



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

INDICE DE LA CALIDAD DE AGUA Y ESTADO TROFICO DE LA LAGUNA

HUAYPO CUSCO

Línea de investigación:

Biodiversidad, ecología y conservación

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo

Sostenible

Autor:

Chevarria del Pino, Beltran Rodrigo

Asesor:

Wilson Huamanchumo, Martin Hamilton

ORCID: 0000-0003-3931-7884

Jurado:

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

Ccasani Allende, Julián

Sánchez Ortiz, Franklin Humberto

Lima - Perú

2023



Reporte de Análisis de Similitud

Archivo:

[1A_CHEVARRIA DEL PINO BELTRAN RODRIGO DOCTORADO 2023.docx](#)

Fecha del Análisis:

6/01/2023

Analizado por:

Astete Llerena, Johnny Tomas

Correo del analista:

jastete@unfv.edu.pe

Porcentaje:

3 %

Título:

“INDICE DE LA CALIDAD DE AGUA Y ESTADO TROFICO DE LA LAGUNA HUAYPOCUSCO”

Enlace:

<https://secure.arkund.com/old/view/148010998-137928-423738#DcYxCgIxElbRu6T+kMz8EzPZq4iFLCop3GZL8e4GXvG+5XOW7VYxbHG547jwwFcTH6giQ46EAjXUURKEEyJWGpG00+Wc72O+5v449mfZ6qV6qubo1ltx9Xy9wc=>



DRA. MIRIAM LILIANA FLORES CORONADO
JEFA DE GRADOS Y GESTIÓN DEL EGRESADO



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO
INDICE DE LA CALIDAD DE AGUA Y ESTADO TROFICO DE LA LAGUNA
HUAYPO-CUSCO

Línea de investigación:

Biodiversidad, ecología y conservación

Tesis para optar el grado académico de:

Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

Autor

Chevarria del Pino, Beltran Rodrigo

Asesor

Wilson Huamanchumo, Martin Hamilton

ORCID-0000-0003-3931-7884

Jurado:

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

Ccasani Allende, Julián

Sánchez Ortiz, Franklin Humberto

Lima – Perú

2023

DEDICATORIA

Mi profundo y necesario agradecimiento a Dios, quien es mi guía espiritual en los sendos caminos de existencia, quien ha permitido lograr mi desarrollo personal y profesional. A los Docentes por brindarnos las herramientas académicas necesarias para poder culminar el presente trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO

Mi especial reconocimiento para los distinguidos

Miembros del Jurado:

Dr. Zambrano Cabanillas, Abel Walter.

Dr. Ccasani Allende, Julián.

Dr. Sánchez Ortiz Franklin Humberto.

Por su criterio objetivo en la evaluación de este trabajo de investigación.

Asimismo, mi reconocimiento para mi asesor:

Dr. Wilson Huamanchumo Martin Hamilton

Por las sugerencias recibidas para el mejoramiento de este trabajo.

Muchas gracias para todos.

INDICE

PORTADA.....	i
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
INDICE.....	I
V	
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
RESUMEN.....	XI
V	
ABSTRACT.....	XV
I. INTRODUCCIÓN.....	
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Descripción del problema	4
1.3. Formulación del problema	10
1.3.1. Problema general	10

1.3.2. Problemas específicos	10
1.4. Antecedentes	10
1.4.1. Antecedentes internacionales	10
1.4.2. Antecedentes nacionales	13
1.5. Justificación de la Investigación	14
1.6. Limitaciones de la investigación.....	18
1.7. Objetivos	21
1.7.1. Objetivo general.....	21
1.7.2. Objetivos específicos	22
1.8. Hipótesis	22
1.8.1. Hipótesis general.....	22
1.8.2. Hipótesis específicas	22
II. MARCO TEÓRICO	23
2.1. Bases Teóricas	23
2.1.1. Investigaciones internacionales de teorías pertinentes.	23
2.1.2. Investigaciones nacionales de teorías importantes	33
2.2. Marco conceptual.....	50
III. MÉTODO.....	54
3.1. Tipo de investigación.....	54

3.2. Población y Muestra	56
3.3. Operacionalización de variables	57
3.4. Instrumento	58
3.5. Procedimiento	73
3.6. Análisis de datos	74
3.6. Análisis de datos	90
3.7. Consideraciones éticas	91
IV.RESULTADOS	92
V.DISCUSIÓN DE RESULTADOS	148
VI.CONCLUSIONES	177
VII.RECOMENDACIONES	178
VIII.REFERENCIAS.....	180
IX.ANEXOS	190
Anexo A. Matriz de Consistencia	191
Anexo B. Carta de validación de instrumentos.....	192
Anexo C. Ficha de validación de instrumentos	193

Anexo D. Normativa peruana sobre aguas 198

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Usos del agua según su ica	36
Tabla 2 Escala cromática referida a la calificación cualitativa y cuantitativa del ica.....	37
Tabla 3 Datos morfométricos de huaypo	62
Tabla 4 Datos de la estación meteorológica de chus-piuray (1996-2016).....	64
Tabla 5 Vegetación sumergida.....	66
Tabla 6 Vegetación flotante	67
Tabla 7 Vegetación emergente.....	67
Tabla 8 Mamíferos	67
Tabla 9 Aaves	68
Tabla 10 Anfibios	69
Tabla 11 Peces	69
Tabla 12 Operacionalización de variables	57
Tabla 14 Índice de la calidad de agua (ica).....	75
Tabla 15 Escala del índice de calidad del agua en función a sus diferentes usos.....	76
Tabla 16 WI. pesos correspondientes al parámetro i-ésimo en función de su importancia....	77
Tabla 17 Calidad del agua potable según el minam	83
Tabla 18 Valores límites establecidos por la ocde para la clasificación trófica	84
Tabla 19 Clasificación del índice de eutrofización (tsi) propuesto por carlson.....	84
Tabla 20 Relaciones de los tsi y condiciones indicativas de éstas.....	85
Tabla 21 Fórmulas para estimar el estado trófico aplicando los indicadores de eutrofia	86
Tabla 22 Escala de valores del estado trófico de carlson en sistemas lénticos.....	87
Tabla 23 Resultados del primer muestreo 15 de octubre	93

Tabla 24 Resultados del segundo muestreo 15 de enero	93
Tabla 25 Resultados del tercer muestreo 15 de abril	94
Tabla 26 Resultados del cuarto muestreo 15 de julio	94
Tabla 27 Niveles de oxígeno disuelto expresados en términos de saturación relacionados con la calidad del agua.....	98
Tabla 28 Interpretación de los resultados de dbo_5 en aguas superficiales	105
Tabla 29 Resultados obtenidos de diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos	116
Tabla 30 Resultados del índice calidad de agua (ica) por estaciones del primer muestreo.	117
Tabla 31 Resultados del índice calidad de agua (icg) por estaciones del segundo muestreo	118
Tabla 32 Resultados del índice de calidad de agua (icg) por puntos del tercer muestreo	119
Tabla 33 Resultados del índice de calidad de agua (icg) por puntos del cuarto muestreo. ..	120
Tabla 34 Resultados del índice de calidad de agua (icg) por puntos de muestreo y épocas.	121
Tabla 35 Resultados ica-ideam por puntos de muestreo y épocas climáticas.....	122
Tabla 36 Calificación de las aguas según el uso potencial requerido.....	123
Tabla 37 El (q_i) en función del oxígeno expresado en % de saturación	125
Tabla 38 El (q_i) en función de los coliformes fecales	126
Tabla 39 El (q_i) en función de la dbo_5	127
Tabla 40 El (q_i) en función de ph	127
Tabla 41 El (q_i) en función de nitratos	128
Tabla 42 El (q_i) en función de fosfatos.....	129
Tabla 43 El (q_i) en función de la turbidez	129
Tabla 44 El (q_i) en función de los sólidos totales.....	130
Tabla 45 El (q_i) en función del cambio de temperatura.....	131
Tabla 46 El (q_i) en función a los diferentes parámetros del ica.....	132

Tabla 47	Resultados obtenidos de diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos	133
Tabla 48	Tsi de cada parámetro y el índice de carlson (datos de campo por meses)	154
Tabla 49	Datos de campo por meses.....	154
Tabla 50	Datos de campo por estaciones de muestreo	155
Tabla 51	Tsi para fósforo por meses.....	155
Tabla 52	Tsi para fósforo por estaciones de muestreo.....	155
Tabla 53	Datos de campo por meses.....	156
Tabla 54	Datos de campo por estaciones de muestreo	156
Tabla 55	Tsi para clorofila por meses	156
Tabla 56	Tsi por estaciones de muestreo	157
Tabla 57	Datos de campo por meses.....	157
Tabla 58	Datos de campo por estaciones de muestreo	157
Tabla 59	Tsi transparencia por meses	158
Tabla 60	Tsi por estaciones de muestreo	158
Tabla 61	Tsi promedio para cada parámetro y tsi promedio de carlson	159
Tabla 62	Tsi promedio de carlson para cada época de muestreo.....	159
Tabla 63	Tsi promedio de carlson para cada estación de muestreo	160
Tabla 64	Clasificación del estado de eutrofía (tsi de carlson)	160
Tabla 65	Índice del estado trófico (tsi) de la laguna de huaypo	161
Tabla 66	Determinación del estado trófico de la laguna de huaypo	161
Tabla 67	Estadísticos descriptivos de los parámetros de eutrofización de las estaciones de muestreo	165
Tabla 68	Estadísticos descriptivos de los parámetros de eutrofización por meses.....	167
Tabla 69	Estadísticos descriptivos de ica por estaciones.....	170

Tabla 70 Estadísticos descriptivos por meses de ica	174
Tabla 71 Estadísticos descriptivos promedio de la laguna de huaypo.....	154
Tabla 73 Estadísticos descriptivos promedio de valores de ica.....	158
Tabla 74 Análisis de varianza de eutrofización por estaciones de muestreo y meses	159
Tabla 75 Prueba de tukey-b para los parámetros por meses	161
Tabla 76 Análisis de varianza de los valores de ica por meses y estaciones de muestreo....	166
Tabla 77 Prueba de tuckey – b para los diferentes parámetros que tuvieron diferencias estadísticas	168
Tabla 78 Componentes principales de los parámetros de ica	175

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 El proceso de eutrofización	7
Figura 2 Factores que intervienen en la formación de sedimentos (prescott).....	¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.	
Figura 3 Causas de la eutrofización cultural.....	27
Figura 4 Proceso de eutrofización de la lluvia y atmosfera	30
Figura 5 Escala referida a los usos del agua según el índice de calidad del agua	38
Figura 6 Ubicación de la laguna de huaypo.....	24
Figura 7 Batimetría de la laguna de huaypo	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Figura 8 Estación meteorológica	64
Figura 9 Expresión gráfica de los parámetros del ICA	72
Figura 10 Expresión gráfica de los parámetros del ica.....	¡ERROR! MARCADOR NO
DEFINIDO.	
Figura 11 Variación del oxígeno disuelto (mg de od/l)	95
Figura 12 Variación del oxígeno disuelto en términos de saturación.....	97
Figura 13 Variación de coliformes totales (nmp/100ml).....	98
Figura 14 Variación del ph en las diferentes estaciones de muestreo.....	100
Figura 15 Variación del db _{o5} en las diferentes estaciones de muestreo	102
Figura 16 Variación del no ₃ en las diferentes estaciones de muestreo	106
Figura 17 Variación del po ₄ en las diferentes estaciones de muestreo	108
Figura 18 Variación de la turbidez en las diferentes estaciones de muestreo.....	110
Figura 19 Variación de los sólidos totales (std) en las diferentes estaciones de muestreo...	112
Figura 20 Variación de la temperatura en las diferentes estaciones de muestreo.....	114

Figura 21 Índice la calidad del agua (ica) por estaciones del primer muestreo	117
Figura 22 Índice la calidad del agua (ica) por estaciones del segundo muestreo	118
Figura 23 Índice la calidad del agua (ica) por estaciones del tercer muestreo	119
Figura 24 Índice la calidad del agua (ica) por estaciones del cuarto muestreo.....	120
Figura 25 Obtención del % de saturación del oxígeno	135
Figura 26 Valoración de calidad de agua función del % saturación del oxígeno disuelto. .	136
Figura 27 Valoración de la calidad de agua en función de coliformes totales	137
Figura 28 Valoración de la calidad de agua en función de la dbo5	139
Figura 29 Valoración de la calidad de agua en función del ph.....	140
Figura 30 Valoración de la calidad de agua en función del nitrógeno.....	141
Figura 31 Valoración de la calidad de agua en función del fósforo	142
Figura 32 Valoración de la calidad de agua en función de la turbidez	143
Figura 33 Valoración de la calidad de agua en función del residuo total	145
Figura 34 Valoración de la calidad de agua en función de la temperatura	146

RESUMEN

La investigación, fue realizada en la laguna de Huaypo ubicada en las provincias de Anta y Urubamba-cuzco, con el fin de conocer si la alteración y/o incremento de los diferentes factores físicos, químicos y biológicos, generados por las actividades antrópicas, que inciden en el proceso afectan la calidad del agua. Para determinar el Índice de Calidad de Agua – ICA , se utilizaran dos métodos, el primero es el Método Grafico propuesto por Brown (1970) y el otro es el Método Analítico, propuesto por Ott (1978), de las cuales se evaluaron nueve parámetros: Oxígeno disuelto, coliformes termotolerantes, pH, Demanda bioquímica (DBO), nitratos (NO₃), fosfatos (PO₄), turbidez, sólidos disueltos totales (STD) y el cambio de temperatura. Para determinar el Índice del Estado trófico de Carlson (TSI) se consideraron tres indicadores con determinación de los índices de Fósforo total (PT), clorofila α (Cl α) y Transparencia del disco Sechhi (DS). Respecto al índice de calidad del agua (ICA) propuesto por Brown, las aguas de la laguna de Huaypo son consideradas como aguas buenas o aceptables, para todas las épocas de muestreo y estaciones. A excepción de la estación de muestreo 4 que en la época de secas presenta un valor bajo y es considerada como regular o mediana. Se sugiere realizar monitoreos continuos en los estudios de la Calidad del agua y del proceso de Eutrofización, para brindar información con el fin de generar bases para una adecuada gestión de los recursos hídricos.

