varianza para OD

Tabla 11. Análisis de Varianza para OD sin aireadores.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:TIEMPO	2,00083	1	2,00083	266,78	0,0000
B:PROFUNDIDAD	0,000833333	1	0,000833333	0,11	0,7502
AB	0,000833333	1	0,000833333	0,11	0,7502
Bloques	0,00166667	2	0,000833333	0,11	0,8966
Error total	0,045	6	0,0075		
Total (corr.)	2,04917	11			

- ✓ Modelo matemático del comportamiento para el oxígeno disuelto
- ✓ En variables Codificadas:

$$Y = 6,175 - 0,045 X_1 - 0,025 X_2 + 0,00833333 X_1 X_2$$

4.5. Parámetros microbiológicos

Los resultados obtenidos estas muestras fueron tomados en un periodo en que se encontraban en funcionamiento el sistema de aireación en la Bahía Interior de Puno.

4.5.1. Coliformes Totales

En las muestras obtenidas en los meses de julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre (2014) se registró que hubo una variación de estas bacterias, obteniendo que en la muestra M1, se obtuvo los valores máximo 6000 a **6500** NMP/100mL, mientras que los valores mínimos se obtuvieron en las M4 de 4500 a 5000 NMP/100mL, de estos resultados se concluye que la concentración de los 4 puntos muestreados, supera los estándares estándares nacionales de calidad ambiental para agua dado para la categoría 4 (conservación del medio ambiente acuático – DS N° 002- 2008 – MINAM / 2000NMP/100mL), tal como se indica en la figura 25.

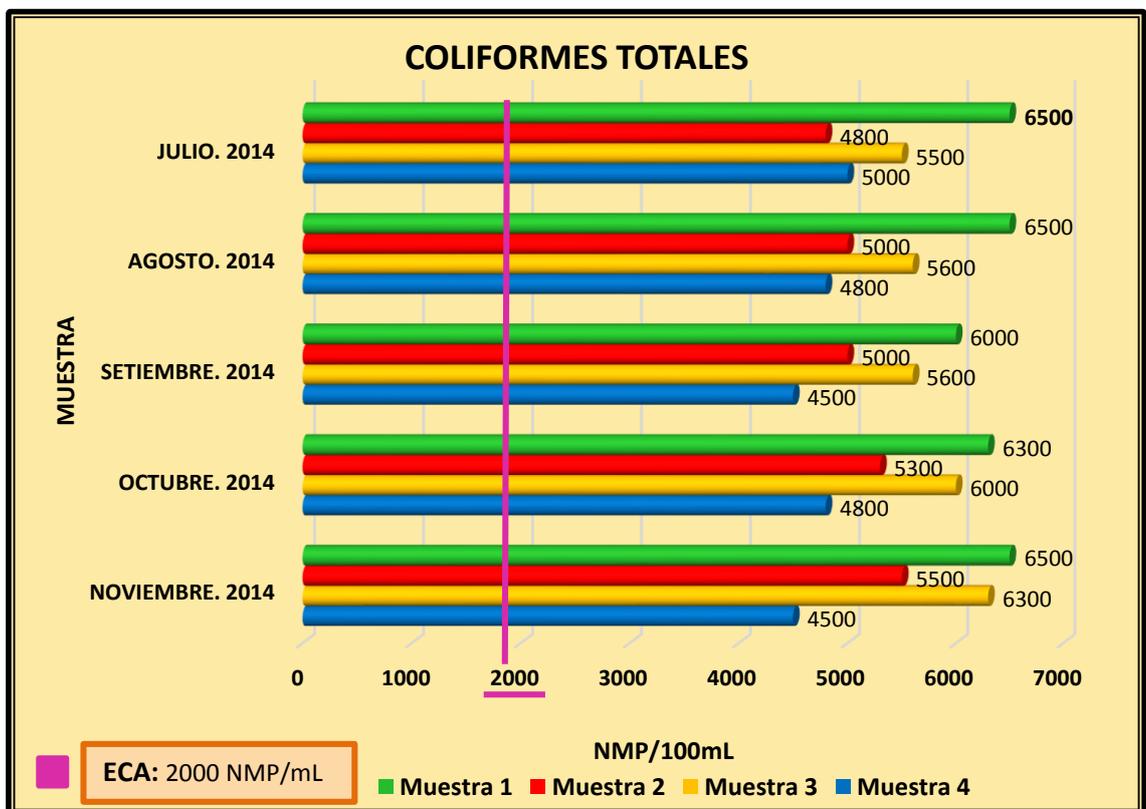


Figura 25. Comportamiento de coliformes totales.

De estos resultados se puede decir que las áreas con mayor contaminación biológica se presentaban cerca a las orillas de la Bahía interior debido a que en estas zonas se descargan aguas residuales crudas por canales de desagüe que se vierten directamente a las aguas de la Bahía interior. Por lo tanto estas zonas son de mayor peligro para la salud de la población, vida acuática.

4.5.2. Coliformes termotolerantes

En las muestras obtenidas en los meses de julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre (2014) se registró que hubo una variación de estas bacterias, obteniendo que en la M1, se obtuvo los mayores valores 2100 NMP/100mL a **2500** NMP/100mL, se debe que está al frente de la UNA, mientras que los valores mínimos se obtuvieron en las M4 de 1700 NMP/100mL a 2000 NMP/100mL, de estos resultados se concluye que la concentración de los 4 puntos muestreados, supera los estándares nacionales de calidad ambiental DS N° 002- 2008 – MINAM, tal como se indica en la figura 26.

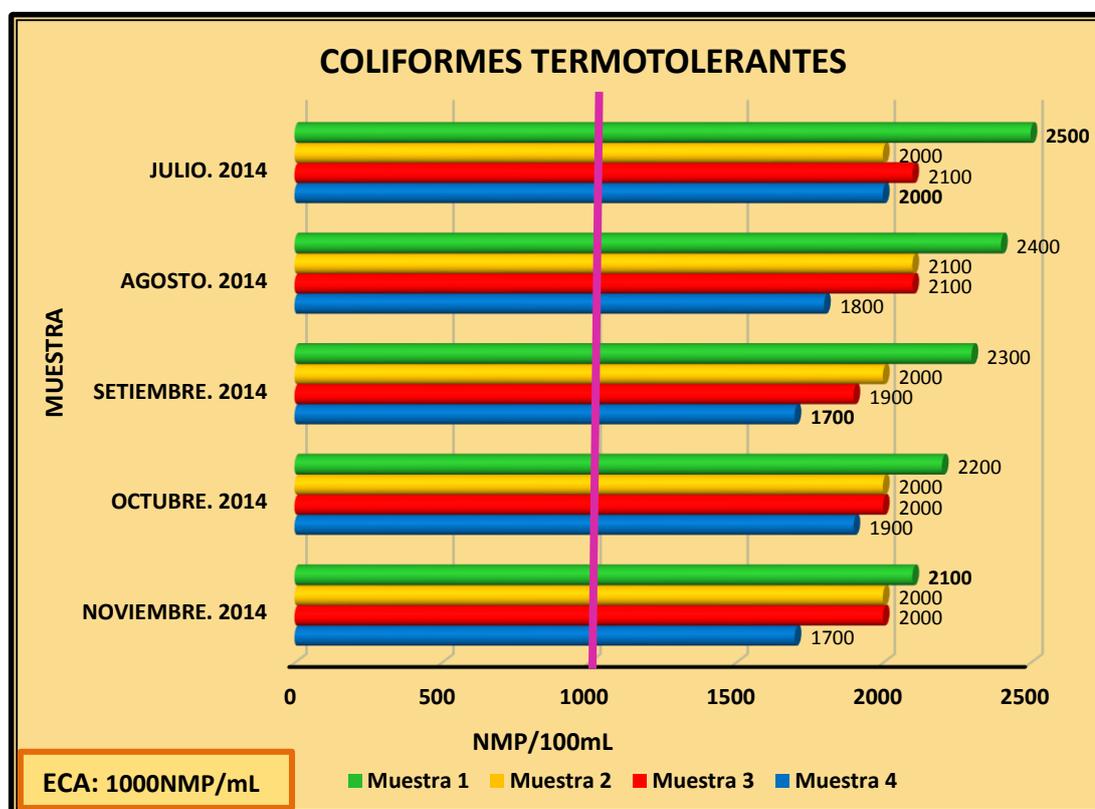


Figura 26. Comportamiento de coliformes termotolerantes.

4.5.2.1. *Escherichia coli*

En las muestras obtenidas en los meses de julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre (2014) se registró que hubo una variación de estas bacterias, obteniendo que en la M1, se obtuvo los mayores valores 620 a **680** NMP/100mL mientras que los valores mínimos se obtuvieron en las M4 de 440 a 500 NMP/100mL, de estos resultados se concluye que la concentración de los 4 puntos muestreados, se encuentran fuera de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua DS N° 002-2008 – MINAM, tal como se indica en la figura 27.

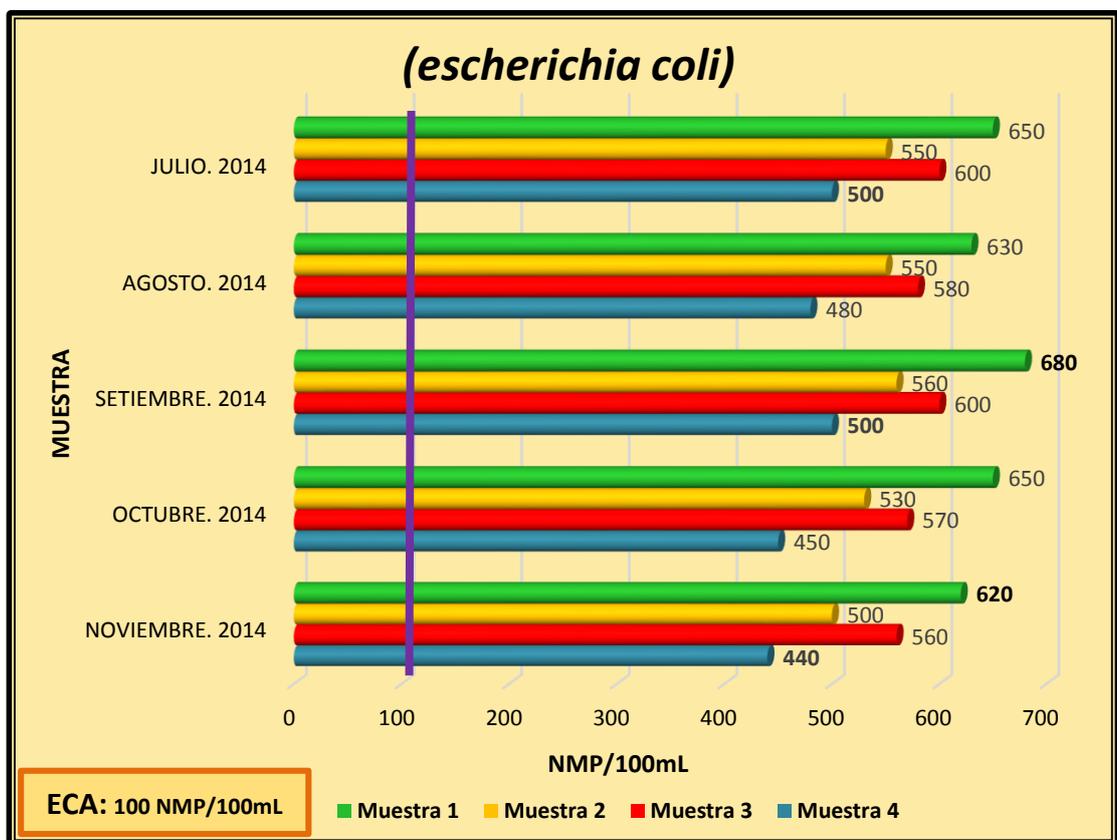


Figura 27. Comportamiento de *Escherichia coli*.

En relación con el comportamiento de coliformes fecales, se puede concluir que la mayor concentración de contaminantes bacteriológicos se encuentran por las zonas cercanas a la orilla de la Bahía interior, debido a aguas residuales, esto estaría causando mayores niveles de concentración de coliformes fecales en estas zonas de la Bahía interior de Puno. Podemos concluir que las aguas no están aptos para el consumo humano.

4.6. Parámetros considerados para determinar el Índice de Calidad de Agua (ICA)

Para hallar el **ICA** se consideran 09 parámetros para la determinación del ICA Oxígeno disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Coliformes Fecales, Potencial de Hidrógeno, Sólidos totales, Nitratos, Fosfatos totales, Turbiedad, temperatura.⁶⁸

<p>F₁ = Alcance u objetivo</p> <p>- F₁ = $\left(\frac{\text{Parámetros fallido}}{\text{total de parámetros}}\right) \times 100$</p>	<p>F₂ = Frecuencia</p> <p>- F₂ = $\left(\frac{\text{Ensayos fallidos}}{\text{total de ensayos}}\right) \times 100$</p>
<p>F₃ = Amplitud</p> <p>excursion_i = $\left(\frac{\text{Valores fallidos}}{\text{Valor normado}}\right) - 1$</p> <p>excursion_{ii} = $\left(\frac{\text{Valores fallidos}}{\text{Valor normado}}\right) - 1$</p>	<p>- nse = $\sum_{i=1}^n \frac{\text{excursion}}{\text{total de ensayos}}$</p> <p>- F₃ = $\left(\frac{\text{nse}}{0.01\text{nse}+0.01}\right)$</p>

$$- \text{ICA} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right)$$

*nse = suma normalizada de las excursiones. (Siglas en ingles).

4.6.1. Calculo para hallar el índice de calidad de agua (ICA) de la bahía interior de Puno.

Hallar F_1 :
 $F_1 = \left(\frac{4}{9}\right) \times 100 \Rightarrow F_1 = 44\%$

Hallar F_2 :
 $F_2 = \left(\frac{3}{8}\right) \times 100 \Rightarrow F_2 = 37,5\%$

Hallar F_3 :
 $ex_i = \left(\frac{3}{9}\right) - 1 \quad ex_i = -0,6666$
 $ex_{ii} = \left(\frac{9}{3}\right) - 1 \quad ex_{ii} = 2$
 $nse = \frac{1,3334}{8} \quad nse = 0,166675$
 $F_3 = \left(\frac{0,166675}{0,01(0,166675)+0,01}\right) \Rightarrow F_3 = 14,29\%$

Hallar ICA:
 $ICA = 100 - \left(\frac{\sqrt{(44)^2 + (37,5)^2 + (14,29)^2}}{1,732}\right)$
ICA = 65,6069%

Con los valores promedio obtenidos para los nueve parámetros fisicoquímicos, obtenemos el valor de **ICA**, de acuerdo con Brown R. se obtiene:

Tabla 12. Clasificación del “ICA” propuesto por Brown.⁶⁸

Calidad de agua	Color	Valor de ICA
Excelente		91 -100
Buena		71 -90
Regular		51 – 90
Mala		26 – 50
Pésima		0 -25

Por lo tanto tenemos; **ICA= 65,61%**, lo que nos indica que es un índice de calidad de agua regular tal como se muestra en la tabla 12

V. DISCUSION

De los parámetros Físicoquímicos

Los parámetros físicoquímicos evaluados en la Bahía Interior de Puno, en medio de aireación intermitente, en los cuatro puntos muestrados se encuentran por encima de los valores recomendados por los estándares Nacional de calidad Ambiental para agua N° 002 -2008 – MINAM, ² según la categoría 4 “Conservación del Ambiente Acuático – lagos y lagunas”, en concordancia con la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338.

Los valores del oxígeno disuelto (OD) en función de los puntos de estudio, el valor de OD es 8,65 mg/L, se encuentran fuera de los valores estipulados por los estándares Nacional de calidad ambiental para agua N° 002 -2008 – MINAM, ² que es ≥ 5 mg/L, lo que indica un exceso de oxígeno generado por los aireadores; sin embargo se efectuó un cálculo que permitió determinar el punto máximo de saturación del agua de la Bahía Interior de Puno. Siendo este dato encontrado de 5,77 mg/L que es un límite de saturación máximo, en contraste con los encontrados por Ocola de 3, 30 mg/L y Campos de 5,85 mg/L.^{32, 70}

Los valores comparados de oxígeno disueltos encontrados por Donaires T. et al. 2002,⁶⁹ D. Beltrán D, 2011,²⁴ de la facultad de ingeniería Química y Ciencias Biológicas de la UNA Puno, para el primer elemento en función se tiene oxígeno disuelto 5,68 mg/L y 6,62 mgO/L, estos valores están dentro de los ECA categoría 4, respecto a los datos obtenidos en el estudio, estos parámetros difieren en un 34% y 23% respectivamente.

Los valores comparados **de temperatura** (T °C), encontrados por Donaires T. et al. 2002,⁶⁹ D. Beltrán D, 2011,²⁴ de la facultad de ingeniería Química y Ciencias Biológicas de la UNA Puno, para el primer caso se tiene una temperatura 15,5 °C y 15,6 °C no existe implicancia dentro de los estándares de calidad ambiental, sin embargo podemos indicar que el rango a la que se trabajo fue 19,4 cuyo valor difiere de las anteriores en 20% y 19% respectivamente. La temperatura se mantiene en un promedio de 19,4 °C, el incremento de esta influye en la disminución de oxígeno disuelto (OD).

Se observa el comportamiento del pH en función de los puntos de estudio, cuyo valor de pH fue de 8,37 mg/L, se encuentran dentro de los valores estipulados por los estándares Nacional de calidad ambiental para agua N° 002 -2008 – MINAM,² que es de 6,5 y 8,5 lo que nos indica un buen desempeño generados por los aireadores; los encontrados por Ocola³² y Campos,⁷⁰ se encuentran fuera de la normativa con 8,9, posiblemente por la metodología empleada o error del equipo. Los valores pH, Donaires⁶⁹ 9,15 y Beltrán²⁴ 9,43, estos parámetros están fuera de los ECAs categoría 4, el pH de monitoreo propio si se encuentra dentro del rango normal de los ECA.