Palabras clave: aguas superficiales, calidad del agua, estructuras y mecanismos de medición y control, recursos hídricos

ABSTRACT

The investigation was carried out in the Huaypo lagoon located in the provinces of Anta and Urubamba-Cuzco, in order to know if the alteration and/or increase of the different physical, chemical and biological factors, generated by the anthropic activities, that affect the process affect the quality of the water. To determine the Water Quality Index - ICA, two methods will be used, the first is the Graphic Method proposed by Brown (1970) and the other is the Analytical Method, proposed by Ott (1978), of which nine parameters were evaluated. : Dissolved oxygen, thermotolerant coliforms, pH, Biochemical Demand (BOD), nitrates (NO₃), phosphates (PO₄), turbidity, total dissolved solids (TDS) and temperature change. To determine the Carlson Trophic Status Index (TSI), three indicators were considered with determination of the indexes of Total Phosphorus (PT), Chlorophyll α (Cl α) and Secchi Disc Transparency (DS). Regarding the water quality index (ICA) proposed by Brown, the waters of the Huaypo lagoon are considered as good or acceptable waters, for all sampling times and seasons. With the exception of sampling station 4, which in the dry season has a low value and is considered regular or medium. It is suggested to carry out continuous monitoring in the studies of the Quality of the water and the Eutrophication process, to provide information in order to generate bases for an adequate management of water resources.

Keywords: surface waters, water quality, measurement and control structures and mechanisms, water resource

I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales más abundantes e importantes de la vida, y su calidad es un factor que afecta directamente la conservación de los ecosistemas y el bienestar humano, dependiendo de su uso final. El crecimiento de la población y la actividad industrial derivada de la minería, los hidrocarburos, la agricultura, la pesca, los servicios de salud, etc., han sido factores clave en la disminución de la calidad del agua a nivel nacional e internacional y por consiguiente ha contribuido al cambio climático.

Por otro lado, los cambios de las propiedades fisicoquímicas (parámetros inorgánicos) de la calidad del agua no solo se ven afectados por los factores humanos antes mencionados, sino también por la interacción de factores naturales o el efecto integral de varios procesos.

La calidad del agua está determinada por un conjunto de variables físicas, químicas y biológicas que permiten definir en términos cuantitativos su condición en función de los usos específicos del recurso, según valores guía emanados de organismos competentes.

A nivel mundial, los diferentes ecosistemas acuáticos han sido alterados en sus diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos, mostrando una declinación en su salud del 50% entre 1975 y 2021, siendo las principales amenazas los disturbios ocasionados por prácticas inadecuadas de usos de la tierra (agricultura) y la alteración de los flujos hidrológicos naturales

En las últimas décadas, no queda duda de que los cambios que se han presentado en nuestro planeta han sido provocados esencialmente por el hombre. Se sabe con certeza que las diferentes actividades humanas están cambiando el uso del suelo, el hábitat, la química de la

atmósfera terrestre y del agua, el balance de los ciclos biogeoquímicos y la diversidad de la vida en la Tierra (Valiela et al., 1992)

La escorrentía de las tierras agrícolas, las actividades de engorda de animales, áreas urbanas, el vertido de aguas residuales, la precipitación atmosférica de compuestos liberados durante la ignición de combustibles fósiles, son actividades que añaden nutrientes al agua dulce (Valiela et al., 1992)

El progresivo deterioro de los recursos hídricos, ha sido y será tema de preocupación tanto a nivel nacional como internacional, debido a que los procesos de eutrofización, determinan una limitada disponibilidad de este valioso recurso para las diversas actividades antrópicas y así mismo para el adecuado desarrollo de las comunidades bióticas en los diferentes ecosistemas acuáticos epicontinentales, ya sean de carácter lótico o léntico.

Este fenómeno de eutrofización se define como un proceso que deteriora la calidad de los recursos y surge del enriquecimiento de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo), el uso de la regulación y los grandes impactos ecológicos, de salud y económicos a diferentes escalas.

La contaminación o polución es cualquier modificación que cause indirecta o directamente un cambio en la calidad del recurso por acción humana, en el lugar, en el momento y concentración no deseada.

La calidad del agua está fuertemente influenciada por condiciones y eventos que ocurren en el área de la cuenca, tales como el tipo de suelo dominante, los usos de la tierra y las prácticas agrícolas, entre otros (Chapman y Kimstach, 1996).

El mantenimiento de la calidad del agua y la preservación de sus usos, requiere del conocimiento de su variabilidad temporal y espacial para poder caracterizar la situación ambiental reinante y su posible evolución.

Las características de los sistemas acuáticos reflejan no sólo el impacto de la polución a escala local y regional, sino también el cambio global del ambiente, además de ser uno de los imperativos del desarrollo sustentable (Meybeck et al., 1996).

La laguna de Huaypo, se encuentra influenciada por las diferentes actividades antrópicas que se van incrementando en cantidad e intensidad cada año, como: la agricultura que emplea agroquímicos, la actividad pecuaria, la erosión del suelo, la actividad minera no metálica, la descarga de aguas residuales domésticas no tratadas, la actividad pesquera y los provenientes de actividades artesanales. Como resultado, la carga de materia orgánica e inorgánica es generalmente alta, lo que provoca una alteración en el normal funcionamiento del ecosistema, generando una serie de cambios no necesariamente positivos, tales como: la pérdida de los usos potenciales del agua, modificación de las condiciones organolépticas como el color, olor y sabor desagradable, trastornos en la salud humana y animal, disminución de la biodiversidad, reducción de la penetración de la luz que afecta directamente al proceso clorofiliano, mortandad de peces, aumentos en las poblaciones de microorganismos patógenos y vectores de enfermedades, informándose en ocasiones importantes florecimientos de cianobacterias potencialmente tóxicas para la salud humana y animal. Todos estos factores al ser dispuestos en los cuerpos de agua, alteran el proceso de eutrofización y en la calidad del agua, afectando notoriamente a los diferentes usos que pueden emplearse.

1.1.Planteamiento del problema

El agua es un recurso importante e insustituible que potencia la vida en la Tierra. Su contaminación es un grave problema, afectando y reduciendo el suministro de agua a la población. Este recurso natural es vital para la vida humana y es la parte más vulnerable del medio ambiente. La descontrolada explosión demográfica, así como el crecimiento acelerado del ritmo de la industrialización a nivel mundial, han derivado en una mayor demanda de agua dulce en el mundo, han contribuido de manera negativa en los niveles de la calidad de agua y en el proceso de eutrofización en muchos ecosistemas acuáticos. Por esta razón, es imperativo diseñar y utilizar herramientas que permitan ponderar la calidad del agua en un tiempo dado. Por ejemplo, el desarrollo del índice de Calidad de Agua (ICA) es una herramienta que permite diagnosticar la calidad de este recurso natural, el (TSI) permite diagnosticar el proceso de eutrofización.

1.2.Descripción del problema

La calidad del agua está relacionada con su uso previsto o actividad. este La contaminación del agua puede producirse por diferentes medios, lo que puede dar lugar a diferentes efectos sobre ellos, por ejemplo, sólidos en suspensión, Principalmente por arrastre de suelo, minerales o actividad industrial, resultando en Se redujo la vida animal y vegetal más o menos vital. compuesto Las sustancias inorgánicas, como los ácidos y las sales metálicas, provocan efectos tóxicos más o menos pronunciados Sobre la gente y la vida silvestre. Nutrientes, principalmente compuestos nitrogenados y fósforo, lo que lleva a un crecimiento excesivo de la vida conocida como plantas acuáticas Compuestos orgánicos tóxicos en aguas residuales industriales eutróficas y familia, amenaza la pesca y la vida silvestre, y es dañino

para los humanos ingerir. Los contaminantes biológicos tales como bacterias o virus provenientes de residuos humanos y animales provocan pérdidas observables en la industria pesquera y del marisco y disminuyen el uso recreativo de las aguas.

El progresivo deterioro de los recursos hídricos, ha sido y será tema de preocupación tanto a nivel nacional como internacional, debido a que los procesos de eutrofización, determinan una limitada disponibilidad de este valioso recurso para las diversas actividades humanas y así mismo para el adecuado desarrollo de las comunidades bióticas en los diferentes ecosistemas acuáticos epicontinentales, ya sean de carácter lótico o léntico.

El crecimiento demográfico y las actividades económicas asentadas alrededor de la laguna de Huaypo, vienen afectando la calidad del ecosistema lacustre, ya sea por el uso indiscriminado del agua, la producción y manejo inadecuado de residuos, aguas residuales y residuos sólidos y aquellos procedentes de pasivos ambientales, agricultura, ganadería, entre otros; que, al ser dispuestos en los cuerpos de agua, aceleran el proceso de eutrofización e inciden negativamente en la calidad del agua, afectando notoriamente a los diferentes usos que pueden emplearse.

Este fenómeno, definido como un proceso de deterioro de la calidad del recurso, es ocasionado por el enriquecimiento en nitrógeno y fósforo principalmente, condicionando su aprovechamiento y mayores impactos ecológicos, sanitarios y económicos a diferentes niveles.

La palabra eutrofización se usa principalmente para hablar de este enriquecimiento en los cuerpos de agua, provocado por las diferentes actividades antrópicas, tales como:

- **Agricultura:** se emplean fertilizantes en base a nitrógeno, fósforo y potasio principalmente para abonar los cultivos, filtrándose en la tierra por percolación para llegar a las aguas subterráneas y a los ríos y lagunas por escorrentía.

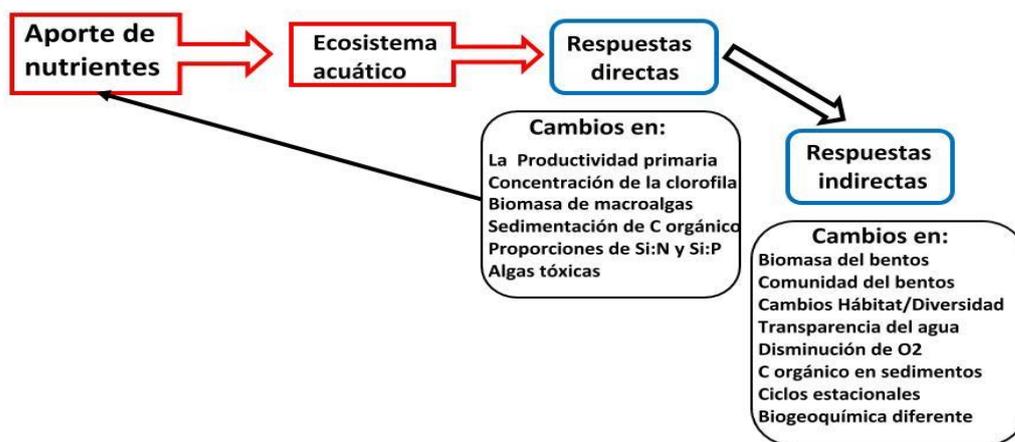
- **Ganadería:** los excrementos de los animales son ricos en nutrientes, sobre todo en nitratos y fosfatos. Llegando a los diferentes ecosistemas acuáticos pueden terminar contaminando las aguas.
- **Aguas servidas:** que contienen principalmente residuos orgánicos y detergentes con fosfatos.
- **Actividad industrial:** se pueden producir vertidos tanto de productos nitrogenados como fosfatados entre otros muchos tóxicos.
- **Contaminación atmosférica:** las emisiones de óxidos de nitrógeno y azufre reaccionan con el agua en la atmósfera produciendo finalmente HNO_3 y H_2SO_4 (lluvia ácida), llevando “nutrientes” de este modo a las masas de aguas.
- **Actividad forestal:** los residuos forestales que se dejan en las aguas, se degradan aportándole todo el nitrógeno y el resto de nutrientes que tenía la planta.
- **Eutrofización:** viene del griego y está formado por el prefijo (eu): bien, bueno; añadido a (trofé, és): alimentación, nutrición; el infijo (isis): formación, operación; y el sufijo (ción): resultado de la acción; su significado literal es “resultado o efecto de una buena alimentación”.

Durante mucho tiempo se ha considerado eutrofización un proceso resultante de la descarga normal de nutrientes, sedimentos y materiales alóctonos en sistemas acuáticos por millones de años en los que un lago, por ejemplo, que los recibió se transformó con el tiempo en un pantano que, una vez consolidado, se convirtió en un sistema terrestre. Este proceso tiene lugar durante cientos de miles y es irreversible. Actualmente hablamos de "eutrofización

cultural" o "eutrofización", en referencia a aquella que está asociada a la intervención del ser humano que puede desarrollarse en escalas temporales más cortas.

Figura 1

El proceso de Eutrofización



Nota. Fuente: Elaboración propia

El proceso de eutrofización, se lleva a cabo naturalmente en la etapa de vida de un lago en un periodo de quinientos a diez mil años (eutrofización natural). Sin embargo, las diferentes actividades antrópicas han acelerado su velocidad y su grado provocando que ríos, arroyos, lagos y océanos alrededor del mundo se transformen de oligotróficos a mesotróficos, eutróficos y finalmente hipereutróficos en décadas (eutrofización cultural), razones por la cual los procesos de eutrofización son considerados como un problema de contaminación a nivel global desde los inicios del siglo XX.

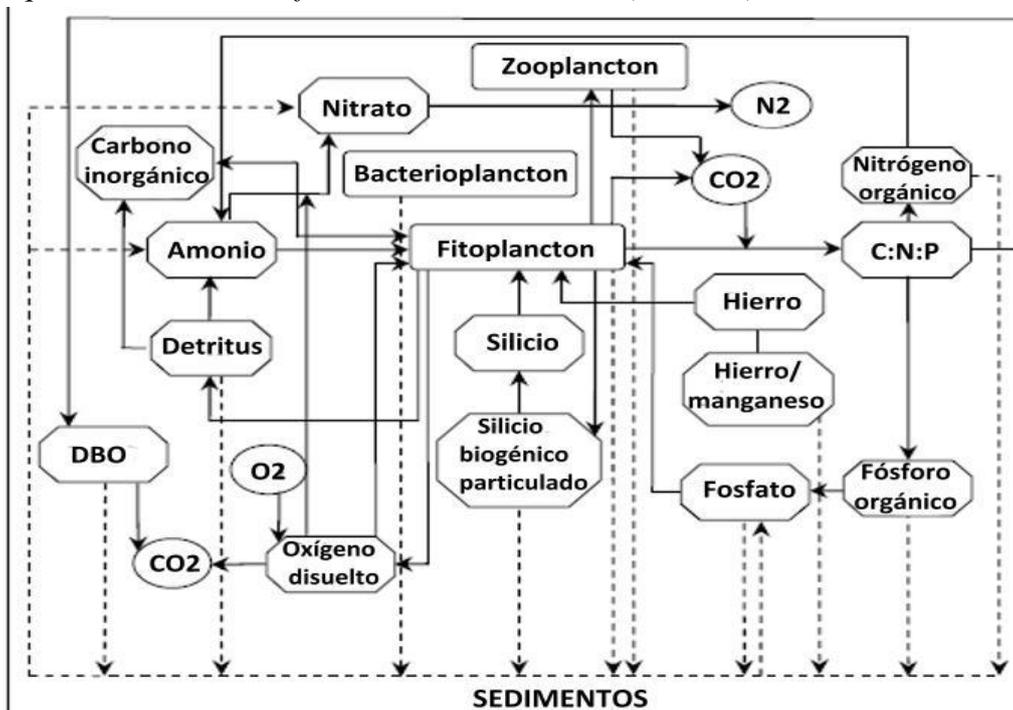
En el 2008 la Fundación del Comité Internacional de Ambientes de Lagos (ILEC) reportó que el 54% de los lagos asiáticos, 53% de los europeos, el 48% de los América del Norte, el 41% de los sudamericanos y el 28% se encuentran en estado eutrófico. Las zonas

mueras del océano que hoy en día conocemos como gran parte del Golfo de México, el mar Báltico, el mar Negro, el mar Kattegat y el mar Oriental de China son producto de un proceso eutrófico.