Los valores demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), en función de los puntos de estudio, cuyo valor de (DBO₅), fue de 41,1 mg/L, se encuentran fuera de los valores estipulados por los estándares Nacional de calidad ambiental para agua N° 002 -2008 – MINAM,² que es < **5mg/L**, lo que indica un exceso de (DBO₅), generado por los aireadores; los encontrados por Ocola³² 35,0 mg/L y Campos⁷⁰ 5,64 mg/L, se encuentran fuera de los estándares de calidad ambiental del agua, entonces el efecto de aireación no tuvo mucha influencia en ese punto de muestreo, esta diferencia significativa podría deberse al punto exacto de muestreo y además el momento estacional (primavera, verano, otoño, invierno)

Los valores **Conductividad eléctrica** (c. e), en función de los puntos de estudio, cuyo valor de Conductividad eléctrica, es de 1464,57 $\mu\text{s}/\text{Cm}$, se encuentran fuera de los valores estipulados por los estándares Nacional de calidad ambiental para agua N° 002 -2008 – MINAM,² que es < 1000 $\mu\text{s}/\text{Cm}$, lo que implica una buena presencia de sales disueltas en la Bahía Interior de Puno, en contraste los autores Ocola³² y Campos⁷⁰ que encontraron 1742,0 $\mu\text{s}/\text{Cm}$, 1725 $\mu\text{s}/\text{Cm}$, con una mayor conductividad e implica una mayor concentración de sales presentes en el agua. Los valores comparados de Conductividad eléctrica (c. e), encontrados por Donaires T. et al. (2002),⁶⁹ D. Beltrán D. (2011),²⁴ de la facultad de ingeniería Química y Ciencias Biológicas de la UNA Puno, para el primer caso se tiene una Conductividad eléctrica 1,87 $\mu\text{s}/\text{Cm}$, y 166,956 $\mu\text{s}/\text{Cm}$, estos parámetros se encuentran dentro de los ECA categoría 4, pero difiere de los datos propios en un 99% y 14% respectivamente.

Los valores fósforo total, en función de los puntos de estudio, cuyo valor de fosforo total, es de 1,21 mg/L, se encuentra fuera de los valores estipulados por los estándares Nacional de calidad ambiental para agua N° 002 -2008 – MINAM,² que es 0,4 mg/L. Los valores comparados de fósforo total, encontrados por Donaire et al. 2002⁶⁹ D. Beltrán 2011,²⁴ de la facultad de ingeniería Química y Ciencias Biológicas de la UNA Puno, para el primer caso se tiene fosforo total, 0,373 mg /L se encuentra dentro del rango permitido por los ECA y en el segundo caso no registra.

Los valores de nitrógeno amoniacal en función de los puntos de estudio, cuyo valor de 0,029 mgN/mL, se encuentran dentro de los valores estipulados por los estándares Nacional de calidad ambiental para agua N° 002 -2008 – MINAM, ² que es < 0,02 mgN/mL, atribuimos esto al efecto de aireación en contraste con los encontrados por Ocola,³² 0,561 mgN/mL, lo que está fuera de los ECA, también podemos implicar que esta variación es debida al momento de muestreo y cambio estacional. Los valores comparados de nitrógeno amoniacal, encontrados por Donaires T.⁶⁹ 2002, Beltrán D.²⁴ 2011, de la facultad de ingeniería Química y Ciencias Biológicas de la UNA Puno, para el primer elemento en función se tiene nitrógeno amoniacal, 0,866 mg /L, se encuentra dentro del rango permitido por los ECA y en el segundo caso no registra.

De los parámetros microbiológicos

Los parámetros microbiológicos evaluados en la Bahía Interior de Puno, muestran una variación de los coliformes totales y coliformes termotolerantes, *escherichia coli* en función de los puntos de estudio, cuyo valor máximo es 6500 NMP/100mL, 2500 NMP/100mL, 680 NMP/100mL, se encuentran fuera de los valores estipulados por los estándares Nacional de calidad ambiental para agua N° 002 -2008 – MINAM, ². Esto se debe a que el agua tiene sustancias provenientes de la naturaleza y de las actividades humanas entre las cuales se encuentran bacterias propias de las excretas de animales, lo que nos indica que la superficie del terreno se encuentra contaminado en este caso por coliformes fecales, que por la lluvias estaría llegando a las fuentes de agua por lixiviación, respecto a los resultados del estudio muestran que este parámetro va en

aumento, se debe a que la ciudad de Puno no cuenta con tratamiento residual que estarían causando esta variación.

Los valores comparados encontrados por Callata F. 2015,²⁰ de la facultad de Ingeniería Agrícola de la UNA Puno, para los análisis bacteriológicos encontrados en; coliformes totales 2200 NMP/mL coliformes termotolerantes 1100 NMP/mL, *escherichia coli*) 700 NMP/mL, se encuentran dentro de los ECA categoría 4, para lagos y lagunas; coliformes totales 2000 NMP/mL, coliformes termotolerantes 2000 NMP/mL, y *escherichia coli* estos últimos se encuentran fuera de los ECAs para categoría 4, conservación del ambiente acuático.

VI. CONCLUSIONES

Se determinó los niveles de oxígeno disuelto en la Bahía Interior de Puno, se encuentra sobresaturados por acción mecánica de los sopladores centrífugos, los resultados determinaron que los niveles de oxígeno disueltos obtenido mediante la ley de Henry cuyo valor máximo de saturación es de $5,77\text{mgO}_2/\text{L}$.

Se identificó los parámetros fisicoquímicos (Temperatura, OD, DBO, pH, Conductividad eléctrica, Nitrógeno amoniacal, Fósforo total, STD) y el índice de calidad de agua se concluye que los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los estándares de calidad de agua (ECA) con excepción (OD, pH) estos parámetros se encuentran dentro los estándares calidad de agua, se determinó el índice de calidad de agua ICA donde se obtuvo 65,61% según Brown.

Se comprobó que los parámetros microbiológicos en coliformes totales, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, llegaron hasta 6500 NMP/mL, 2500 NMP/mL, 680 NMP/100mL en las muestras 01 y 03, se encuentran fuera de los estándares nacionales de calidad ambiental del agua; debido a que se encuentra frente a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (UNA), en esta zona se descargan aguas residuales por canales de desagüe que se vierten directamente a las aguas de la Bahía interior.

En el momento que se encontraba en funcionamiento el sistema de aireación mecánico en la Bahía Interior de Puno, hubo una disminución en la cantidad de coliformes, pero siguieron excediendo a lo permitidos por los ECA, podemos concluir que las aguas de la Bahía Interior de Puno, no son aptas para la vida acuática.

VII. RECOMENDACIÓN

Cuando se realice investigaciones a diferentes pisos ecológicos por encima de 1000 m.s.n.m, se recomienda realizar un escalamiento de magnitudes físicas y termodinámicas de manera tal que se encuentren datos reales y confiables que influyan en los cálculos y diseños de reactores ambientales cuyo funcionamiento sea eficientemente.

Para reducir la cantidad los errores significativos en la medición de parámetros fisicoquímicos se recomienda utilizar propiedades ópticas y térmicas mediante imágenes Landsat y MODIS con un enfoque global, comparando con métodos convencionales como: Gravimetría e instrumental.

Para mejorar el pronóstico de oxígeno disuelto y parámetros fisicoquímicos se recomienda modelizar mediante la metodología Bayesiana y mediante el método de redes neuronales artificiales.

Realizar un análisis microbiológico monitoreando constante de la parte microbiológico con la finalidad de evitar alta carga bacteriana como *Escherichia Coli* que pueden causar daños gastrointestinales.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Orozco C, Flores H, Chávez D, Ruiz C. Cambio climático y el impacto en la concentración de oxígeno disuelto en el lago de Chapala. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas ISSN: 2007 - 0934, núm. 2, 2011, Pág. 381-394. Chapala – México.
2. Norma Legal. Estándares Nacional de calidad Ambiental para agua N° 002 -2008 – MINAM, según la categoría 4 “Conservación del Ambiente Acuático – lagos y lagunas”. La Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338.
3. Autoridad Binacional del Lago Titicaca. Evaluación de eficiencia del sistema de aireación en la descontaminación de Bahía Interior de Puno, 2013. Puno- Perú.
4. Autoridad Nacional del Agua “Resultados del Monitoreo de la Calidad de Agua Superficial de la Cuenca Coata”, 2012, Lima – Perú.
5. Ministerio de Agricultura Autoridad Nacional del Agua .Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Autoridad Nacional del Agua – Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos (DGCRH), 2009, Pág. 2 - 3. Puno – Perú
6. Autoridad Binacional del Lago Titicaca – ALT, Suma Marka Taller de capacitación para recolección de muestras y medición in situ de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua con fines de monitoreo. 2012, Puno – Perú.
7. Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca PELT, Estudio Integral de Factibilidad, Conducción, Tratamiento y Manejo Integral de las Aguas Servidas – Ciudad de Puno (Sistema Salcedo – Cancharani). 1997, Puno – Perú.
8. Ledesma C, Bonansea M, Rodriguez C. Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina) Artículo Científico. ISSN 1806-6690 Revista Ciencia Agronómica, Vol.44, N° 3, 2013 Pág. 419 - 425. Cordova – Argentina.
9. López M, Pulido M, Serrano A. Evaluación estacional de los variables fisicoquímicos del agua de la Laguna de Tampamachoco. Centro de Investigaciones Biológicas (CIB), Universidad Autónoma del Estado de