Las principales fuentes de nutrientes de los ecosistemas acuáticos son las aguas de origen residual como los detergentes, las descargas industriales, la escorrentía de la agricultura, la ganadería, actividades pesqueras, las obras de construcción, y las áreas urbanas. Estas actividades incrementan el flujo de nutrientes orgánicos e inorgánicos en ecosistemas terrestres, acuáticos, promoviendo la eutrofización en los diferentes ecosistemas acuáticos. La eutrofización no solo afecta las características biológicas y ecológicas del sistema acuático, sino que también produce graves pérdidas económicas ya que puede causar hipoxia y alterar la red alimentaria en las zonas amenazadas (Scholten, 2005).

Tabla 1

Factores que intervienen en la formación de sedimentos (Prescott)



El exceso de nutrientes hace que las plantas y otros organismos crezcan en abundancia. Durante su crecimiento y putrefacción, consumen una gran cantidad del oxígeno disuelto y aportan materia orgánica (fango) en abundancia.

La eutrofización en la laguna de Huaypo, afecta a la calidad de las aguas ya que al aumentar la podredumbre y agotarse el oxígeno, las aguas adquieren un olor desagradable. Estas condiciones negativas de las aguas pueden ocasionar pérdidas económicas, problemas respiratorios, digestivos y en resumen su consumo puede ocasionar problemas sanitarios a los pobladores asentados allí.

También puede afectar a la producción piscícola, ya sea en la etapa de crianza como también en las actividades de extracción y consumo por los pobladores. Sin embargo, la acuicultura puede producir un mayor aporte de nutrientes a las aguas por lo que deben ser supervisadas y gestionadas permanentemente.

Los brotes de algas, especialmente de cianobacterias, producen toxinas que pueden matar a los animales cuando se comen, y los animales afectados pueden actuar como vectores para afectar a otras especies y propagarse a los humanos. Las condiciones anóxicas en el fondo conducen al crecimiento de bacterias que producen toxinas mortales para aves y mamíferos directamente afectados por la falta de oxígeno en el agua. Las especies invasoras se aprovechan de las nuevas condiciones y desplazan a los organismos que existían antes.

La laguna de Huaypo, actualmente se ve influenciada por actividades ganaderas, agrícolas, turísticas, piscícolas y aumento poblacional, condiciones que de manera gradual vienen alterando y acelerando el deterioro de la calidad de las aguas para consumo humano y el proceso de eutrofización.

1.3. Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿La alteración y/o incremento de los diferentes factores físicos, químicos y biológicos, generados por las actividades antrópicas, incide en el proceso de eutrofización y deterioro de la calidad del recurso hídrico de la laguna de Huaypo en la Región del Cusco?

1.3.2 Problemas específicos

1. ¿Cuáles son los factores físicos, químicos y biológicos alterados y/o incrementados por las actividades antrópicas que inciden en el incremento de la eutrofización de la laguna de Huaypo?
2. ¿Cuáles son los factores físicos, químicos y biológicos alterados y/o incrementados por las actividades antrópicas que inciden en la calidad del agua de la laguna de Huaypo?

1.4. Antecedentes

1.4.1. Antecedentes internacionales

Álvarez et al., (2006) en el estudio de “Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción” dice que En el 29% de los sitios de muestreo, la calidad del agua utilizada para abastecimiento público, agua recreativa, vida acuática, agua agrícola, agua industrial y para fines de captación la clasificó como agua de calidad media (ICA = 50-69). El 59% de los cuerpos de agua se encuentran en categorías de contaminación dentro del rango ICA de 30 a 49, valor por el cual los líquidos solo pueden ser utilizados y tratados con fines industriales o agrícolas. Finalmente, el 12% de los cuerpos de

agua medidos están altamente contaminados (ICA por debajo de 30), lo que los hace prácticamente inservibles para cualquier propósito. Sin embargo, 250 l seg-1 se utilizan para la producción agrícola en la Zona de Desarrollo Rural de Tulancingo, Estado de Hidalgo.

Residuos que provocan manifestaciones de eutrofización. Giacometti y Bersosa (2006) en el trabajo “Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi” dice el número de individuos y especies fue significativamente más alto en la estación seca que en la estación lluviosa, Si bien el ICA permaneció relativamente constante y no mostró significativa correlación con los índices biológicos se debe tomar en cuenta que los MAIA son una herramienta clave en la evaluación de un cuerpo de agua.

Ruiz (2017) En su trabajo, Análisis comparativo de índices de eutrofización en lagunas costeras del estado de Sonora, México, llega a la conclusión de que el proceso de eutrofización que se observó en las lagunas costeras estudiadas, en orden de importancia por su magnitud: El Tóbari, Guaymas y Lobos.

Estos presentan una condición ambiental de buena a moderada, un estado trófico de oligotrófico a Mesotrófico y una calidad de agua buena. Pero en todas ellas es notable la influencia de los aportes de aguas residuales que han ocasionado manifestación de signos de eutrofización. El Soldado, a pesar que no recibe aguas residuales presenta eutrofización natural asociada a surgencias estacionales.

Los índices TRIX y ICAC fueron consistentes en los cambios espaciales y temporales en la calidad, lo que indica que las descargas específicas de aguas residuales alteran los ambientes de las lagunas. La clorofila es un indicador que le da más al índice TRIX para detectar tales cambios.

Se propone seguir estrategias generales para el manejo ambiental de las lagunas de Sonora: Reducir el aporte de origen antrópico, a través de mejores prácticas de actividades agrícolas de tratamiento de aguas residuales, y desarrollar investigación y programas de vigilancia.

Caho (2015) Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. El índice de calidad de agua (ICA) incorpora parámetros fisicoquímicos en una ecuación, para determinar la calidad de agua en un lugar y tiempo fijados. Con el fin de analizar espacio-temporalmente el índice de calidad del agua de Guaymaral, a través de dos metodologías de medición llamadas UWQI y CWQI. Se realizó una comparación espacio-temporal entre agosto de 2015 y abril de 2016, seleccionando cuatro puntos de muestreo y monitoreando los parámetros físico-químicos en cuatro momentos diferentes. La mayoría de puntos muestreados y valorizados por el ICA-UWQI tuvieron una valoración de regular, y para el ICA-CWQI, de pobre. Se ha determinado que de las dos metodologías, UWQI es ideal para evaluar rápidamente usos específicos del agua, permite la toma de decisiones de manera inmediata, y que CWQI es ideal para estudios de evaluación espacio-temporal.

Castro et al., (2015) Indicadores de la calidad del agua, evolución y tendencias a nivel global. En la investigación “Variables de mayor impacto sobre los indicadores de calidad del agua” que desarrolló la Universidad Cooperativa de Colombia, desde el mes de enero del 2014; revisó antecedentes para identificar aspectos claves en el diseño y posterior construcción de un prototipo de Software con base en conocimiento que pueda perfeccionar los procesos de gestión del recurso hídrico en Colombia. Así mismo, el análisis de los indicadores de calidad del agua

se dio durante el período (1980-2014), fundamental para examinar la incidencia de variables bióticas y abióticas sobre un fenómeno/ ambiente/territorio. El análisis de la información revisada permitió establecer que una de las metodologías indispensable para determinar la calidad del agua es el uso de indicadores ICA: herramienta matemática que permite convertir gran cantidad de datos en una escala de medición única y confiable.

1.4.2. Antecedentes nacionales

Peña (2013) en el estudio “índice de calidad del agua (ICA) y análisis cualitativo de fitoplancton del río Mariño” indica que el ICA varía desde 63.30 en el punto 1 hasta 44.33 en el punto 5 siendo catalogado como de calidad de agua “regular” mientras que el segundo como de calidad “mala”. Mientras que el promedio de los índices calculados es de 47.29 el cual indica una calidad “mala”

Municipalidad provincial de Abancay, (2012), realizó el “plan de desarrollo urbano de la ciudad de Abancay 2012-2021” en el que se menciona el resultado de análisis en algunas instituciones se ha reportado la presencia de un elevado grado de contaminantes en descomposición como coliformes fecales, detergentes y residuos sólidos.

Ávila y Olivera (2014). Determinaron que la productividad primaria promedio del lago Langui-Layo es de 10.47 mg.C/m³/hr; resultado que concuerda con la apreciación cualitativa sobre su condición de lago oligotrófico. También indica que el aporte máximo permisible de fósforo en el lago es de 145,796.69 kg/año, este aporte no altera las condiciones de la productividad de los organismos del lago.

Díaz y Sotomayor (2012) Realizaron la evaluación de la eutrofización de la laguna de Conococha - Ancash de la cual se pudo concluir que el nivel de eutrofización de la laguna Conococha es de eutrófico a hipereutrófico, donde las principales causas son: La actividad ganadera, vertimiento directo de las aguas residuales, domésticas y la disposición de los residuos sólidos hacia la laguna.

1.5. Justificación de la Investigación

A pesar que los ecosistemas acuáticos ubicados en la Zona Alto andina revisten una singular importancia ecológica y socio-económica para la Región, la mayoría de ellos no tienen la suficiente información básica sobre su estado ambiental, ni Conservación y gestión sostenible. Por lo tanto: la poca información que existe no permite definir un verdadero panorama de los procesos de eutrofización y calidad del agua, ni de cambios ecológicos que incluso pueden ser causados por diferentes influencias antropogénicas y hasta de la naturaleza.

1.5.1. Justificación teórica

La presente investigación permitirá evaluar, diagnosticar el comportamiento de la Laguna de Huaypo frente a las diferentes actividades antrópicas, si éstas están llevando a un riesgo de eutrofización y pérdida de la calidad de sus aguas, para así poder tomar las precauciones necesarias para su remediación.

Entonces, se deben considerar de manera relevante el ¿por qué? y modo de ¿cómo? influyen las actividades humanas sobre estos ecosistemas, que pueden manifestarse con una serie de efectos ambientales adversos, tales como el sobre-enriquecimiento por nutrientes provenientes de las actividades agrícolas y de las aguas servidas principalmente, contaminación

por las actividades pecuarias, pérdida de hábitats, agotamiento de recursos pesqueros. Creando necesidades específicas de restauración y manejo para conservar las funciones ecológicas y económicas.

Los cuerpos de agua forman la base fundamental de los ecosistemas ya que sustentan la flora, la fauna y la vida humana que se desarrolla a su alrededor; la Laguna de Huaypo representa el sustento social y económico de muchas familias dedicadas a innumerables actividades, ya sea agricultura, ganadería, pesca, entretenimiento o consumo; se vuelven indispensables para estos. Por lo tanto, una merma en su calidad en su estado nutricional puede tener un gran impacto en la población al no poder utilizar los recursos en su trabajo diario.

1.5.2. Justificación práctica

La comprensión del mecanismo de autorregulación de la laguna, se pueden tomar medidas preventivas cuando comienza el proceso de exacerbación, y se pueden tomar medidas correctivas si el proceso de exacerbación ya ha avanzado. De todos modos, la conservación de los recursos naturales de manera sostenible es una información valiosa.

Por lo expuesto, se podrán implementar programas y planes de gestión ambiental eficaces y eficientes (ecoeficientes) en los puntos críticos mencionados, zona en aspectos del recurso agua, que coadyuvará a futuro mitigar impactos ambientales en concordancia con el desarrollo sostenible.

1.5.3. Justificación metodológica

Evaluar el comportamiento de la laguna frente a las actividades humanas es un procedimiento metodológico que requiere el conocimiento de la Ecología Ambiental, referente

a los procesos dinámicos que se producen en los ecosistemas, en este caso la laguna de Huaypo, que se encuentra bajo a diversas actividades antrópicas en relación a su proceso natural. Una de las actividades más importantes para la gestión del recurso hídrico, es el monitoreo periódico de los cuerpos de agua. Esta actividad permite la detección temprana de posibles cambios en la calidad del recurso. Sin embargo, el “monitoreo no es sólo hacer mediciones, si no que los datos deben estar disponibles. La comunicación de los resultados implica una retroalimentación, y además, permite que la información recopilada sea utilizada en las decisiones de gestión”. El monitoreo de las fuentes de agua se convierte en una herramienta de gran importancia para su vigilancia.

Los indicadores ambientales nacen como respuesta a la necesidad de obtener información relevante sobre diversos temas ambientales; los datos obtenidos se deben presentar en un formato que permita su análisis y que sea favorable para el uso de estadísticas (Aréstegui 2019). Por ejemplo, el índice de calidad de agua (ICA) es una herramienta que permite identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un tiempo determinado. En general, el ICA incorpora datos de múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, mediante la cual se evalúa el estado de un cuerpo de agua (Yogendra y Puttaiah, 2008. citado por Cahó 2016).

Por medio del ICA se puede realizar un análisis general de la calidad del agua en diferentes niveles, y determinar la vulnerabilidad del cuerpo frente a amenazas potenciales. Esta herramienta surge como una alternativa para la evaluación de los cuerpos hídricos permitiendo que los procesos de formulación de políticas públicas y seguimientos de los impactos sean más eficaces (Torres et al.,2009. citado por Cahó2016).

La clasificación del índice de estado trófico generalmente se basa en el nutriente limitante. En la mayoría de los casos, el factor limitante es el fósforo. Sin embargo, los factores mostrados indican los tipos de variables a considerar.

Para poder conocer el nivel de eutrofización de un agua determinada se emplea el índice de Eutrofización propuesto por Carlson (TSI), para medir el contenido de clorofila α de algas en la columna de agua y este valor combinado con otros parámetros como la concentración de fósforo y el nivel de transparencia de la zona fótica. Esto significa que de acuerdo al contenido total de fósforo (10 mg/m³), el lago tiene un 63% de probabilidad de ser clasificado como Oligotrófico y 26% de probabilidad de ser clasificado como mesotrófico o 15% de ser calificado como eutrófico, de acuerdo a la distribución de probabilidad de categoría trófica.