- Hidalgo (UAEH). Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, 2012. Pág. 14-17. Veracruz – México.
10. Hernández, J., et al., Calidad del agua de riego y parámetros microbiológicos y químicos del suelo de la zona agrícola de Barbacoas, Facultad Agronomía, 2011. 37, Vol. 1 Pág. 01-10. Aragua – Venezuela.
 11. Beltrán D, Palomino R, Moreno E, et.al. Calidad de agua de la Bahía Interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011. Revista peruana de biología, ISSN: 1561 - 0837, 2015. Puno, Lima – Perú.
 12. Canales A. Evaluación de la Biomasa y Manejo de *Lemna gibba* (lenteja de agua) en la Bahía interior del Lago Titicaca, Puno. Revista ecología aplicada. Universidad Nacional Agraria La Molina ISSN: 1726-2216, vol. 9, 2010, Pág. 91-99, Lima- Perú.
 13. Alva W. Geografía General. Editorial San Marcos. 2010. Pág. 727
 14. Ramírez, H.; Ruiz, A.; Chaparro.; Olmos, R.; Gerónimo, L. 2011. Geografía General: Un enfoque interactivo para bachilleres. 2da. Edición. Grupo Editorial Patria. México. Pág 302, DF – México.
 15. Tyler M. Ecología y Medio Ambiente: Introducción a la Ciencia Ambiental, el desarrollo sustentable y la conciencia de conservación del planeta Tierra. 7ª Edición. Madrid. Thomson editores. 2002 Pág 458. Madrid – España.
 16. Zouiten H. Análisis mediante modelado avanzado de procesos de eutrofización en lagunas litorales: Aplicación a masas de agua atlánticas y mediterráneas, Santander. Tesis doctoral, Universidad de Cantabria departamento de ciencias y técnicas del agua y del medio ambiente, 2012. Santander – España.
 17. Margalef, R. Limnología, Instituto Mexicano de Tecnología de Agua, Centro de Consulta del Agua. Edición Omega, S.A., Barcelona. 1983. Pág.667 – 701. Barcelona – España.
 18. Gil I. Comparación y cuantificación de Coliformes totales, Coliformes fecales y *Escherichia Coli*, en siete microcuencas del lago Amatitlán: Chanquin, El Frutal, Guadrón, San Lucas, Zacatal y Zanjón la Palin, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, (Tesis de Graduación Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia), 2001. Pág. 53. Guatemala.

19. Arellano J, Guzmán J. Ingeniería Ambiental. Primera Edición Alfa omega Grupo Editor S.A, de C.V. México. 2011 Pág 184. México.
20. Callata F. Monitoreo y evaluación del cuerpo de agua de la Bahía Interior de Puno – lago Titicaca, tesis para obtención del título Ingeniero agrícola, 2015. Pag 15. Universidad Nacional del Altiplano de Puno – Perú.
21. Clean - Flo. Improve water quality improve in lakes, ponds, rivers and reservoirs us inversión, oxigenation and aeration with buffered alum phosphate precipitant. Consultado 15 de mayo 2015 <http://www.clean-flo.com/restoration/lakes.htm>
22. Northcote T, Morales P, Levy D et al. Contaminación en el lago Titicaca: Capacitación, Investigación y Manejo. Westwater Research Centre. University of British, 1991. Puno - Perú.13
23. Autoridad nacional del agua. Evaluación de la calidad del agua del lago Titicaca Perú - Bolivia evaluación del estado de la calidad del agua – Lago Titicaca sector peruano, 2012. Bolivia – Perú.
24. Beltrán D. Condiciones fisicoquímica y Bacteriológicas de la Bahía Interior de Puno. Tesis para obtención título, Facultad de Biología ,2013. Pág. 17 – 20 Puno – Perú.
25. Gil Rodríguez, M. Procesos de descontaminación de aguas. Cálculos avanzados informatizados. International Thomson Editores Spain Paraninfo, S.A. 2005. Pág 261. Madrid – España.
26. James R. La contaminación ambiental como delito, aspectos sustantivos y procesales. Jurista Editores E.I.R.L. Primera Edición Lima, PE. 2009. Pág 26-28. Lima - Perú.
27. Albert L. Contaminación ambiental. Origen, clases, fuente y efecto. Sociedad Mexicana. A.C. 2012, Xalapa – México. Consultado 20 de julio 2015 en: [http:// www.bvsde.ops-oms.org/bustox/fulltext/toxico-01a4.pdf](http://www.bvsde.ops-oms.org/bustox/fulltext/toxico-01a4.pdf)
28. Dejoux C, Iltis A. Eutrofización y problemas de polución. En Orstom - Hisbol. El Lago Titicaca: síntesis del conocimiento limnológico actual. 1991 La Paz, Bolivia. p. 584.
29. Fontúrbel F. Algunos criterios biológicos sobre el proceso de eutrofización a orillas de seis localidades del lago Titicaca. Ecología Aplicada. 2003 Vol. 2. Pág. 75-79.Puno – Perú.

30. Fontúrbel F. Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del lago Titicaca (Bolivia) *Ecología Aplicada*, 4(1,2), 2005 ISSN 1726-2216 Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria 2005 La Molina, Lima – Perú.
31. Luca E, Ticona B. La contaminación del Lago Titicaca y el turismo; Escuela Posgrado Universidad Nacional de Puno. 2006, Pág. 4-5 Puno – Perú.
32. Ocola J, Torres A, et al. Evaluación de la Eutrofización sobre el comportamiento de la flora acuática en la Bahía Interior de Puno, 1997. Puno – Perú.
33. Shuta H. Optimización del sistema de aireación con paneles solares fotovoltaicos para el tratamiento de aguas residuales en la Bahía Interior de Puno. Obtención para la Maestría ingeniería mecánica con mención en Gestión Ambiental de la energía 2015, Pág. 17- 27. Puno – Perú.
34. Peña E, Calidad de agua. Trabajo de investigación de Oxígeno disuelto. Escuela superior Politécnica del litoral, ingeniera en auditoría y control de gestión Guayaquil, junio 2007.
35. Gamarra T, Postillo M, Reyes J, et al. Oxígeno disuelto en agua en relación a temperatura. *Ecología General. Practica N° 3*, 2013, Universidad Nacional agraria de la Selva, Tingo María – Perú.
36. Lewis M. Dissolved oxygen. En: US Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations. Book 9. Cap. 6. National Field Manual for the collection of water-quality data. 2006. Consultado 15 de junio 2015 en: <http://pubs.walter.usgs.gov/twri9A6/>
37. García M. Determinación de la Influencia de los factores hidrodinámicos y la calidad del agua en la demanda béntica de la cuenca alta del río Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, facultad de ingeniería Química y ambiental. 2011. Bogotá - Colombia.
38. Jiménez M. Transferencia de nutrientes entre la columna de agua y el sedimento bajo condiciones anaerobias en el embalse de Beniarrés. Universidad Politécnica de Valencia, 2008. Pág. 8, Valencia – España.
39. Lee D, Jeon C, Park J, et al. “Biological nitrogen removal with enhanced phosphate uptake in a sequencing batch reactor using single sludge system”. *Water Research*, 2001. Vol. 35, N°16 .Pag. 3968 - 3976.

40. Martínez R. Estudio del flujo de nutrientes en la interfase sedimento- agua del Sistema estuario de la desembocadura de Júcar, EFC. 2004. Universidad Politécnica de Valencia. España.
41. Palao L. Informe Final de investigación: Descontaminación de la Bahía Interior de Puno con Biotecnología Microorganismos eficaces (EM) Responsabilidad Social y Acción Comunitaria 2010, Pág. 149, Puno – Perú.
42. American Public Health Association (APHA) Standart Methods for the examination of wáter and wastewater. 20^o Edition, 1999, Pág.1134
43. Chávez A. Aspectos Físicoquímicos, Bioquímicos y microbiológicos de la contaminación de aguas, índices e indicadores ambientales, 2002. Pág 2-50
44. Metcalf E. Ingeniería de Aguas Residuales, 3ra Edición. Editorial McGraw-Hill. 1998
45. CIESE, Estudio Internacional de la calidad del agua Stevens Institute of tecnology, 2003, Libreta de campo para las pruebas en las muestras de agua. Disponible en: <http://www.K12science.org/curriculum/dipproj/es/>
46. Wetzel R. Limnología. Editorial Omega S.A. 1981. Barcelona-España.
47. Global Water Watch (GWW) práctica del monitoreo físico químico y bacteriológico de la calidad del agua.2001.
48. Yepes S. Caracterización Físico-química y Bacteriológica de la cuenca del río Coello. Tesis de grado. Biólogo, facultad de Ciencias, Universidad del Tolima, 2004. Pág.137
49. Agencia de protección ambiental (EPA) Condiciones de Calidad de Agua en Estados Unidos. 2000 .Disponible en: <http://www.epa.gov/305b/>
50. Hurtate D. Comparación de algunos parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las micro-cuencas Pansalic y Pancocha en época seca y lluviosa. Guatemala: USAC, (Tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia). 1995. Pág 67
51. Goyenola, Guía para la utilización de la Valijas Viajeras – Conductividad. Mapsa. 2007. Consultada en setiembre del 2014.
Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/105302193/Conduct-IV-i-Dad>
52. Fuentes F, Deya A. Manual de Laboratorios: Ecología y Microorganismos. 2002. Disponible en: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/>