1.5.4. Justificación social

La utilidad de los resultados de este trabajo servirá para obtener datos concretos acerca del nivel de eutrofización y de la calidad del agua en la laguna de Huaypo, usando como principal referencia los Estándares de Calidad Ambiental de Agua (ECA_s) Y Límites Máximos Permisibles (LMP_s), y que en conjunto con la población local servirá para la implementación de sistemas de gestión relacionados con el uso sostenible del recurso hídrico.

Los pobladores deben tener conocimiento del estado de la calidad del agua, mediante una herramienta de análisis de las aguas, que les permita visualizar, interpretar y comprender los resultados obtenidos, de tal manera que ellos mismos mediante los índices de calidad puedan tener mejor referencia del agua que puedan ingerir y utilizar en otras actividades.

1.6. Limitaciones de la investigación

Este método de evaluación tiene sus limitaciones, ya que el conjunto de parámetros analizados es pequeño y se omiten otros importantes para el suministro público, por ejemplo, metales pesados, pesticidas, compuestos orgánicos, protozoos patógenos y sustancias que interfieren en las propiedades organolépticas de agua

Puede generalizarse demasiado y terminar en juicios subjetivos, dado el peso de algunas de las variables. Los resultados pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación y ejecución

Un solo índice puede no ser indicativo de toda la dinámica del sistema. No proporcionan información completa sobre la calidad de agua, en consecuencia, no permiten evaluar todos los riesgos posibles del agua. No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que imperan en los diferentes ecosistemas acuáticos.

No es una metodología aceptada en su totalidad por el mundo científico, razón por la cual afecta su credibilidad. Puede indicar que la calidad no es apta para abastecimiento de agua potable, pero puede ser utilizada para recreación y ser apta para el desarrollo de la biota acuática. La presencia de contaminantes en la laguna de Huaypo provienen de fuentes puntuales y fuentes difusas. Las fuentes puntuales son aquellas que pueden ser físicamente precisas; por ejemplo, cualquier tubería, zanja, canal, túnel, conducto o Las fuentes difusas son aquellas que no se pueden identificar con precisión como escurrimiento del área agrícola.

La contaminación del agua de fuentes difusas es el resultado de una amplia gama de actividades humanas, donde los contaminantes no tienen un punto de entrada específico en las vías fluviales que los reciben; la contaminación ocurre cuando el agua escurre del suelo -

escorrentía - y cuando ingresa al cuerpo de agua o se filtra al subsuelo, arrastra los contaminantes y los agrega finalmente a las aguas superficiales, por lo que son más difíciles de identificar, medir y controlar.

Los estudios realizados en un año o quizás menos, proporcionan un resumen de los datos, mas no proporcionan una información sobre otras variables que implican problemas de validez interna, como, por ejemplo, aquéllas que están relacionadas con el metabolismo lacustre, donde se consideran las condiciones de estratificación térmica y circulación, las épocas de secas y de lluvias, que finalmente inciden en la calidad del agua y el proceso de eutrofización.

No necesariamente se evalúan todos los parámetros físicos, químicos y biológicos que nos permitan obtener un conocimiento pleno sobre los procesos de eutrofización y calidad de las aguas. Por tanto: No se pueden evaluar todos los parámetros presentes en el agua e incluso éstos pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación. Se precisa que estos resultados solo permiten realizar una comparación de dichos valores y no una evaluación real del estado de la calidad del agua.

Metodológicamente, se debe elaborar un modelo de análisis que contemple más parámetros de naturaleza física, química y biológica que estén relacionados de manera directa e incluso indirectamente con la Eutrofización, y que nos permita expresar el estado de la Calidad del agua a partir de rangos previamente establecidos, a través de un método simple, conciso y válido, sobre la base de los resultados producidos en el análisis de las muestras de agua realizado de un curso de agua, río o cuenca en el ámbito nacional.

Las respuestas a este proceso podrían manifestarse con cambios en la concentración de clorofila, en la transparencia del agua, en la producción primaria, en las comunidades fito y zoo planctónicas, en la biomasa de macroalgas, en la sedimentación de carbono orgánico, en las proporciones del nitrógeno, fósforo y silicio, Si: N y N:P , en la concentración de oxígeno disuelto, dióxido de carbono que influyen en el pH y alcalinidad, en los análisis de DBO, DQO, en los florecimientos de algas tóxicas, en la comunidad de fitoplancton, en la biomasa y comunidad del bentos, en la calidad y diversidad del hábitat, en la biogeoquímica de los sedimentos, en el reciclado de los nutrientes, en la mortalidad de peces e invertebrados, y finalmente en la estructura de la cadena alimenticia.

Los ecosistemas tropicales de países en vías de desarrollo, posiblemente reaccionen con respuestas más evidentes a los estímulos del Proceso de Eutrofización, en comparación a las zonas templadas (Corredor et al., 1999; Downing et al., 1999), al contar con mayor intensidad y duración de la radiación solar y tener altas concentraciones de los nutrientes, si no existen sistemas de depuración eficientes.

- El costo de los diferentes análisis químicos es relativamente alto, lo cual indirectamente condiciona un mayor número de salidas de campo para obtener las muestras y su posterior análisis.

- Los resultados obtenidos no son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan los cuerpos de agua de una región a otra. Del estudio de la calidad del agua, el proceso de contaminantes que se puede deducir el efecto, con el fin de establecer valores máximos permisibles de contaminantes, cuyas concentraciones no pongan en peligro la vida acuática y permitan al ser humano disfrutar del agua para diferentes

usos, como por ejemplo: garantizar la preservación de la fauna y flora, uso agrícola, uso pecuario, uso recreativo, uso estético y finalmente para uso potable. Sin embargo, es preciso tomar en cuenta algunas limitaciones y ventajas, que no permiten generalizar conceptos y elaborar un patrón general.

1.6.1. Ventajas

- Permite mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua
- Es un método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados tanto en campo como en laboratorio.
- Permite una fácil interpretación de los datos para identificar y priorizar el uso adecuado de las aguas, con fines de gestión. La información derivada de su aplicación, es de utilidad a las personas que trabajan en la normatividad
- Ayuda a transformar gran variedad de indicadores ambientales en un sistema de fácil comunicación.
- Los resultados obtenidos permiten generar un programa preliminar de monitoreo y gestión extrapolable a otros recursos acuáticos.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Determinar si la alteración y/o incremento de los diferentes factores físicos, químicos y biológicos, generados por las actividades antrópicas, incide en el proceso de eutrofización y deterioro de la calidad del recurso hídrico de la laguna de Huaypo en la Región del Cusco.

1.7.2. *Objetivos específicos*

1. Determinar los factores físicos, químicos y biológicos alterados y/o incrementados por las actividades antrópicas que inciden en la calidad del agua de la laguna de Huaypo.
2. Determinar los factores físicos, químicos y biológicos alterados y/o incrementados por las actividades antrópicas que inciden en el incremento de la eutrofización de la laguna de Huaypo.

1.8. Hipótesis

1.8.1. *Hipótesis general*

La alteración y/o incremento de los factores físicos, químicos y biológicos generados por las diferentes actividades antrópicas, repercuten en el proceso de eutrofización y en la calidad del agua, en la laguna de Huaypo.

1.8.2. *Hipótesis específicas*

1. La disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto, incremento del DBO, la excesiva turbidez y la presencia de bacterias termófilas fundamentalmente, inciden de manera negativa en la calidad del agua.
2. La presencia de nutrientes como nitrógeno y fósforo provenientes de las actividades agrícolas, ganaderas y aguas servidas aunadas a una alta concentración de clorofila y la turbidez de naturaleza orgánica e inorgánica, aceleran el proceso de Eutrofización de la Laguna de Huaypo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases Teóricas

2.1.1. *Investigaciones internacionales de teorías pertinentes.*

Los diferentes estudios concernientes a “El Índice de Calidad de agua (ICA)” y sobre el “Nivel de eutrofización (TSI)”, son problemas latentes tanto de orden nacional como internacional.

Eutrofización: La eutrofización se considera un proceso natural y/o cultivado que enriquece el agua con micronutrientes esenciales como el nitrógeno y el fósforo a un ritmo rápido que otros procesos no pueden compensar mediante la mineralización masiva, por lo que la descomposición aeróbica del exceso de materia orgánica produce una reducción del oxígeno disuelto en aguas profundas.

Sus efectos pueden interferir negativamente en los diferentes usos que el ser humano puede hacer de los recursos acuáticos, tales como: agua potable, actividades agrícolas, ganadería, piscicultura, ocio.

Los diferentes ecosistemas acuáticos que han sufrido eutrofización, tienen un alto nivel de productividad y de biomasa en los cuerpos de agua considerados como eutróficos; proliferan las algas, se verifica un crecimiento intenso de plantas acuáticas, el hipolimnion contiene aguas pobres en oxígeno. En contraste, los cuerpos de agua oligotróficos, que poseen concentraciones bajas de nutrientes, cualitativamente presentan una mayor diversidad en las comunidades bióticas, un bajo nivel de productividad primaria y de biomasa y una buena calidad del agua en todos los estratos para distintos usos.

Factores que afectan el grado de eutrofización son:

Los gases de efecto invernadero que están posibilitando el cambio climático inciden de manera directa en los ecosistemas acuáticos, y los ecosistemas lacustres que presentan cubetas en forma de “luna de reloj” son más propicios para el desarrollo de macrofitas que determinan una disminución significativa del espejo de agua y en consecuencia de la profundidad.

Las consecuencias negativas de este proceso, pueden alterar de manera importante las diferentes actividades y usos que el hombre puede hacer de los recursos acuáticos (abastecimiento de agua potable, riego, recreación, crianza de especies ícticas, generación de energía).

Los acuíferos eutróficos tienen un alto nivel de productividad y biomasa en todos los niveles tróficos; las algas proliferan, el agua tiene poco oxígeno y las plantas acuáticas crecen rápidamente. Los acuíferos eutróficos tienen un alto nivel de productividad y biomasa en todos los niveles tróficos; las algas proliferan, el agua tiene poco oxígeno y las plantas acuáticas crecen rápidamente. Por el contrario, las masas de agua oligotróficas tienen menores concentraciones de nutrientes, mayor diversidad en las comunidades vegetales y animales, un menor nivel de productividad primaria y de biomasa, y una buena calidad del agua para diversos usos.

Causas de la eutrofización pueden ser:**a) Naturales:**

Muchos cuerpos de agua alto andinos en la época de “secas” sufren un proceso de circulación lacustre y recirculación de los sedimentos del fondo que contienen abundante materia orgánica.

- Escorrentía de materiales como consecuencia de las precipitaciones pluviales
- Liberación de nutrientes desde los sedimentos anóxicos.
- Descomposición, respiración y excreción de organismos.
- Fijación de nitrógeno por microorganismos.

b) Antropogénicas:

La pérdida de la cobertura vegetal, aumenta la erosión y disminuye el reciclaje de nutrientes en la cuenca, aumentando su ingreso al cuerpo de agua.

En las diferentes actividades agrícolas se utilizan de manera desmedida agroquímicos (fertilizantes y venenos) aplicados en exceso.

Las aguas residuales provenientes de ciudades y pueblos, como también de las instalaciones ganaderas.

Las aguas servidas aparte de contener materia orgánica contienen detergentes con grandes cantidades de fósforo.

La lluvia ácida contiene nitratos y sulfatos que causan cambios en trofía acuática.

A. Medidas para controlar la eutrofización.

Control de la entrada de nutrientes:

Tratamiento integral de las aguas residuales antes de ser vertidas a los diferentes ecosistemas acuáticos, mediante la precipitación química y/o filtración.

Disminución significativa del uso de detergentes fosfatados.

Disminución del uso de agroquímicos en las actividades agrícolas, que conlleve a una reducción de la cantidad de fosfatos y nitratos en los vertidos con una utilización más eficiente de fertilizantes.

Control de la eutrofización en los ecosistemas hídricos:

- Eliminación de sedimentos orgánicos e inorgánicos acumulados.
- Utilización de productos químicos que precipiten el fósforo.
- Eliminación y control biológico que disminuya el crecimiento de plantas emergentes, flotantes y sumergidas.

B. Causas de eutrofización cultural

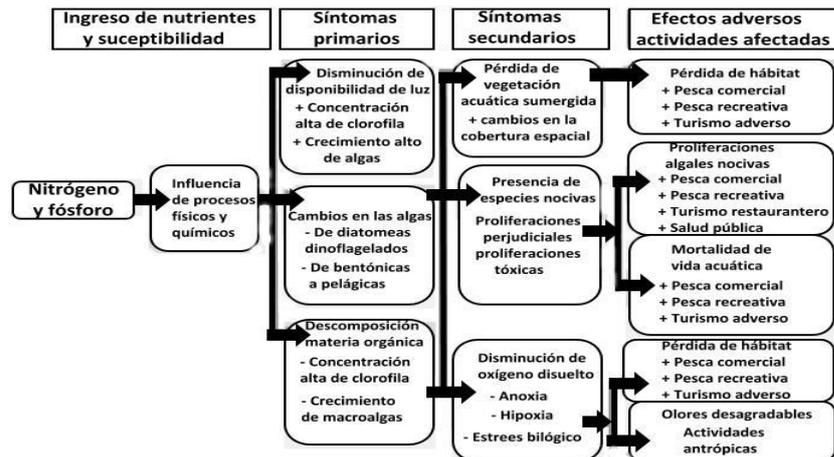
Las diferentes actividades antrópicas tienen un gran impacto en los ciclos del carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P). Cabe señalar que existen varias fuentes de enriquecimiento nutricional de estos nutrientes, todas las cuales pueden repercutir en las masas de agua tanto directa como indirectamente. Entre las fuentes directas se encuentran el flujo de aguas residuales, la intensificación de la agricultura, el consumo de combustibles fósiles y energía, el aumento del consumo de fertilizantes y la transformación de la tierra con fines agrícolas. Estos fenómenos son causados por fuentes indirectas como el crecimiento de la población y el crecimiento económico, así como el cambio climático.

La adición de nitrógeno al ciclo terrestre casi se ha duplicado. Más de cincuenta millones de toneladas métricas de nitrógeno moviliza la población humana en las transformaciones del suelo. La producción mundial de fertilizantes agrícolas aumentó en diez millones de toneladas métricas en 1950, unas ocho veces más en 1990, y se espera que aumente en 135 millones de toneladas métricas en 2030.

Además del uso de fertilizantes químicos, también se aplican abonos derivados de los derechos de los animales, que tienen un alto contenido en nitrógeno. Como no todo el nitrógeno aplicado a las tierras de cultivo es utilizado por las plantas, el exceso se acumula en el suelo y se transfiere a las aguas superficiales y/o subterráneas, o entra en la atmósfera en forma de amoníaco y óxido nitroso.