53. Esparza, C.M. Procedimientos Simplificados de Análisis Químico de Aguas Residuales. 1995. Editorial Iberoamérica – México.
54. Unda F. Ingeniería Sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública. México: ed. Hispano-Americana, 1969. Pág. 870p. (Pág.58 -311,389-459).
55. Sierra C. Calidad de agua "evaluación y diagnóstico" Colombia: editorial universidad de Medellín. 2011, Pág. 237, 259. Medellín - Bogotá
56. Romero A. tratamiento de aguas residuales. ed. Escuela colombiana 3^o edición ,2004.
57. Ramos F. Análisis de la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del Puerto de San José. 2006. Pág 97. Guatemala
58. Fernández J. et al. Manual de Fito - depuración. 2005 Pág.143 (Pág. 13-22). España.
59. Zhen B. Calidad Fisicoquímica y Bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada victoria, obtención de tesis de maestría: manejo de recursos 2007-2008 Curubande, Guanacaste, Costa Rica.
60. Pullés R. Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en Cuba. Revista CENIC. Ciencias Biológicas, ISSN: 0253-5688. Vol. 45, N°1, 2014, Pág. 25-36. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Ciudad de La Habana, Cuba.
61. Vargas C. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Environmental Protection Agency, OPS / CEPIS. Curso sobre métodos bacteriológicos para el análisis de Agua Potable.2000, Lima Perú.
62. Soler J. Validación Secundaria del Método de número más probable y recuento en placa profunda para coliformes totales y fecales en muestras de alimentos basada en la norma ISO NTC 17025 tesis para la Obtención el título de Microbiología industrial. Pontificia Universidad Javeriana Facultad de ciencias carrera de microbiología industrial Bogotá, D.C.
63. Koschelov S, Fernandez R, Smits B, et al. Evaluación de la calidad del agua del río Cúpira, la Cumaca, estado Carabobo, Venezuela) mediante bioindicadores microbiológicos y parámetros fisicoquímicos. Vol. 38, 2013, Pág. 480-487. Caracas - Venezuela.

64. Montoya C. Estudio Integral de la Calidad del Agua en el estado de Jalisco. Comité nacional de agua. Pág. 106 Guadalajara – México.
65. American Public Health Association (APHA – AWWA - WEF). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed. Washington, D.C., 2005. Pág 1368.
66. Carrillo E, Lozano A, et. al. Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable. Tesis para obtener Título Microbióloga Industrial. Pontificia Universidad Javeriana Facultad de ciencias Carrera de Microbiología Industrial. Bogotá D.C. Diciembre de 2008.
67. Norma Legal. Estándares Nacional de calidad Ambiental para agua N° 015 -2015 – MINAM, según la categoría 4 “Conservación del Ambiente Acuático – lagos y lagunas.
68. Brown L, Barnwell T, et al. The enhanced stream water Quality models QUAL2E and QUAL2E – UNCAS, EPA / 600/ 3-87 -007, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA, Pág. 188, 1987.
69. Donaires T, Zamalloa W, Salas del Pino M, et al. Lago Titicaca. Síntesis del conocimiento actual. Facultad de ingeniera química Universidad Nacional del Altiplano – Puno; Facultad ingeniería química Nacional del Cuzco – Perú.
70. Campos A. Informe de análisis N° 173 abril – 2013. Análisis fisicoquímica aguas Bahía comunidad Chimú. Mega laboratorio de investigación ambiental – suelos y aguas. Universidad Nacional del Altiplano – Puno – Perú.

ANEXO

**Normas Legales – estándares de calidad
ambiental DS – 002 -2008 – MINAM (Categoría 4:
Conservación del medio ambiental acuático, para
Lagunas y Lagos.)**

Diagnóstico y el usuario esté dispuesto a proporcionarlos, el valor de dichos insumos será descontado del precio del servicio, previa presentación de la copia del comprobante de pago. Los insumos requeridos deberán ceñirse a las especificaciones técnicas exigidas por el SENASA.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

OSCAR M. DOMINGUEZ FALCON
 Jefe (e)
 Servicio Nacional de Sanidad Agraria

232229-1

AMBIENTE

Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

DECRETO SUPREMO
 N° 002-2008-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, en el inciso 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; señalando en su artículo 67° que el Estado determina la Política Nacional del Ambiente;

Que, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611-Ley General del Ambiente, establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, el artículo 1° de la Ley N° 28817-Ley que establece los plazos para la elaboración y aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y de Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación Ambiental, dispuso que la Autoridad Ambiental Nacional culminaría la elaboración y revisión de los ECA y LMP en un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la vigencia de dicha Ley;

Que con fecha 16 de junio de 1999 se instaló el GESTA AGUA, cuya finalidad fue elaborar los Estándares de Calidad Ambiental para Agua - ECA para Agua, estando conformado dicho Grupo de Trabajo por 21 instituciones del sector público, privado y académico, actuando la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA como Secretaría Técnica;

Que, mediante Oficio N° 8262-2006/DG/DIGESA de fecha 28 de diciembre de 2006, la Dirección General de Salud Ambiental -DIGESA, en coordinación con el Instituto Nacional de Recursos Naturales -INRENA, en calidad de Secretaría Técnica Colegiada del GESTA

AGUA, remitió al CONAM, la propuesta de Estándares de Calidad Ambiental-ECA para Agua con la finalidad de tramitar su aprobación formal;

Que, por Acta del Grupo de Trabajo GESTA AGUA, de fecha 24 de octubre de 2007, se aprobó la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua;

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013 se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, señalándose su ámbito de competencia sectorial y regulándose su estructura orgánica y funciones, siendo una de sus funciones específicas la de elaborar los Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles;

Que, contando con la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, corresponde aprobarlos mediante Decreto Supremo, conforme a lo establecido en el artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 y el Decreto Legislativo N° 1013; En uso de las facultades conferidas por el artículo 118° de la Constitución Política del Perú;

DECRETA:

Artículo 1°.- Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Artículo 2°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

Única.- El Ministerio del Ambiente dictará las normas para la implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, como instrumentos para la gestión ambiental por los sectores y niveles de gobierno involucrados en la conservación y aprovechamiento sostenible del recurso agua.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los treinta días del mes de julio del año dos mil ocho.

ALAN GARCÍA PÉREZ
 Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
 Ministro del Ambiente

El Peruano
 DIARIO OFICIAL

REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS

Se comunica al Congreso de la República, Poder Judicial, Ministerios, Organismos Autónomos y Descentralizados, Gobiernos Regionales y Municipalidades que, para efecto de publicar sus dispositivos y sentencias en la Separata de Normas Legales y Separatas Especiales respectivamente, deberán además remitir estos documentos en disquete o al siguiente correo electrónico. normaslegales@editoraperu.com.pe

LA DIRECCIÓN

Endrín	ug/L	0,004
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloripóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paratión	ug/L	7,5
Biológicos		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000
Enterococos	NMP/100mL	20
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100
Huevos de Helminthos	huevos/litro	<1
<i>Salmonella</i> sp.	Ausente	
<i>Vibrio cholerae</i>	Ausente	

NOTA :

NMP/100: Número más probable en 100 mL

Vegetales de Tallo alto: Son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tienen una buena longitud de tallo. las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros). Ejemplo: Forestales, árboles frutales, etc.

Vegetales de Tallo bajo: Son plantas cultivables o no, frecuentemente porte herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo (10 a 50 cm). Ejemplo: Hortalizas y verdura de tallo corto, como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y arveja, etc.

Animales mayores: Entiéndase como animales mayores a vacunos, ovinos, porcinos, camélidos y equinos, etc.

Animales menores: Entiéndase como animales menores a caprinos, cuyes, aves y conejos

SAAM: Sustancias activas de azul de metileno

CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO

PARÁMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RÍOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0,02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius					delta 3 °C
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	unidad	6,5-8,5	6,5-8,5		6,8-8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤25	≤25 - 100	≤25 - 400	≤25-100	30,00
INORGÁNICOS						
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	---
Cadmio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022	0,022	0,022	---
Clorofila A	mg/L	10	---	---	---	---
Cobre	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fenoles	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	
Fosfatos Total	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031 - 0,093
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales	Ausente				Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,0001
Nitratos (N-NO3)	mg/L	5	10	10	10	0,07 - 0,28
INORGÁNICOS						
Nitrógeno Total	mg/L	1,6	1,6		---	---
Níquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,002	0,0082
Plomo	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0081	0,0081
Silicatos	mg/L	---	---	---	---	0,14-0,7
Sulfuro de Hidrógeno (H2S indisoluble)	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,081
MICROBIOLÓGICOS						
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100mL)	1 000	2 000		1 000	≤30
Coliformes Totales	(NMP/100mL)	2 000	3 000		2 000	

NOTA : Aquellos parámetros que no tienen valor asignado se debe reportar cuando se dispone de análisis

Dureza: Medir "dureza" del agua muestreada para contribuir en la interpretación de los datos (método/técnica recomendada: APHA-AWWA-WPCF 2340C)

Nitrógeno total: Equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (Nitrógeno orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito (NO)

Amonio: Como NH3 no ionizado

NMP/100 mL: Número más probable de 100 mL

Ausente: No deben estar presentes a concentraciones que sean detectables por olor, que afecten a los organismos acuáticos comestibles, que puedan formar depósitos de sedimentos en las orillas o en el fondo, que puedan ser detectados como películas visibles en la superficie o que sean nocivos a los organismos acuáticos presentes.