Figura 2

Causas de la eutrofización cultural



Nota. Fuente: Elaboración propia

Estas actividades también tienen un impacto en el ciclo del fósforo. Las minas de fósforo son una importante fuente de este anión; también está presente en gran medida en los derechos de los animales, pero las fuentes de fósforo más importantes son la agricultura y las aguas residuales domésticas.

Más de una cuarta parte de estas aguas están contaminadas por residuos humanos, y entre una cuarta y una tercera parte por detergentes, que incluyen cantidades importantes de grasas (30-50%). Este elemento es bastante inmóvil; su desplazamiento hacia las masas de agua se realiza por la erosión y lixiviación del suelo, así como por los escarpes pluviales. La concentración media de fósforo en las aguas residuales oscila entre 4 y 14 mg PO₄ P/L.

Estas aguas residuales en ocasiones son desechadas a lagos, ríos y mares sin un tratamiento previo, permitiendo la entrada de fósforo al sistema acuático, otra fuente importante de fósforo son las actividades provenientes de la agricultura, por el uso de fertilizantes, organofosforados y de la ganadería, por las excretas de animales (Khan y Ansari, 2005).

Los factores medioambientales como la temperatura, irradiación y la disponibilidad de nutrientes tienen un gran impacto en la eutrofización de sistemas acuáticos. Los microorganismos presentes se alimentan de los cuerpos muertos en el agua, reduciendo la cantidad de oxígeno en el sistema, lo que hace que los peces mueran y el sistema entre en un estado de hipoxia. La temperatura y la salinidad también son factores cruciales en la eutrofización. Se ha observado el florecimiento de algas a temperaturas que oscilan entre los 23 y los 28°C y a salinidades que van del 23 al 28‰. El pH también tiene un impacto significativo en la eutrofización, ya que es un factor de crecimiento para muchos organismos, así como su influencia en la especificación de los nutrientes presentes en la masa de agua, que puede reducir su disponibilidad y absorción.

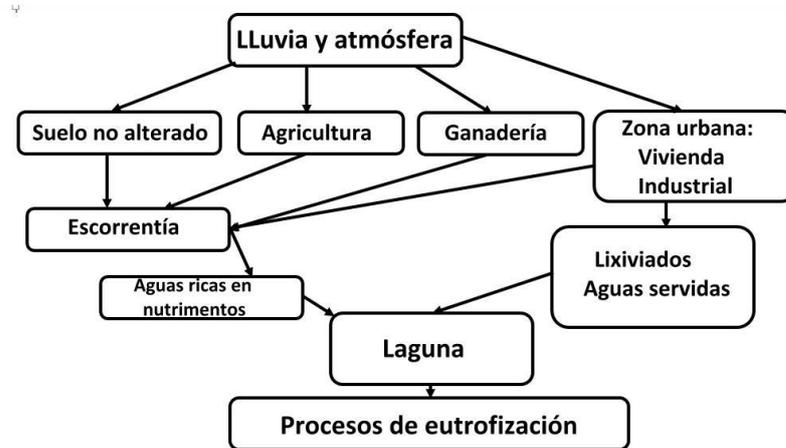
La eutrofización de sistemas acuáticos tiene un impacto altamente negativo en el ambiente. El rápido crecimiento de las comunidades vegetales, especialmente del fitoplancton, provoca un aumento de la turbidez en el ecosistema acuático, impidiendo que la luz llegue al fondo. Los organismos fotótrofos son incapaces de realizar sus actividades metabólicas, lo que provoca su muerte. Como consecuencia, la producción de oxígeno disminuye y los descomponedores, en su mayoría bacterias aerobias, comienzan a consumir el oxígeno disponible, dando lugar a un ambiente ansioso.

Este ambiente hace imposible la existencia de la mayoría de las especies que antes componían el ecosistema. La disminución del oxígeno disuelto por microorganismos crea condiciones hipóxicas las cuales favorecen el crecimiento de microorganismos anaerobios como bacterias sulfo reductoras y arqueas metanogénicas, en las reacciones de sulfato reducción se produce H_2S el cual tiene un efecto altamente tóxico para la fauna presente en el sistema acuático a bajas concentraciones (0.1 mg/L), las arqueas metanogénicas producen CH_4 el cual tiene un potencial de calentamiento global 25 más que el CO_2 (EPA, 2010).

La estimación del aporte de nitrógeno por habitante-equivalente en las zonas urbanas de América Latina es de 5 Kg/año/hab. y de fósforo 1,1 Kg/año/hab. En estas concentraciones están incluidos los aportes de todas aquellas actividades que se desarrollan en la vida diaria de una población, es decir, en el contexto doméstico, público y urbano e industrial (Foster et al., 1987).

Figura 3

Los factores mediambientales



Nota. Fuente: Elaboración propia

Los principales efectos de la eutrofización en cuerpos de agua son:

Aumento de la productividad y biomasa y composición de algas, cianobacterias y plantas vasculares.

- Disminución de las poblaciones ícticas.
- La transparencia del agua está disminuyendo.
- Se ha informado de cambios en el sabor y el olor, así como de problemas de filtrado en las bombas de sumidero de agua potable.
- Se elimina la deficiencia de oxígeno.
- Reducción de la percepción del valor estético del lodo acuoso.
- Consecuencias económicas negativas, como la disminución del valor de la propiedad y del uso recreativo.

Se distinguen cuatro grados de trofia:

La ultra-oligotrofia y la oligotrofia es cuando el medio es bajo en nutrientes, pero alto en oxigenación, y la claridad del agua es excelente.

La mesotrofia: es una etapa de transición en la que el contenido de nutrientes es medio y los organismos acuáticos son más numerosos.

La eutrofia: es el proceso que nos interesa y califica un medio rico en nutrientes.

La hipertrofia: es la continuación del proceso de eutrofización. El medio se enriquece entonces en exceso en materias nutritivas y las concentraciones en oxígeno disuelto en el agua son muy bajas. es la continuación del proceso de eutrofización. El entorno se sobrecarga de materiales nutritivos y las concentraciones de oxígeno en el agua son extremadamente bajas.

El Índice de calidad de agua (ICA)

La calidad del agua se definía originalmente por sus características fisicoquímicas y biológicas (aunque de tipo sanitario); sin embargo, actualmente se consideran igualmente importantes los aspectos hidromorfológicos y ecológicos, así como la idea de calidad ecológica: expresión sobre la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos relacionados con aguas superficiales, clasificados en el Anexo V de la DMA

La calidad del agua: A menudo se considera en relación con el uso o la actividad a la que se destina (y no en términos absolutos): la calidad del agua para beber, regar, industrial, educativa o recreativa...

Desde este punto de vista, da igual que la falta de calidad se deba a causas naturales (impurezas naturales) o a causas artificiales (contaminación). La calidad de una masa de agua natural también puede relacionarse con su proximidad a su estado natural (composición),

mientras que la pérdida de calidad puede identificarse por su alejamiento de las condiciones naturales (contaminación).

Se considera que el agua está contaminada cuando su composición natural se ve alterada, directa o indirectamente, por el ser humano, y ya no está disponible para los usos que podría servir en su estado original.

Usos para los que quieren regular la calidad de su agua:

- Uso fuera de la zona en la que se encuentra:
- Agua potable, usos domésticos, urbanos e industriales, agricultura y ganadería.
- Utilización del curso o masa de agua. Baño, pesca, navegación...
- Como medio acuático que acoge a un ecosistema
- Como receptor de efluentes residuales

La Calidad del Agua es un valor ecológico esencial para la salud y para el crecimiento económico, por tanto: “Cualquier límite fijado de variación o alteración del estado del agua, juzgado expertamente, en base a datos científicos, para el cual no hay ningún tipo de efectos, generalmente adversos, en su uso por el hombre o para los organismos que lo habiten”

Hay dos cuestiones principales:

- El establecimiento del límite de variación admisible, dentro del cual no se producen efectos indeseables.

- Sistemas de control que proporcionen información precisa sobre el estado del agua en relación con el límite establecido.

Métodos de control de la calidad del agua:

- Basados en el análisis de las condiciones bióticas del ecosistema (índices físico-químicos)

- Basados en el estudio de las comunidades biológicas. Warren, 1971: La evolución de la regulación de la calidad del agua. La noción de calidad y control del agua ha sido revisada recientemente; la continua preocupación social por los problemas de salud relacionados con el agua ha transformado el agua en el bien de consumo más controlado.

La principal preocupación de los países en desarrollo que no se ven afectados por la escasez de recursos (por ejemplo, los países del norte de la UE se han preocupado tradicionalmente por la calidad, mientras que los del sur se han preocupado por la escasez de recursos).

2.1.2. Investigaciones nacionales de teorías importantes

La autoridad Nacional del agua (ANA), ha publicado la:

Metodología para la determinación del índice de calidad de agua de los recursos hídricos superficiales en el Perú ICA- PE.

El agua es uno de los recursos naturales más abundantes y necesarios para la vida; su calidad es un factor que incide directamente en la preservación de los ecosistemas y en el bienestar humano. En las últimas décadas, en nuestro país, el crecimiento de la población y la actividad industrial generada por sectores como la minería, la energía, los hidrocarburos, la agricultura, la pesca y el saneamiento, entre otros, han contribuido al deterioro de la calidad del agua a escala nacional, a lo que ahora se suma el cambio climático. Por otra parte, los cambios en las propiedades físicas y químicas del agua (parámetros inorgánicos) están influidos no sólo por los factores antropogénicos mencionados anteriormente, sino también por la interacción de muchos procesos naturales como las condiciones geofísicas, la erosión natural, etc. La Autoridad Nacional del Agua– ANA, en el marco de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, es el ente rector y la máxima autoridad técnico normativa del Sistema

Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SNGRH) cuya finalidad es asegurar la gestión integrada, participativa y multisectorial del agua, además de desarrollar acciones de vigilancia, control y fiscalización, para asegurar la preservación y conservación de las fuentes naturales de aguas y de los bienes naturales asociados a estas.

En el año 2017, el MINAM, mediante el D.S N° 004-2017-MINAM, aprueba las Normas de Calidad Ambiental del Agua y establece Medidas Complementarias. Este decreto tiene por objeto compilar las medidas aprobadas a través de los D.S N° 002-2008-MINAM, D.S N° 023-2009-MINAM, y D.S N° 015-2015-MINAM, que aprobaron las ECA-AGUA, quedando sujetos a lo establecido en el presente decreto supremo.

El presente ECA- Agua, cuenta con 17 subcategorías agrupadas en 4 categorías:

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, en la cual encontramos:

- A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección
- A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional
- A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Subcategorías B: Agua superficiales destinadas para recreación y tenemos 2:

- B1: Contacto primario
- B2: Contacto secundario

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

- a. **Subcategoría C1:** Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicadas en aguas marinos costeras

- b. **Subcategoría C2:** Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino-costeras
- c. **Subcategoría C3:** Actividades marino-portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino-costeras
- d. **Subcategoría C4:** Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos y lagunas

Categoría 3: Riego de Vegetales y bebidas de animales

- a. **Subcategoría D1:** Riego de vegetales • Agua para riego no restringido • Agua para riego restringido
- b. **Subcategoría D2:** Bebida de animales

Categoría 4: Conservación del medio ambiente acuático

- a. **Subcategoría E1:** Lagunas y lagos
- b. **Subcategoría E2:** Ríos
 - Ríos de la costa y sierra
 - Ríos de la selva

Subcategoría E3: Ecosistemas costeras y marinas

- Estuarios
- Marinos

Tabla 2*Usos del agua según su ICA*

ICA	Usos				
	Agua potable	Agrícola	Pesca- acuática	Industrial	Recreativo
91- 100	No requiere purificación para consumo	No requiere purificación para riego	Pesca y vida acuática abundante	No se requiere purificación	Cualquier tipo de deporte acuático
71-90	Purificación menor requerida	Purificación menor en cultivos que requieran agua de alta calidad	Pesca y vida acuática abundante	Purificación menor para industrias que requieran agua de alta calidad	Cualquier tipo de deporte acuático
51-70	Potabilización necesaria	Utilizable en diferentes cultivos	Límite para peces muy sensibles y pesca dudosa	No requiere tratamiento para industrias	Restricción en deportes de inmersión
26-50	Inaceptable para consumo	Uso en cultivos resistentes, con tratamiento	Vida acuática limitada a especies resistentes	Tratamiento necesario	Evitar el contacto, dudoso
0-25	Inaceptable para consumo	Inaceptable para riego	Inaceptable vida acuática	Inaceptable para cualquier industria	Contaminación viable

Nota. Fuente: Elaboración propia

Los ECA (Estándares de calidad del agua)- Son obligatorios para determinar los usos de los cuerpos de agua, tomando en cuenta las condiciones naturales o niveles del suelo, y diseñando normas legales de acuerdo a lo establecido en la Ley General del Ambiente (Ley N° 28611). Es una herramienta útil para evaluar el estado de la calidad de los cuerpos de agua naturales en las cuencas hidrográficas del país.

Este tipo de calificación cualitativa viene asociada a una escala cromática (cada calificación tendrá un color), el cual tiene por propósito facilitar la comunicación del estado de calidad del agua.

Tabla 3

Escala cromática referida a la calificación cualitativa y cuantitativa del ICA

CCME	Calificación	Interpretación
95-100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia de daños o amenazas. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados
80-94	Buena	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural. Sin embargo las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
65-79	Favorable	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables.: Muchos de los usos necesitan tratamiento.
45-64	Regular	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
0-44	Mala	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

Nota. Fuente: Elaboración propia

Este indicador de calidad del agua, cuando se utiliza a lo largo del tiempo, evalúa el impacto de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que se tienen en cuenta, y permite transformar grandes cantidades de datos (concentraciones de parámetros de estudio) en una única escala de medición expresada en porcentajes. Un valor del ICA cercano al cero por ciento indica que existe un impacto significativo en la calidad del agua en ese punto de control; sin embargo, si las condiciones son excelentes, el valor del ICA será cercano a 100%.

El método adoptado se utiliza en los siguientes casos, en los que es crítico utilizar datos de monitoreo para calcular y mostrar los ICA de una zona o cuerpo de agua, incluyendo datos de: (1) Todos los monitoreos, (2) Monitoreos en época Seca, (3) Monitoreos en época Hmeda, (4) Monitoreos en época Hmeda, (5) Monitoreos en época Subterránea.