ANEXOS 2.

Tabla 13. Equipos para el estudio de parámetros fisicoquímicos

Ítem	PARÁMETRO	MÉTODO	EQUIPO SUGERIDO
1	Temperatura Del Agua, (T)	Termómetro	Termómetro (Hg)
2	Oxígeno Disuelto, (OD)	Electrodo	HANNA HI-9146
3	Potencial De Hidrogeno, (pH)	Potenciómetro	P9
4	Conductividad Eléctrica,(C.E.)	Conductímetro	HACH-SENSION5
5	Solidos Disueltos Totales, (SDT.)	Conductímetro	HACH-SENSION5

ANEXOS 3.

Tabla 14. Parámetros fisicoquímicos determinados en laboratorio de la UNA.

Ítem	PARÁMETRO	MÉTODO	EQUIPO SUGERIDO
1	Demanda Bioquímica De Oxígeno, (DBO ₅)	Método Winkler	FRASCO W.
2	Demanda Química De Oxígeno,(DQO)	Calorimétrico	HACH-DRB-200
3	Sólidos En Suspensión, (Ss)	Colorimetría	HACH-DR/850
4	Nitrógeno Amoniacal, (NH ₃ -N)	Colorimetría	HACH-DR/850
5	Nitritos, (NO ₂ -N)	Espectrofotométrico	21D
6	Fosfatos	Espectrofotométrico	21D
7	Fosforo Total	Espectrofotométrico	21D
8	Sulfatos	Colorimetría	HACH-DR/850
9	Dureza Total	Volumetría	Inst. Bureta

ANEXO 4.

Tabla 15. Resultados de los principales parámetros fisicoquímico del mes de Julio del 2014 de la Bahía Interior de Puno.
Facultad de ingeniería Química de la UNA.

FECHA(S) Y HORA DE MONITOREO			ECA - Agua: Categoría 4 "Lagunas y Lagos" D.S. 002 – 2008 MINAD	JULIO. 2014								PROMEDIO
				21. Julio	21. Julio							
N°	PARAMETRO FISICOQUIMICOS	Unid.		9:00am	9:30am	10:00am	10:30am	11:00am	11:30am	12:00am	12:30am	
				BIP - P – 01		BIP - P - 02		BIP - P - 03		BIP - P - 04		
				Superficie.	Profundidad 3m.	Superficie.	Profundidad 3m.	Superficie.	Profundidad 3m.	Superficie.	Profundidad 3m.	
				M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
1	Turbiedad	NTU	-----	2,10	2,12	2,10	2,12	2,10	2,12	2,10	2,12	2,12
2	Temperatura	°C	-----	18,8	18	19	18,4	18,5	18,2	20	18,5	18,675
3	Potencial Hidrogeno	pH	6,5 – 8,5	7,7	8,0	8,2	8,6	8,3	8,6	8,4	8,8	8,325
4	Conductividad Eléctrica	µS/Cm	< 1000 *	1455	1458	1462	1465	1464	1468	1425	1465	1457,75
5	Oxígeno Disuelto	mg/L	< 5	9,1	8,9	9	8,2	9,4	8,8	9,3	8,3	8,875
6	Solidos Disueltos Totales	mg/L	500	648	653	642	641	638	641	640	642	643,125
7	Solidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	14	18	15	19	13	14	12	14	14,875
8	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	< 5	34	47	35	50	43	53	48	51	45,125
9	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	500	74,3	107	75,5	113,5	95,5	118	106	112,2	100,25
10	Nitratos	mg/L	5	0,12	0,12	0,15	0,19	0,15	0,12	0,13	0,12	0,0125
11	Nitrógeno Amoniacal	mg/L	≤ 0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,01	0,03	0,0262
12	Fosforo total	mg/L	0,4	1,16	1,2	0,75	1,35	0,84	1,12	0,72	1,28	10,525
13	Sulfatos	mg/L	0,4	98	100	99	103	86	100	85	102	96,625
14	Dureza Total	mg/L	-----	379	389	376	385	378	385	378	386	382

*ECA-D.S. 015- 2015 MINAD

ANEXO 5.

Tabla 16. Resultados de los principales parámetros fisicoquímico del mes de agosto 2014 de la Bahía Interior de Puno.
Facultad de ingeniería Química de la UNA.

FECHA(S) Y HORA DE MONITOREO			ECA - Agua: Categoría 4 "Lagunas y Lagos" D.S. 002 – 2008 MINAD	AGOSTO. 2014								PROMEDIO
				25.Agosto 9:00am	25. Agosto 9:30am	25.Agosto 10:00am	25. Agosto 10:30am	25.Agosto 11:00am	25. Agosto 11:30am	25.Agosto 12:00am	25. Agosto 12:30am	
N°	PARAMETRO FISICOQUIMICOS	Unid		BIP - P - 01		BIP - P - 02		BIP - P - 03		BIP - P - 04		
				Superficie.	Profundidad 3m.	Superficie.	Profundidad 3m.	Superficie.	Profundidad 3m.	Superficie.	Profundidad 3m.	
				M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
1	Turbiedad	NTU	-----	2,10	2,12	2,10	2,12	2,10	2,12	2,10	2,12	2,12
2	Temperatura	°C	-----	19.5	18.2	19.3	17.4	19.2	18	19	18.4	18,625
3	Potencial Hidrogeno	pH	6,5 – 8,5	8.4	8.7	8.5	8.6	8.2	8.7	8,2	8.8	85,125
4	Conductividad Eléctrica	µS/C m	< 1000 *	1458	1465	1465	1471	1465	1483	1453	1468	1466
5	Oxígeno Disuelto	mg/L	< 5	10,2	9,55	10,78	9,89	10,97	8,75	9,98	9,58	9,962
6	Solidos Disueltos Totales	mg/L	500	662	668	661	663	662	665	660	664	663,125
7	Solidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	15	18	17	19	16	19	14	20	17,25
8	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	< 5	31	48	36	52	42	52	49	53	45,375
9	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	500	72	111,25	75,5	113,5	96,5	119,3	107	11,475	101,225
10	Nitratos	mg/L	5	0,13	0,13	0,14	0,18	0,13	0,19	0,10	0,12	0,17
11	Nitrógeno Amoniacal	mg/L	≤ 0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03
12	Fosforo total	mg/L	0,4	1,22	0,95	1,43	0,83	1,06	0,86	1,10	0,89	10,425
13	Sulfatos	mg/L	-----	107	111	105	112	106	114	105	117	109,5
14	Dureza Total	mg/L	-----	389	390	395,92	392	384,16	391	370,44	393	388,19

*ECA-D.S. 015- 2015 MINAD

ANEXO 6.

Tabla 17. Resultados de los principales parámetros fisicoquímico del mes de setiembre 2014 de la Bahía Interior de Puno.
Facultad de ingeniería Química de la UNA.

FECHA(S) Y HORA DE MONITOREO			ECA - Agua: Categoría 4 "Lagunas y Lagos" D.S. 002 – 2008 MINAD	SETIEMBRE. 2014								PROMEDIO
				29 Setiembre	29 Setiembre.	29 Setiembre.	29 Setiembre.	29 Setiembre.	29 Setiembre	29 Setiembre	29 Setiembre	
N°	PARAMETRO FISICOQUIMICOS	Unid		9:00am	9:30am	10:00am	10:30am	11:00am	11:30am	12:00am	12:30am	
				BIP - P – 01		BIP - P - 02		BIP - P - 03		BIP - P - 04		
				Superficie.	Profundidad 3m.	Superficie.	Profundidad 3m.	Superficie.	Profundidad 3m.	Superficie.	Profundidad 3m.	
				M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
1	Turbiedad	NTU	-----	2,10	2,12	2,10	2,12	2,10	2,12	2,10	2,12	2,12
2	Temperatura	°C	-----	20.8	19	20.7	19	20.6	19	20.5	19	19,825
3	Potencial Hidrogeno	pH	6,5 – 8,5	8.4	8.5	8.3	8.6	8.1	8.4	8,0	8.4	8,337
4	Conductividad Eléctrica	µS/Cm	< 1000 *	1452	1470	1454	1469	1455	1560	1440	1462	1470,25
5	Oxígeno Disuelto	mg/L	< 5	10,70	7,80	11,2	8,2	11,35	10,49	11,51	10,61	10,23
6	Solidos Disueltos Totales	mg/L	500	712	716	713	714	709	711	710	711	712
7	Solidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	18	21	20	24	18	22	18	20	20,125
8	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	< 5	36	47	25	49	46	52	47	48	43,75
9	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	500	78,5	109	49,5	106	98	112	104	108,5	956,875
10	Nitratos	mg/L	5	0,13	0,031	0,12	0,12	0,16	0,19	0,16	0,12	0,15
11	Nitrógeno Amoniacal	mg/L	≤ 0,02	0,02	0,03	0,01	0,03	0,03	0,05	0,02	0,04	0,0287
12	Fosforo total	mg/L	0,4	0,90	1,30	0,95	1,35	0,95	1,15	0,95	1,19	10,925
13	Sulfatos	mg/L	-----	117	126	118	125	119	123	118	134	122,5
14	Dureza Total	mg/L	-----	384	386	385	392	383	395	382	385	386,5

*ECA-D.S. 015- 2015 MINAD

ANEXO 7.