Figura 4

Escala referida a los usos del agua según el Índice de Calidad del Agua

ICA	Uso público	Recreo	Pesca- vida acuática	Industria agrícola	Navegación	Transporte desechos
100	Aceptable No requiere purificación	Aceptable Para todo tipo de deporte acuático	Aceptable Para todo tipo de organismos	Aceptable No requiere purificación		
90	Requiere ligera purificación			Requiere ligera purificación		
80	Mayor necesidad de tratamiento				Aceptable para todo tipo de navegación	
70		Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para la industria normal		Aceptable para todo tipo de transporte de desechos tratados
60			Dudoso para especies sensibles			
50	Dudoso	Dudos para contacto directo	Solo para organismos muy resistentes	Con tratamiento para la mayor parte de la industria		
40	Inaceptable	Sin contacto con el agua				
30		Muestras obvias de contaminación	Inaceptable	Uso muy restringido	Contaminado	
20		Inaceptable		Inaceptable	Inaceptable	
10						Inaceptable
0						

Fuente: Guzmán y Merino, 1992; Montoya, et al., 1997

En el Perú, la calidad del agua se evalúa comparando los resultados de un conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos con los valores establecidos en el ECA-Agua de acuerdo con la categoría del cuerpo de agua superficial correspondiente; esto determina el cumplimiento o incumplimiento especificando sólo los parámetros críticos y su correspondiente concentración. Sin embargo, esta evaluación es ambigua cuando se trata de

determinar el nivel de calidad acuática del recurso hídrico, es decir, si es excelente, bueno, regular, mala o muy mala según sea el caso.

Los índices de calidad del agua (ICA) son herramientas matemáticas que combinan la información de varios parámetros y permiten transformar grandes cantidades de datos en una única escala de medición de la calidad del agua. Según la Organización de Cooperación de Desarrollo Económico (OCDE, para abreviar), los indicadores medioambientales cumplen dos funciones principales

1. Reducir el número de mediciones y parámetros necesarios para reflejar con precisión una situación, y
2. Simplificar el proceso de comunicación de los resultados de la medición.

En este sentido, los ICA son una herramienta crítica en la gestión de la calidad de los recursos hídricos, ya que permiten transmitir de forma sencilla la información sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general; e identifica y compara las condiciones y tendencias de la calidad del agua a lo largo del tiempo, valorando la calidad del agua en una escala de 0 a 100, donde 0 (cero) indica mala calidad y 100 indica excelente calidad.

En nuestro país, debido a la presencia de la enorme cordillera de los Andes y a la dependencia del país de la extracción de minerales, se crean las condiciones para la dispersión de contaminantes químicos, especialmente metales, exponiendo a la población a un riesgo potencialmente letal. La contaminación de las cuevas expone a la población al cadmio en el norte, al plomo en el centro y al arsénico en el sur. El gasto del tratamiento físico-químico es cada vez mayor para las empresas de suministro de agua. La presencia de metales preciosos en la sangre es prueba suficiente para provocar condiciones económicas adversas y un retraso en las inversiones, lo que da lugar a un ciclo peligroso y de difícil solución. El análisis de las dos

causas: la mineralogía y la extracción minera, debe profundizar para lograr una solución adecuada que priorice la salud humana y al mismo tiempo fomente la inversión para el crecimiento económico. El objetivo de esta revisión es fomentar un enfoque más proactivo del problema por parte de las autoridades sanitarias, así como el desarrollo de estrategias de comunicación de riesgos, de manera que se pueda abordar el problema de forma rentable con educación sanitaria, al tiempo que se avanza en el desarrollo de tecnologías mineras más respetuosas con el medio ambiente. (Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica 2018)

Efectos de la contaminación de las aguas en la salud

Los efectos de la eutrofización y la contaminación del agua repercuten en la salud humana. La presencia de nitratos en el agua potable puede provocar una enfermedad infantil que puede ser mortal en algunos casos. El metal que se encuentra en los fertilizantes derivados del cieno o del lodo puede ser absorbido por las cosechas y, si se consume en cantidades suficientes, puede provocar diarrea, así como daños en el hígado y los riñones, al igual que la toxicidad de sustancias inorgánicas como el mercurio, el arsénico y el plomo. Los lagos son especialmente sensibles a la contaminación.

a) La directa. Por la ingesta de agua contaminada procedente de los acuíferos de los grandes núcleos de población o de estanques contaminados. En otros casos, se debe al contacto con la piel o las mucosas (con fines recreativos, ocupacionales o incluso terapéuticos) que puede causar infecciones localizadas en la piel dañada o sistémicas en quienes tienen inmunodeficiencias.

b) La indirecta. El agua actúa como vehículo de la infección, o puede transmitirse a través de los alimentos contaminados por la evaporación del agua sobrante. Del mismo modo,

los moluscos acumulan una gran cantidad de polivirus y pueden ser ingeridos y causar daños a los humanos. Por último, algunos insectos que se reproducen en el agua son portadores de enfermedades como el paludismo y la fiebre amarilla.

Patógenos. Este tipo de contaminación del agua se produce por la presencia de agentes patógenos en el agua. Corresponden a bacterias, virus, protozoos y parásitos que entran en el agua a través de los residuos domésticos y de los desechos humanos y animales no tratados.

Sedimentos o materiales en suspensión Los sedimentos y materiales en suspensión son los contaminantes más importantes del agua. Se trata de partículas de tierra (debido a la erosión) y otros sólidos que han quedado suspendidos en el agua. Los sedimentos contaminan el agua y disminuyen la fotosíntesis, provocando cambios en las redes alimentarias acuáticas. Por otra parte, los sedimentos transportan parásitos, gérmenes y otras sustancias nocivas, destruyendo los alimentos y los criaderos de peces.

Es necesario destacar que los resultados de la calidad del agua son variables en el espacio y en el tiempo debido a una combinación de influencias naturales y antropogénicas, por lo que es necesario especificar el nivel de calidad del agua obtenido, lo que permite una mejor interpretación, comprensión y comunicación del estado de la calidad de los recursos hídricos del Perú.

La evaluación de la calidad del agua se realiza comparando los resultados de un conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos con los valores establecidos en el ECA-Agua según la categoría del cuerpo de agua superficial correspondiente; esto determina el cumplimiento o incumplimiento, especificando únicamente los parámetros críticos y su correspondiente concentración. Sin embargo, esta evaluación es ambigua cuando se trata de determinar el nivel de calidad acuática del recurso hídrico, es decir, si es excelente, bueno,

regular, pobre o muy pobre. Los índices de calidad del agua (ICA) son herramientas matemáticas que combinan la información de varios parámetros y permiten transformar grandes cantidades de datos en una única escala de medición.

En este sentido, los ICA son una herramienta fundamental en la gestión de la calidad de los recursos hídricos porque permiten transmitir de forma sencilla la información sobre la calidad de los recursos hídricos a las autoridades competentes y al público en general; e identifican y comparan las condiciones y tendencias de la calidad del agua a lo largo del tiempo y del espacio siendo la valoración de la calidad del agua en una escala de 0-100, donde 0 (cero) es mala calidad y 100 es excelente.

Parámetros del Ica según la normativa del Perú

A continuación, se describen los parámetros (elementos o compuestos) establecidos en la normatividad ambiental y que son considerados para la evaluación de la calidad del agua:

Oxígeno Disuelto: Es una medida de lo contaminada que está el agua y del sustento que puede proporcionar a la vida animal y vegetal. En general, un mayor nivel de oxígeno disuelto indica una mayor calidad del agua. Algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir si los niveles de agua son demasiado bajos. Una gran parte del oxígeno disuelto en el agua procede del oxígeno del aire, que es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, y también puede proceder de las turbulencias de los ríos debido a que el oxígeno del aire que queda atrapado bajo el agua se disuelve en ella. Otro factor que puede influir en la cantidad de oxígeno que se disuelve en el agua es la temperatura. El agua fría guarda más oxígeno que la caliente.

Coliformes Termotolerantes (Fecales): La presencia de este parámetro en los cuerpos de agua superficial se debe a la contaminación fecal, cuyo origen pueden ser por los vertidos

de aguas residuales sin tratamiento a los diferentes ecosistemas acuáticos; otro de los factores es la inadecuada disposición de residuos sólidos que se depositan en los cauces de los ríos.

Mientras que la presencia de unos pocos microorganismos no patógenos en el agua puede ser tolerable, la presencia de organismos indicadores específicos puede indicar que esa agua puede estar contaminada con patógenos; estos, están generalmente asociados con el tracto intestinal; su presencia indica contaminación fecal, y de ellos, los coliformes son los más ampliamente utilizados como indicadores (Madigan et al., 2003).

Los coliformes fecales son contaminantes comunes del tracto intestinal de los seres humanos y de los animales de sangre caliente; están presentes en el tracto intestinal en grandes proporciones, permanecen más tiempo en el agua que los patógenos y se comportan de la misma manera que los patógenos en los sistemas de aguas residuales. En la inactivación de los coliformes fecales se deben tener en cuenta factores ambientales como, la humedad, temperatura, luz ultravioleta, pH, ya que estos microorganismos al no encontrarse en un ambiente favorable y al no obtener los nutrientes necesarios para su crecimiento se hacen más susceptibles a la inactivación (Fuccz 2007).

Tradicionalmente, estos organismos se han considerado indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua de consumo humano.

Los coliformes son más resistentes en los medios acuáticos que las bacterias patógenas intestinales, ya que su origen es mayoritariamente fecal. En consecuencia, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura. Además, su concentración en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal; es decir, cuanto mayor sea la concentración de coliformes en el agua, mayor será la gravedad de la descarga de heces. Los coliformes son un tipo de bacterias que pueden encontrarse en las plantas, el suelo y los animales, incluidos los

humanos. En general, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. La presencia de bacterias coliformes en el suministro de agua es una indicación de que puede estar contaminada con aguas negras u otros tipos de riesgos de descomposición.

Dado que no todos los coliformes tienen un origen fecal, fue necesario desarrollar pruebas para distinguirlos antes de utilizarlos como indicadores de contaminación. Así, se distinguen los coliformes totales, que incluyen a todo el grupo, y los coliformes fecales, que son de origen intestinal.

pH: Es una expresión cualitativa y cuantitativa del grado de acidez o alcalinidad de una determinada sustancia. Es un factor que expresa la intensidad de una sustancia ácida, que depende de su disociación, tanto como de la cantidad total presente.

El pH en las cuencas hidrográficas donde las aguas naturales sin actividad antrópica están determinadas en parte por la geoquímica de la cuenca y se rigen por los equilibrios dióxido carbono-bicarbonato-carbonato. El pH de la mayoría de las aguas oscila entre 6,5 y 8,5 (debido a la turbulencia y la aireación). El pH determina la evolución química de varios metales, así como su solubilidad en el agua y su biodisponibilidad. Por ello, es un parámetro crítico para determinar la calidad del agua.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): El DQO se utiliza como una medida de oxígeno igual al contenido de materia orgánica. Es una variable significativa que puede medirse rápidamente para determinar la contaminación de masas de agua naturales por aguas servidas, vertidos industriales orgánicos y efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales con alto contenido orgánico.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) (Constituyente Biológico): El DBO5 es un parámetro de contribución de materia orgánica que mide la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidar, degradar o estabilizar la materia orgánica en condiciones aeróbicas. Su determinación se basa en la oxidación natural de la degradación.

Este parámetro se utiliza para obtener una medida de materia orgánica biodegradable. Demanda bioquímica de oxígeno es una prueba utilizada en la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales, y residuales. Su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. (Davis y Cornwell, 1998).

Es una medida cuantitativa de la cantidad de materia orgánica en el agua. Está influida por la temperatura del medio, el tipo de microorganismos presentes y la cantidad y el tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores permanecen constantes, la tasa de oxidación de la materia orgánica puede expresarse en términos del tiempo medio de vida del elemento nutritivo. Según las normas de calidad del agua de la JCA, el nivel admisible de demanda bioquímica de oxígeno de las fuentes de agua utilizadas se determinará caso por caso, en función de la capacidad de asimilación del cuerpo receptor de agua. Tal determinación será efectuada para asegurar el cumplimiento con el estándar de oxígeno disuelto aplicable en el cuerpo de agua receptor (PREQB, 2004).

Nitrógeno. No3, Nitrato (Constituyente Químico): La concentración de nitrógeno en sus múltiples formas es de especial importancia debido a los procesos críticos como nutrientes de las plantas, y su contribución a las aguas superficiales naturales se debe a las aguas residuales domésticas no tratadas. Además, las plantas ricas en nitrógeno pueden provocar

problemas de eutrofización y nitrificación, lo que se traduce en mayores concentraciones de nitrato y riesgos de contaminación para quienes consumen estas aguas. Además, es un ingrediente esencial para el crecimiento de las algas y, por otra parte, provoca un aumento de la demanda de oxígeno al ser oxidado por las bacterias nitrificantes, disminuyendo los niveles de oxígeno disuelto.

Normalmente, el nitrato no es perjudicial para la salud a menos que se reduzca a nitrito (NO_2). La contaminación por nitratos se produce con frecuencia, principalmente a partir de fuentes no puntuales o de localización difusa. Las fuentes de contaminación por nitratos en suelos y aguas (superficiales y subterráneas) están asociadas mayoritariamente a las actividades agrícolas y forestales, mientras que en algunas zonas pueden estar también asociadas a determinadas industrias, con total participación del sector agrícola.

Su presencia en el agua potable debe controlarse principalmente porque los niveles elevados pueden causar metahemoglobinemia, a veces conocida como "enfermedad del bebé azul". Aunque los niveles de nitratos que afectan a los bebés no son peligrosos para los niños mayores o los adultos, indican la presencia de contaminantes potencialmente peligrosos procedentes de los hogares o la agricultura, como gérmenes o pesticidas. El origen de los nitratos en las aguas subterráneas se debe sobre todo a los fertilizantes, los sistemas sépticos y las operaciones de almacenamiento o expansión de estiércol.

Los fertilizantes nitrogenados que no son absorbidos por las plantas, se volatilizan o son arrastrados por escorrentía terminan en las aguas subterráneas en forma de nitratos. Los sistemas sépticos eliminan solamente la mitad del nitrógeno de las aguas residuales, dejando que la otra mitad sea llevada hacia las aguas subterráneas.

Esto hace que el nitrógeno no esté disponible para las plantas y puede, además, elevar la concentración en aguas subterráneas por encima de los niveles admisibles de calidad del agua potable. De esta forma, pueden aumentarse las concentraciones de nitrato en las aguas subterráneas.

Fosforo. Po_4 Fosfato: Es un elemento biogénico que juega un papel muy importante en el metabolismo biológico y estructural de los seres vivos. Es el menos abundante y al mismo tiempo es el factor más limitante en la productividad primaria. Es absolutamente necesario para la vida, ello funciona en el almacenaje y transferencia de energía, en los sistemas vivos. La universalidad del ATP como un portador de energía y la presencia de grupos fosfato en los nucleótidos y por ende como parte componente de los ácidos nucleicos, hace evidente la necesidad de los organismos por el elemento fosforo. Es bastante escaso comparado con los principales átomos de los seres vivos (C, H, O, N y S). La abundancia sobre el suelo terrestre es casi 1/10 del 1% por peso.

El fósforo total es una medida de todas las formas de fósforo existentes, ya sean disueltas o en partículas, que incluyen diversos constituyentes como varios ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación convierte a todos ellos en ortofosfatos, que se obtienen por análisis químico. Por otro lado, el fósforo es un nutriente que todos los organismos requieren para los procesos vitales básicos. Es un elemento natural que puede encontrarse en las rocas y en la materia orgánica. Se utiliza ampliamente en fertilizantes y otros productos químicos, por lo que puede encontrarse en altas concentraciones en zonas de actividad humana. El consumo excesivo de agua puede conducir a la eutrofización.

El fósforo puede existir en el agua como fase discreta o como fase continua. El material particulado puede incluir plancton vivo y muerto, fósforo precipitado, fósforo adsorbido a

partículas y fósforo amorfo. La fase disuelta incluye fósforo inorgánico y fósforo orgánico. El fósforo se encuentra habitualmente en las aguas naturales en forma de fosfatos (PO_4).

El fósforo es absorbido rápidamente por los organismos vivos lo que hace que en los análisis la cantidad de fosfatos es muy poca. El fósforo se oxida rápidamente y se encuentra en las rocas principalmente como ortofosfatos (PO_4) La fuente mayor es la roca ígnea como apatita, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$ que se encuentra unida a OH o Cl o fluoruro.

Turbidez del agua: El agua turbia es aquella que va cargada de materiales en suspensión, ya sean de origen orgánico o inorgánico. La turbidez es un factor ecológico importante porque interviene esencialmente reduciendo la intensidad luminosa y, consecuentemente, disminuyendo la productividad de los vegetales autótrofos. Al mismo tiempo, elimina los organismos de elevada necesidad de iluminación. La concentración de oxígeno suele ser función inversa de la turbidez (porque afecta la penetración de los rayos luminosos para la fotosíntesis, al calentarse el agua disminuye la solubilidad de los gases).

Los niveles altos de turbidez pueden ser causados por partículas suspendidas en el agua tales como tierra, sedimentos, aguas residuales y seston, conformado a su vez por:

El Tripton, partículas inanimadas conformadas por detritos orgánicos y coloidales.

El plancton, conformada por Organismos microscópicos de pequeño tamaño que viven suspendidos en el agua y que, por falta de transporte o por ser muy débiles, se desplazan o son arrastrados a la superficie por los movimientos de las masas o corrientes acuosas, tendiendo a proliferar en ambientes de movimiento lento (cochas o lagunas). El fitoplancton (microalgas) y el zooplancton (animales microscópicos) son los dos tipos de plancton.

El sentón, parte del residuo sedimentario que precipita y se acumula en el fondo del cuerpo de agua, en condiciones de quietud o calma.

Sólidos Totales disueltos (STD): (Constituyente Físico). De la diferencia entre los sólidos totales de una muestra de agua no filtrada y los sólidos de la muestra filtrada resultan los sólidos suspendidos totales. Las aguas crudas naturales contienen tres tipos de sólidos no sedimentables: suspendidos, coloidales y disueltos. Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; los más pequeños (menos de 0.01 mm) no sedimentan rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayores de 0.01 mm) son generalmente sedimentables (IDEAM, 2007 p 2).

Los sólidos coloidales consisten en limo fino, bacterias, partículas causantes de color, virus, etc., los cuales no sedimentan sino después de periodos razonables, y su efecto global se traduce en el color y la turbiedad de aguas sedimentadas sin coagulación, mientras que los sólidos disueltos, materia orgánica e inorgánica, son invisibles por separado, no son sedimentables y globalmente causan diferentes problemas de olor, sabor, color y salud, a menos que sean precipitados y removidos mediante métodos físicos y químicos (IDEAM, 2007 p. 2).

Desde el punto de vista medioambiental, una sustancia puede vivir en el agua de una de estas tres formas: disuelta, suspendida o coloide. Una sustancia disuelta es la que se encuentra dispersa uniformemente en el líquido. Pueden ser simples átomos o complejas estructuras moleculares de más de 1 μm de tamaño. Las sustancias disueltas se hallan presentes en el líquido en una sola fase, por lo que no pueden ser removidas del líquido sin lograr un cambio de fase como la destilación, precipitación, absorción o extracción. (Davis y Cornwell, 1998).

Temperatura: (Constituyente Físico) La temperatura es una medida de la cantidad de calor o energía térmica de una sustancia. Es independiente del número de partículas de un

objeto y, por tanto, de su tamaño. La temperatura del agua es significativa debido a que los organismos requieren condiciones específicas para sobrevivir. Este indicador influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del agua como el pH, la deficiencia de oxígeno, la conductividad eléctrica y otros factores fisicoquímicos. El aumento de la temperatura disminuye la solubilidad de los gases (oxígeno). Además, aumenta el ritmo de las reacciones metabólicas, por lo que acelera la putrefacción.

2.2. Marco conceptual

- **Acidificación.** Es el proceso u operación por el cual se cambia el pH de una sustancia al rango inferior; si es menor de 7, es ácida; si es mayor de 7, es alcalina.
- **Acuicultura.** Es un conjunto de actividades, técnicas y conocimientos relacionados con el cultivo de especies vegetales y animales acuáticas. Es una actividad económica importante que produce alimentos, materias primas para uso industrial y farmacéutico, y organismos vivos para su reproducción u ornamentación. Los sistemas de cultivo van desde el cultivo directo en el campo hasta las instalaciones totalmente controladas. Los cultivos más comunes son organismos planctónicos (microalgas y Artemia), macroalgas, moluscos y crustáceos.
- **Aérobico.** Los aerobios son organismos que pueden sobrevivir y desarrollarse en presencia de oxígeno.
- **Análogo.** Comparación o relación entre diversas razones o conceptos; comparar o relacionar dos o más seres u objetos a través de la razón, identificando caracteres generales y particulares, geniendo razonamientos basados en la existencia de semejanzas entre éstos, aplicando uno de ellos.

- **Antropogénico.** El término antropogénico se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de las actividades humanas, en contraposición a los que son el resultado de causas naturales sin influencia humana.
- **Bacteriológico.** Relativo a la Investigación de bacterias.
- **Biocida.** Los biocidas pueden ser productos químicos sintéticos o naturales o microorganismos que están diseñados para destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer otros tipos de control sobre cualquier organismo considerado perjudicial para el ser humano.
- **Biodiversidad.** Es un término que hace referencia a la gran variedad de seres vivos de la Tierra y a las fuerzas naturales que los conforman. Es la consecuencia de millones de años de evolución según procesos naturales, así como de la creciente influencia de las actividades humanas. También incluye la variedad de ecosistemas y las diferencias genéticas dentro de cada especie que permiten la combinación de varias formas de vida y cuyas interacciones mutuas con el resto del entorno proporcionan la base de la vida en la Tierra.
- **Biota/Biótico.** el término biota se refiere a un grupo de especies vegetales, animales y otras especies biológicas que viven en un área determinada.
- **Cambio climático.** El término "cambio climático" se refiere a la alteración del clima en relación con el clima histórico a escala global o regional. Estos cambios se producen en una amplia gama de escalas temporales y afectan a todos los parámetros meteorológicos, como la temperatura, la presión atmosférica, las precipitaciones, la nubosidad, etc. En general, se trata de cambios de orden natural, aunque actualmente se asocian al efecto humano sobre la tierra.

- **Cationes.** Un catión es unión que presenta carga eléctrica positiva, esto es, es decir, con defecto de electrones. Los cationes se describen con un estado de oxidación positivo.
- **Cianobacterias.** algas verdeazuladas. División del reino Monera que comprende las bacterias que realizan fotosíntesis oxigénica.
- **Coloidal.** La definición clásica de coloide, también conocida como dispersión coloidal, se basa en el tamaño de las partículas que lo componen, conocidas como micelas. Su tamaño es tan pequeño que no puede verse con los mejores microscopios ópticos, pero son más grandes que las moléculas ordinarias.
- **Estrés hídrico.** Cuando la demanda de agua supera la cantidad disponible en un periodo de tiempo determinado, o cuando su uso está restringido debido a su mala calidad. Provoca la degradación de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (acuíferos sobreexplotados, ríos salados, etc.) y de calidad (eutrofización, contaminación por materia orgánica, intrusión salina, etc.)
- **Esquistos.** Son un tipo de roca sedimentaria blanda formada por la acumulación de capas sucesivas de partículas finas (como la arcilla, el limo o el barro) transportadas principalmente por el agua.
- **Eutrofización.** Proceso natural y/o artificial en los ecosistemas acuáticos que se caracteriza por un aumento de las concentraciones de nutrientes como los nitratos y los fosfatos. Muchos tipos de agua sufren la eutrofización como resultado de las actividades agrícolas, urbanas e industriales.
- **Geomorfología.** Es una rama de la geología y la geografía que estudia las estructuras de la superficie terrestre.

- **Hidroxilo.** Es un grupo funcional constituido por un átomo de oxígeno y otro de hidrógeno, propio de los alcoholes.
- **Orgánico.** Se denomina así a todo lo que tiene la posibilidad de vivir una vida y descomponerse.
- **Permafrost.** Se trata de una capa de suelo o roca de profundidad variable en la que la temperatura ha estado por debajo de cero de forma ininterrumpida durante miles de años.
- **Polución.** Modificación nociva del estado natural de un Medio como el resultado de la introducción de un agente totalmente extraño a ese Medio.
- **Salobre.** Sustancia o líquido que contiene más sal disuelta que el agua dulce, pero menos que el agua marina.
- **Subcuenca.** Una subcuenca está integrada por varios ríos tributarios que desembocan en un curso principal, formando una unidad geográfica de menor superficie que la cuenca.
- **Transparencia.** Mide la zona fótica de una masa de agua, es decir, el grado de entrada de la luz solar. Este paso está interrumpido por el material sobrenadante presente en la columna de agua se mide con el uso del Disco de Secchi y los valores se expresan en cm.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

3.1.1. Enfoque

Para el presente trabajo de investigación se tomó en cuenta el enfoque cuantitativo, puesto que se midió la realidad que se investiga. Tomando en cuenta las siguientes razones:

Se procedió a la recolección y análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar la hipótesis planteada. Durante el proceso de cuantificación numérica, los instrumentos de medición o de recolección de datos permitieron medir con facilidad y eficiencia. Para lo cual, el instrumento de medición utilizado es válido y confiable.

Se empleó técnicas de recolección de datos estandarizados y validados.

Se comprobaron los objetivos planteados.

Se analizaron los datos obtenidos estadísticamente que permitió finalmente formular las conclusiones correspondientes.

El enfoque cuantitativo es un proceso deductivo, secuencial y probatorio, cada etapa conduce de forma lógica a la que viene, sirve para comprobar, explicar o predecir un determinado hecho. La Continuidad, rigurosidad y objetividad son sus características principales.

3.1.2. Alcance, Tipo: (*descriptivo, explicativo, correlacional*)

La investigación es:

- Descriptiva, porque trata de describir los fenómenos o sucesos relacionados con los diferentes factores físicos, químicos y biológicos, analizando las diversas variables o vertientes

del fenómeno estudiado. Para determinar el índice de calidad de agua y el nivel de eutrofización en la laguna de Huaypo.

- Explicativa, busca establecer las causas de los hechos, circunstancias o fenómenos de carácter ambiental, las condiciones en que se manifiesta y la relación entre las variables.

- Estadístico- Correlacional. Su finalidad es medir el grado de relación o asociación, existente entre dos o más variables. Primero se cuantifican las variables y luego, mediante la aplicación de técnicas estadísticas apropiadas y el contraste de hipótesis correlacionales, se estima el valor de correlación.

3.1.3. Diseño de investigación (tipos: experimental y/o no experimental)

El diseño metodológico es la descripción de cómo se va a realizar la investigación. El plan de acción para alcanzar los objetivos del mismo. Método empírico de observación científica deliberada. Para lo cual se siguió la siguiente secuencia:

- Formulación del problema
- Objetivos e hipótesis del trabajo
- Ubicación de los puntos de muestreo
- La obtención de datos
 - Las estrategias metodológicas
 - La recopilación fundamental
 - El trabajo de campo. Consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna.

- El análisis y la presentación de resultados para dar respuesta a la hipótesis y objetivos planteados
- Síntesis de las principales actuaciones realizadas

La investigación no experimental o *expost-facto*, es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente las variables independientes. Es observar los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos estadísticamente. Es investigación sistemática y empírica en la que las variantes independientes no se manipulan porque ya han sucedido.

Los diseños de investigación transeccional, se utilizan cuando la investigación se centra en analizar cuál es el nivel o estado de una o diversas variables en un momento dado o bien en cuál es la relación entre un conjunto de variables en un punto en el tiempo. En este tipo de diseño se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. En este diseño lo que se mide es la relación entre variables en un tiempo determinado.

Los diseños transeccionales correlacionales/ causales, tienen como propósito describir relaciones entre dos o más variables en un momento determinado. Se trata también de descripciones, pero no de variables individuales sino de sus relaciones, sean esta puramente correlacionales o relaciones causales. Lo que se mide es la relación entre variables en un momento determinado.