Tabla 18. Resultados de los principales parámetros fisicoquímico del mes de octubre 2014 de la Bahía Interior de Puno.
Facultad de ingeniería Química de la UNA.

FECHA(S) Y HORA DE MONITOREO			ECA - Agua: Categoría 4 "Lagunas y Lagos" D.S. 002 – 2008 MINAD	OCTUBRE. 2014								PROMEDIO
				27.Octubre 9:00am	27.Octubre 9:30am	27.Octubre 10:00am	27.Octubre 10:30am	27.Octubre 11:00am	27.Octubre 11:30am	27.Octubre 12:00am	27.Octubre 12:30am	
N°	PARAMETRO FISICOQUIMICOS	Unid		BIP - P - 01		BIP - P - 02		BIP - P - 03		BIP - P - 04		
				Superficie.	Profundidad 3m.	Superficie.	Profundidad 3m.	Superficie.	Profundidad 3m.	Superficie.	Profundidad 3m.	
				M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
1	Turbiedad	NTU	-----	2,10	2,12	2,10	2,12	2,10	2,12	2,10	2,12	2,12
2	Temperatura	°C	-----	21.7	20	21.8	20.6	22.5	20	21.18	20.2	20,99
3	Potencial Hidrogeno	pH	6,5 – 8,5	8.1	8.5	8,0	8,4	8,2	8,6	8,7	8,6	8,387
4	Conductividad Eléctrica	µS/C m	< 1000 *	1465	1485	1480	1475	1469	1483	1460	1490	1475,87
5	Oxígeno Disuelto	mg/L	< 5	7,49	6,45	7,74	6,45	7,78	6,5	7,5	6,65	7,07
6	Solidos Disueltos Totales	mg/L	500	724	707	718	722	720	725	717	723	719,5
7	Solidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	17	18	16	19	15	19	14	18	17
8	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	< 5	30	45	30	45	29	45	31	42	37,125
9	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	500	66	98	64	96,7	63	99	65	92	80,462
10	Nitratos	mg/L	5	0,18	0,19	0,16	0,18	0,15	0,17	0,11	0,12	0,13
11	Nitrógeno Amoniacal	mg/L	≤ 0,02	0,02	0,05	0,02	0,04	0,02	0,03	0,01	0,02	0,026
12	Fosforo total	mg/L	0,4	1,40	1,65	1,45	1,70	1,45	1,58	1,35	1,45	1,504
13	Sulfatos	mg/L	-----	118	130	118	135	119	136	118	135	126,125
14	Dureza Total	mg/L	-----	389	395	389	394	385	395	380	390	395,25

*ECA-D.S. 015- 2015 MINAD

ANEXO 8.

Tabla 19. Resultados de los principales parámetros fisicoquímico del mes de noviembre 2014 de la Bahía Interior de Puno. Facultad de ingeniería Química de la UNA.

FECHA(S) Y HORA DE MONITOREO			ECA - Agua: Categoría 4 "Lagunas y Lagos" D.S. 002 – 2008 MINAD	NOVIEMBRE. 2014								PROMEDIO
				24. Nov	24. Nov	24. Nov	24. Nov	24. Nov	24. Nov	24. Nov	24. Nov	
N°	PARAMETRO FISICOQUIMICOS	Unid		9:00am	9:30am	10:00am	10:30am	11:00am	11:30am	12:00am	12:30am	
				BIP - P - 01		BIP - P - 02		BIP - P - 03		BIP - P - 04		
				Superficie.	Profundidad 3m.	Superficie.	Profundidad 3m.	Superficie.	Profundidad 3m.	Superficie.	Profundidad 3m.	
				M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
1	Turbiedad	NTU		2,10	2,12	2,10	2,12	2,10	2,12	2,10	2,12	2,12
2	Temperatura	°C	-----	20.4	17.4	20.7	17.9	20	17.6	19.7	17.5	18,9
3	Potencial Hidrogeno	pH	6,5 – 8,5	8.1	8.8	8.2	8.6	8.2	8.2	8,0	8.5	8,33
4	Conductividad Eléctrica	µS/Cm	< 1000 *	1465	1480	1460	1470	1464	1480	1450	1475	1459,75
5	Oxígeno Disuelto	mg/L	< 5	7,96	5,8	7,78	5,66	8,9	5,74	8,15	6,96	7,118
6	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	720	729	723	729	723	724	720	724	724
7	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	15	17	14	18	13	19	15	19	16,25
8	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	< 5	27	42	28	40	25	39	29	40	33,75
9	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	500	60,75	94,5	63	90	56,25	87,75	65,25	90	75,937
10	Nitratos	mg/L	5	0,18	0,15	0,19	0,14	0,15	0,14	0,18	0,15	0,14
11	Nitrógeno Amoniacal	mg/L	≤ 0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	0,03	0,04	0,02	0,05	0,035
12	Fosforo total	mg/L	0,4	1,2	1,53	1,2	1,55	1,2	1,54	1,45	1,56	1,404
13	Sulfatos	mg/L		121	135	124	136	126	139	124	148	131,625
14	Dureza Total	mg/L		388	392	386	395	397	400	395	402	394,38

*FCA-D.S. 015- 2015 MINAD

ANEXO 9.

Tabla 20. Resultados de los parámetros microbiológicos en los meses de Julio y Agosto del 2014 de la Bahía Interior de Puno. Facultad de ciencias Biológicas de la UNA.

FECHA(S) Y HORA DE MONITOREO			ECA - Agua: Categoría 4 "Lagunas y Lagos" D.S. 002 – 2008 MINAD	JULIO. 2014				PROMEDIO
				22. Julio	22. Julio	22. Julio	22. Julio	
9:00am	10:00am	11:00am		12:00am				
BIP - P – 01	BIP - P - 02	BIP - P - 03		BIP - P - 04				
M1	M2	M3		M4				
N°	PARAMETRO MICROBIOLÓGICOS	Unid.						
1	Coliformes Totales	NMP/100mL	2000	6500	4800	5500	5000	5450
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1000	2500	2000	2100	2000	8600
3	Escherichia coli *	NMP/100mL	100	650	550	600	550	587

FECHA(S) Y HORA DE MONITOREO			ECA - Agua: Categoría 4 "Lagunas y Lagos" D.S. 002 – 2008 MINAD	AGOSTO. 2014				PROMEDIO
				26. Agosto	26. Agosto	26. Agosto	26. Agosto	
9:00am	10:00am	11:00am		12:00am				
BIP - P – 01	BIP - P - 02	BIP - P - 03		BIP - P - 04				
M1	M2	M3		M4				
N°	PARAMETRO MICROBIOLÓGICOS	Unid.						
1	Coliformes Totales	NMP/100mL	2000	6500	5000	5600	4800	5475
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1000	2400	2100	2100	1800	8400
3	Escherichia coli *	NMP/100mL	100	630	550	580	480	560

■ *ECA-D.S. 002- 2008 MINAD, **Categoría 3:** riesgo de vegetales y bebidas de animales Parámetros para bebidas de animales. *Escherichia coli* = 100NMP/mL

ANEXO 10.

Tabla 21. Resultados de los parámetros microbiológicos en los meses de setiembre y octubre del 2014 de la Bahía Interior de Puno. Facultad de ciencias Biológicas de la UNA.

FECHA(S) Y HORA DE MONITOREO			ECA - Agua: Categoría 4 "Lagunas y Lagos" D.S. 002 - 2008 MINAD	SETIEMBRE. 2014				PROMEDIO
				30. Setiembre 9:00am BIP - P - 01 M1	30. Setiembre 10:00am BIP - P - 02 M2	30. Setiembre 11:00am BIP - P - 03 M3	30. Setiembre 12:00am BIP - P - 04 M4	
N°	PARAMETRO MICROBIOLÓGICOS	Unid.						
1	Coliformes Totales	NMP/100mL	2000	6000	5000	5600	4500	5275
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1000	2300	2000	1900	1700	7900
3	Escherichia coli *	NMP/100mL	100	680	560	600	500	585

FECHA(S) Y HORA DE MONITOREO			ECA - Agua: Categoría 4 "Lagunas y Lagos" D.S. 002 - 2008 MINAD	OCTUBRE. 2014				PROMEDIO
				28. Octubre 9:00am BIP - P - 01 M1	28. Octubre 10:00am BIP - P - 02 M2	28. Octubre 11:00am BIP - P - 03 M3	28. Octubre 12:00am BIP - P - 04 M4	
N°	PARAMETRO MICROBIOLÓGICOS	Unid.						
1	Coliformes Totales	NMP/100mL	2000	6300	5300	6000	4800	5600
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1000	2200	2000	2000	1900	8100
3	Escherichia coli *	NMP/100mL	100	650	530	570	450	550

*ECA-D.S. 002- 2008 MINAD, **Categoría 3:** riesgo de vegetales y bebidas de animales Parámetros para bebidas de animales.
Escherichia coli = 100NMP/mL

ANEXO 11.

Tabla 22. Resultados de los parámetros microbiológicos en los mes de noviembre del 2014 de la Bahía Interior de Puno. Facultad de ciencias Biológicas de la UNA.

FECHA(S) Y HORA DE MONITOREO			ECA - Agua: Categoría 4 "Lagunas y Lagos" D.S. 002 - 2008 MINAD	NOVIEMBRE. 2014				PROMEDIO
				25 Noviembre	25 Noviembre	25 Noviembre	25 Noviembre	
9:00am	10:00am	11:00am		12:00am				
BIP - P - 01	BIP - P - 02	BIP - P - 03		BIP - P - 04				
N°	PARAMETRO MICROBIOLÓGICOS	Unid.	M1	M2	M3	M4		
1	Coliformes Totales	NMP/100mL	2000	6500	5500	6300	4500	5700
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1000	2100	2000	2000	1700	7800
3	Escherichia coli *	NMP/100mL	100	620	500	560	440	530

■ *ECA-D.S. 002- 2008 MINAD, **Categoría 3:** riesgo de vegetales y bebidas de animales Parámetros para bebidas de animales.
Escherichia coli = 100NMP/mL

ANEXO 12.

Tabla 24. Comparativo de resultados fisicoquímicos del sistema de aireación, medio con los no aireadores del ANA, UNA Puno y otros autores.

Parámetros Físicoquímicos de la Bahía Interior de Puno	Unidades	ECA - AGUA CATEGORIA 4 "Lagunas y Lagos" D.S. 002 - 2008	Área Aireada (Propia)	UNA – PUNO informe de las muerte de peces Bahía Interior de Puno 2012. ^{69,70}	Autoridad Nacional del agua. (ANA) 2010 ²³	Facultad de Ingeniería Química. Donaires T ³²	Facultad de Ciencias Biológicas. Beltrán D. ²⁴
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥ 5	6,5 – 11,4	3,30	5,85	5,68	6,62
Potencial H.	pH	6.5 – 8.5	8,12 – 8,7	7,40	8,91	9,15	9,43
Temperatura	°C	-----	18 - 21	18,5	17,6	15,51	15,68
C. Eléctrica	µs/Cm	< 1000	1471,7	1742,0	1725	-----	1666.95
Turbidez	NTU	-----	2,12	2,18	NR	11,00	N.R.
DBO₅	mgO ₂ /mL	< 5	27,25 – 50,25	35,0	5,64	N.R	N.R
DQO	mgO ₂ /mL	-----	90,6187	202,66	21,90	N.R.	N.R.
S.S. totales	mgO ₂ /mL	≤ 25	17,025	1255	5,15	N.R	N.R
Fósforo total	mgP/mL	0.4	1,2162	NR	0,081	0,373	N.R
N. amoniacal	mgN/mL	< 0.02	0,02	NR	0,561	0,866	N.R
Nitritos	mgN/mL	5	-----	NR	0,083	0,044	0,07
Nitratos	mgN/mL	5	0,14	NR	0,245	N.R	N.R
C. totales	NMP/100mL	2000	6500	N.R.	N.R	N.R	2500
C. termotolerantes	NMP/100mL	1000	2500	N.R.	N.R	N.R	1500
Escherichia coli*	NMP/100mL	100	680	N.R.	N.R	N.R	-----

*E. coli: Categoría 3: riego de riego vegetales y bebidas de animales; parámetros para bebidas animales = 100mL.

NR: Ninguna Referencia.

ANEXO 13.

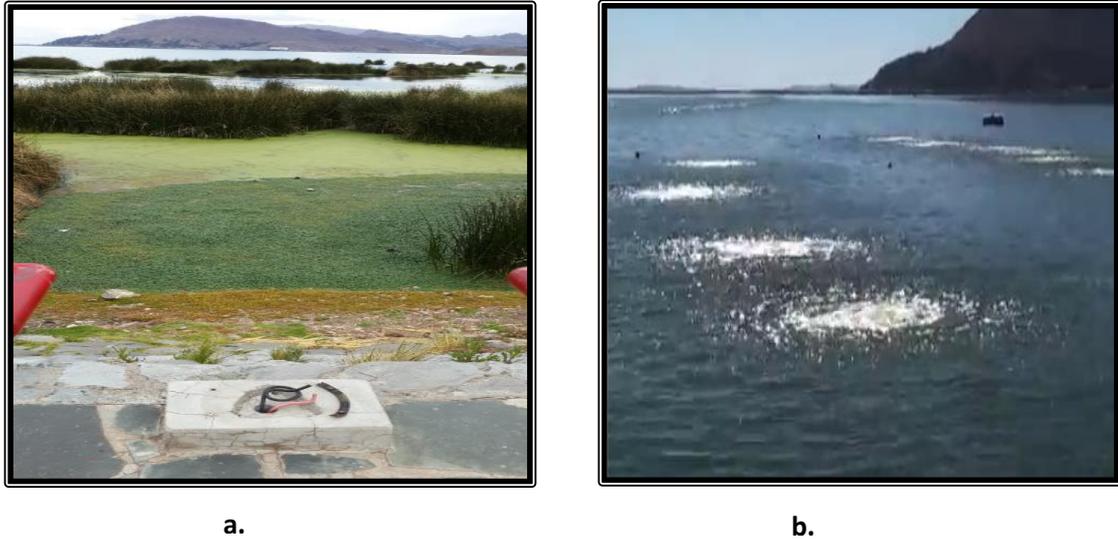


Figura 28. Zona de muestreo de la Bahía Interior de Puno con sistema de aireación.

- a) Bahía Interior de Puno.
- b) Zona de muestreo donde se tomó la muestra aireada.



Figura 29. Eutroficación de la Bahía Interior de Puno.

- a) Bahía Interior de Puno.
- b) Eutroficación cerca al mueble de Bahía Interior de Puno.

ANEXO 14.



a .



b.



c.



d.

Figura 30. Zona de aireación de la Bahía Interior de Puno. (a, b, c, d)

ANEXO 15.



a.



b.



c.



d.

Figura 31. Zona de muestreo de la Bahía Interior de Puno, para el análisis fisicoquímicos. (a, b, c, d)

ANEXO 16.

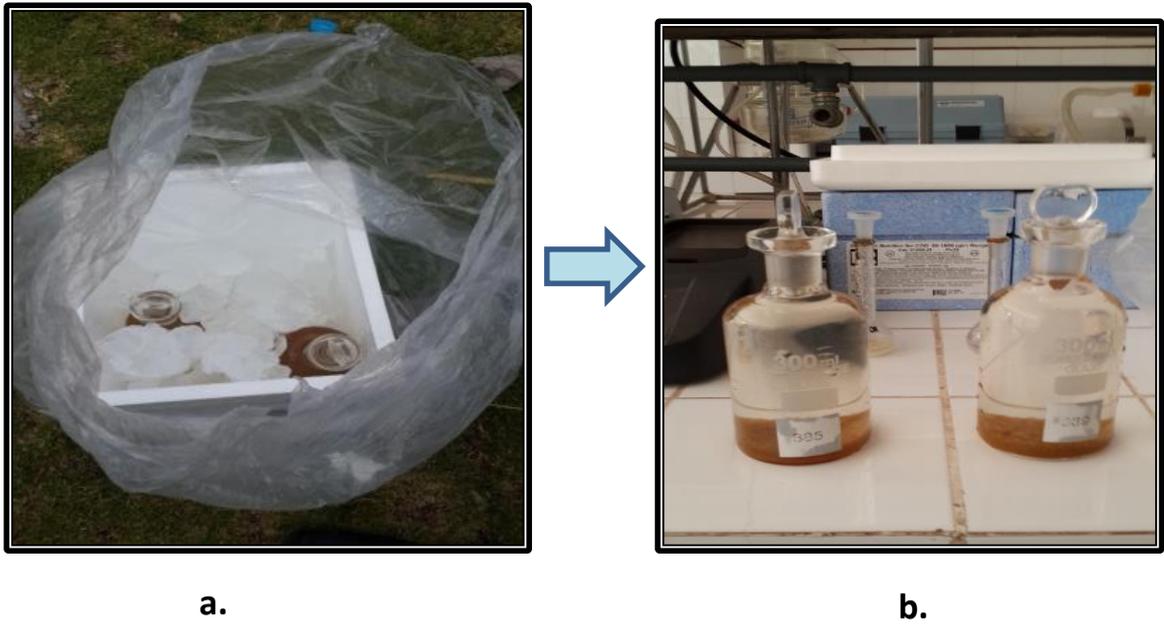


Figura 32. Conservación de muestra en hielo y entrega de muestras en el laboratorio de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Altiplano de Puno. (a y b)

ANEXO 17.



a.



b.

Figura 33. Desembocadura de alcantarillado de la Bahía Interior de Puno. (a y b)



a.



b.

Figura 34. Desembocadura de alcantarillado frontis de la Universidad Altiplano Puno. (a y b)

ANEXO 18.



a.

b.



c.

Figura 35. Zona de muestreo de la Bahía Interior de Puno para el análisis microbiológico de coliformes termotolerantes, totales y fecales (a, b, c).