3.2.Población y Muestra

El término de población o universo hace referencia al total del objeto de estudio. En este caso el total está representado por la laguna de Huaypo. La muestra es una parte representativa de la población, para lo cual se tomó en consideración el muestreo intencional u

opinático que consiste en la selección de los elementos con base a criterios o juicios del investigador. Las diferentes muestras, tanto para los análisis físicos, químicos y biológicos se centraron en estricta relación con los objetivos

3.3.Operacionalización de variables

Tabla 4

Operacionalización de variables

Variable Independiente	Dimensiones	Indicador	Población y Muestra	Método	Instrumento /Equipo
Proceso de eutrofización y calidad del agua en la laguna de Huaypo.	Incremento del proceso de Eutrofización del agua	Grado de eutrofización TSI (Carlson)	P: Laguna de Huaypo M: 4 estaciones de muestreo en el lapso de 1 año	Análisis de laboratorio	Varios
	Deterioro de la Calidad del Agua	Indice de calidad de agua (ICA) Brown	P: Laguna de Huaypo M: 4 estaciones de muestreo en el lapso de 1 año	Análisis de laboratorio	Varios
Variable Dependiente	Dimensiones	Indicador/ Parámetro	Población y Muestra	Método	Instrumento /Equipo
Alteración y/o incremento de los factores físicos, químicos y biológicos generados por las diferentes actividades antrópicas	Factores físicos incrementados	Temperatura °C.	P: Laguna de Huaypo	Medición directa	Termómetro
	y/o alterados por las diferentes actividades antrópicas.	Turbidez (Unidades nefelométricas NTU)	M: 4 tomas por año (dos correspondientes a la época de lluvias y 2 a la época de secas)	Nefelómetro	Turbidímetro HACH
	Factores químicos incrementados	Transparencia (Metros)	P: Laguna de Huaypo	Medición directa	Disco Secchi
		Grado de acidez o		Medición directa	Potenciómetro

y/o alterados por las diferentes actividades antrópicas.	basicidad	M: 4 tomas por año (dos correspondientes a la época de lluvias y 2 a la época de secas)		
	pH		Método Winkler	Botellas Winkler
	Oxígeno disuelto (mg/l)		Método Winkler	Botellas Winkler
	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5 en miligramos por litros)			
Factores biológicos incrementados y/o alterados por las diferentes actividades antrópicas.	Nitratos (mg/l)		Método Kjendal	Espectrofotómetro
	Fosfatos (mg/l)		Método Rodier	Espectrofotómetro
	Coliformes termotolerantes antes (NMP /100 ml) a 37°C.	P: Laguna de Huaypo	Técnica de MacConkey	Laboratorio
	Concentración de clorofila alfa (mg/m3)	M: 4 tomas por año (dos correspondientes a la época de lluvias y 2 a la época de secas)	Método colorimétrico	Espectrofotómetro

Nota. Fuente: elaboración propia

3.4. Instrumento

Área de estudio

El presente trabajo de investigación fue desarrollado en la laguna de Huaypo ubicada en las coordenadas geográficas norte 8516548 y este 811088; en la cota 3528 msnm. La laguna de Huaypo políticamente se ubica en el departamento de Cusco, provincia de Anta, distrito de

Anta y provincia de Urubamba en los distritos de Chinchero y Maras respectivamente. Aproximadamente a 40 Km de la ciudad del Cusco.

3.4.1. Ubicación geográfica laguna de huaypo



La laguna Huaypo, está ubicada a 3507 metros sobre el nivel de mar, al noreste de la ciudad del cusco, en la provincia de Anta, localidad de Chacan y en la provincia de Urubamba al lado oeste del distrito de Chinchero y Maras, rodeada por las montañas del Salkantay, Verónica y Soray.

Latitud: -13.4

Longitud: -72.1333333

UFI: -349310

UNI: -527005

UTM: ZL11

JOG: SD18-08

Cuenta con un espejo de agua de 3.53 Km², con una profundidad promedio de 18 m y un volumen aproximado de 9,54 MMC. La laguna cuenta con un pequeño dique de represamiento de 1,645 m de altura y de 32 m de longitud que permite el almacenamiento de las aguas provenientes del proyecto de irrigación Sambor-Huaypo, el aporte de los manantiales, el riachuelo Chicaomayo, el canal San José y el aporte de aguas pluviales.

3.4.2. *Ubicación hidrográfica*

La laguna de Huaypo se encuentra ubicada en la cuenca del nivel 7 del mismo nombre, considerada como una cuenca endorreica. La demarcación de la cuenca pertenece al código 4994960 que se encuentra dentro de la cuenca del río Vilcanota.

La laguna de Huaypo se encuentra entre las coordenadas UTM WGS 84 norte 8515716-8515393 y UTM WGS 84 Este 807057-818210

La cuenca tiene una extensión de 46.45Km²

3.4.3. *Límites*

Por el norte: Intercuenca medio bajo Vilcanota

Por el este:	Intercuenca medio bajo Vilcanota
Por el sur:	Cuenca del río Apurímac y cuenca Pitumayo
Por el oeste:	Cuenca baja del río Vilcanota.

3.4.4. Accesibilidad

El área de estudio tiene las siguientes vías de acceso:

- La red vial de Cusco-Izcuchaca-Chacan-Huaypo. A 23 km de la ciudad del Cusco
- La red vial de Cusco-Chinchero-Huaypo. A 27 km de la ciudad del Cusco

3.4.5. Geología

La Laguna de Huaypo reposa sobre la Formación Chincheros. La Formación Chincheros está formada por una secuencia fluvio torrenciales. Su composición litológica y color es a veces confundida, con un conjunto caótico bastante deformado del Grupo Yuncaypata. Está constituido de arenas, gravas que tienen una matriz arcillo-arenosa. En general, los diferentes elementos clásticos que componen esta formación provienen de la erosión del Grupo Yuncaypata, es decir calizas, yesos y lutitas de diferentes colores. Esta unidad reposa sobre una topografía diferenciada y en discordancia angular sobre el Grupo Yuncaypata en alrededores de la laguna de Huaypo, y sobre las capas rojas del Grupo San Jerónimo al sur de la ciudad de Anta - Izcuchaca. Se le asigna una edad Pliocena del periodo Neógeno de la era Cenozoica.

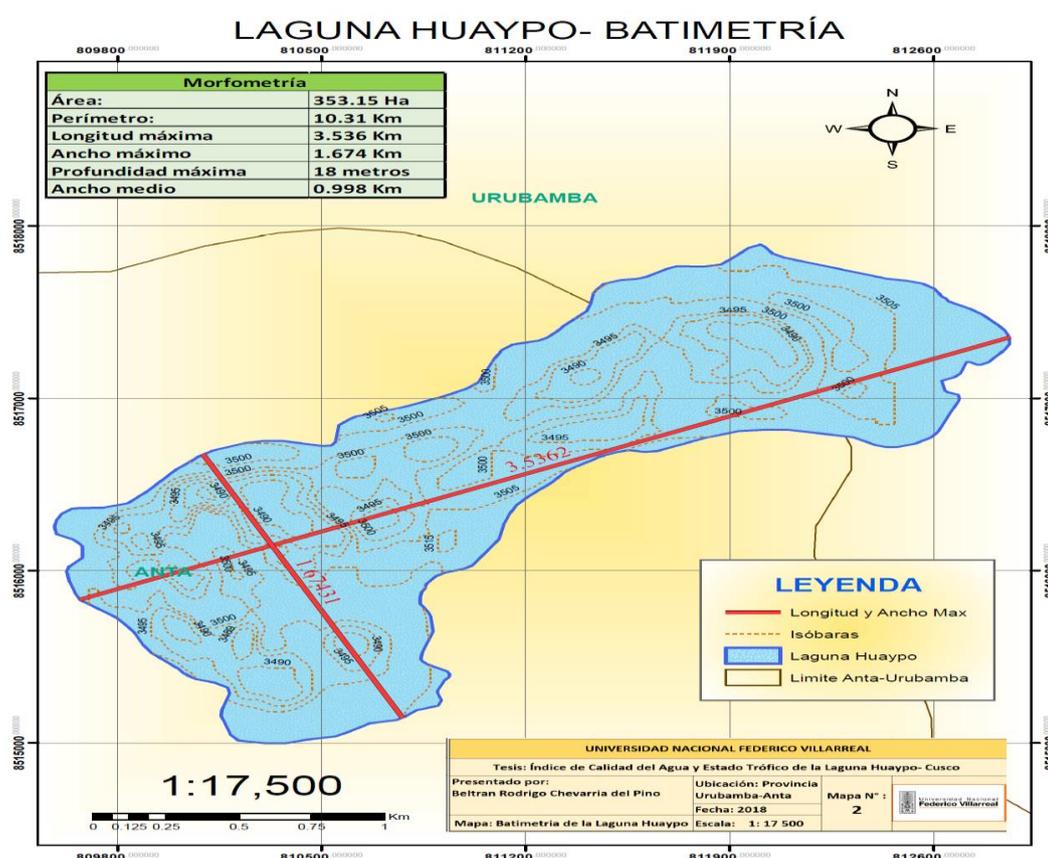
3.4.6. Morfología y morfometría lacustre

La laguna de Huaypo es “irregular” de contorno sinuoso, presenta las siguientes dimensiones:

Tabla 5

Datos morfométricos de Huaypo

Medidas morfométricas	Unidades de medida
Longitud máxima (LM)	3.536 km
Anchura máxima (AM)	1.674 km
Área Total (A)	353.15 Ha
Área de la zona limnética	17.7 Ha = 177 000 m ²
Área de la zona litoral	3.6 Ha = 36 000 m ²
Longitud línea de orilla (LO)	9700 m
Profundidad máxima (Zmx)	18 m
Profundidad media (Zmd)	13.1 m
Volumen (V)	2'796,767.58 m ³
Índice de desarrollo de orilla (D _L)	1.6



3.4.6. Ecología

A. Clima. El clima de la Región Cusco es tan diverso como su propia geografía, esta diversidad climática le confiere a la Región condiciones y posibilidades especiales en cuanto a recursos naturales, características de la vegetación y suelo como de posibilidades de uso de territorio. La zona correspondiente y aledaña a la laguna de Huaypo presenta un clima relativamente frío-seco.

Se presentan a lo largo del año dos épocas o temporadas bien diferenciadas:

- La temporada de “lluvias” que se presenta en los meses de octubre a marzo, variando de manera considerable las precipitaciones pluviales.
- La temporada de “secas” o de estiaje que se da en los meses de Mayo a setiembre. Cabe recalcar que en esta época se suscitan “heladas” sobre todo en los meses de junio y julio
- La precipitación anual se estima en 875, 10 mm/año. Las precipitaciones de mayor intensidad se distribuyen entre los meses de diciembre a marzo, con un período seco definido entre los meses de mayo a julio.
- La temperatura media anual es de 10,72°C, con una máxima de 13,10°C y una mínima de 8,15°C.

Tabla 6

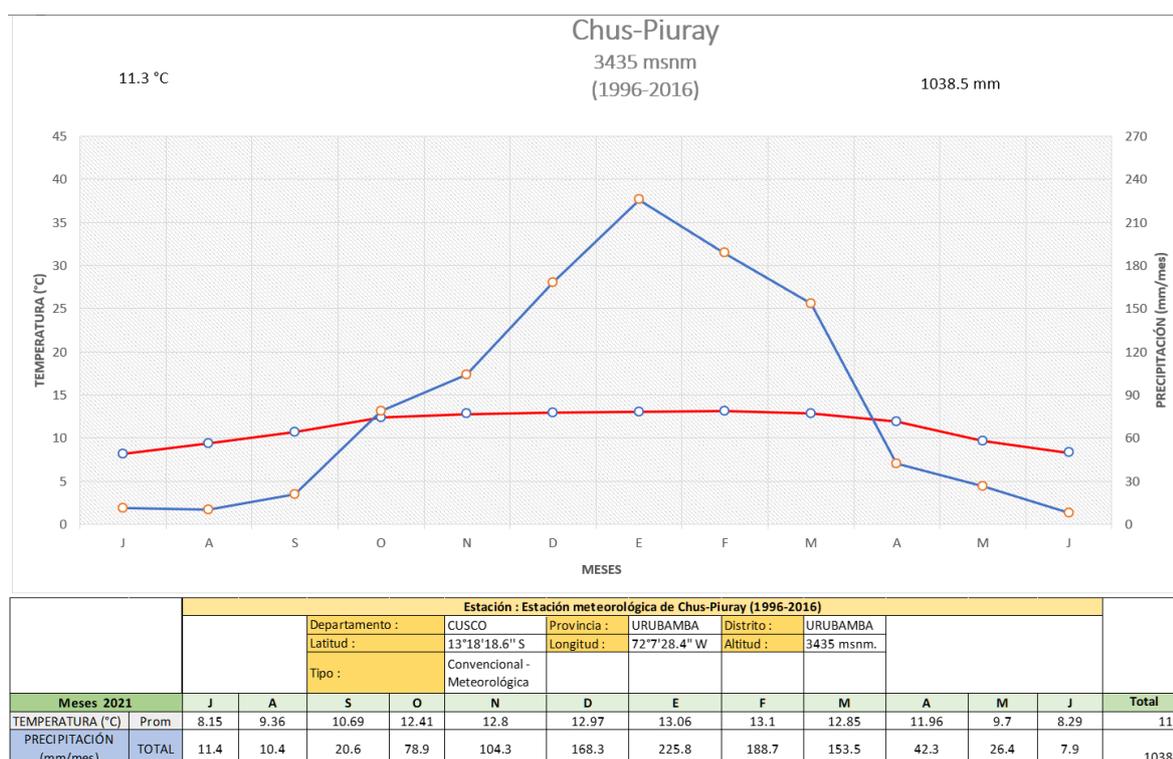
Datos de la Estación meteorológica de Chus-Piuray (1996-2016)

Meses	Temperatura promedio (°C)	Precipitación total/año (mm/mes)
Enero	13,06	225,8
Febrero	13,10	188,7
Marzo	12,85	153,5
Abril	11,96	42,3
Mayo	9,70	7,9
Junio	8,29	6,3
Julio	8,15	11,4
Agosto	9,36	10,4
Setiembre	10,69	20,6
Octubre	12,41	78,9
Noviembre	12,80	104,3
Diciembre	12,97	168,3
TOTAL	-	1038,5
PROMEDIO	11,3	86,54

Nota. Fuente: SENAMHI (1996-2016)

Figura 5

Estación meteorológica



Holdridge (1967), definió el concepto zona de vida del siguiente modo: «Una zona de vida es un grupo de asociaciones vegetales dentro de una división natural del clima, que se hacen teniendo en cuenta las condiciones edáficas y las etapas de sucesión, y que tienen una fisonomía similar en cualquier parte del mundo».

El sistema se basa en los siguientes 3 parámetros principales:

La biotemperatura media anual (en escala logarítmica).

La precipitación anual en mm (en escala logarítmica);

La relación de la evapotranspiración potencial (EPT) —que es la relación entre la evapotranspiración y la precipitación media anual

Haciendo uso de la clasificación de las Zonas de Vida, se identificó dos zonas para la laguna de Huaypo:

Bosque húmedo- montano subtropical (bh-MS)

Se halla ubicada entre los 3 350 m y los 3900 m de altitud. Las condiciones climáticas se caracterizan por presentar una biotemperatura media anual máxima de 12,9°C y una mínima de 6,5°C, el promedio máximo de precipitación total por año es de 1200mm/año y un promedio mínimo de 900mm/año. La evapotranspiración (EPT) varía entre 0,5 y 1,0 del promedio de la precipitación total por año.

La vegetación natural está dominada por especies herbáceas y arbustivas, se cita como ejemplo los pequeños bosques relictos de *Escallonia resinosa*, *Polylepis incana*, *Podocarpus glomeratus*. En la parte superiores se observa la presencia de grandes extensiones de pastos naturales altoandinos constituidos por las siguientes especies de: *Stipa ichu*, *Calamagrostis rigescens*, *Festuca dolichopoda*, *Poa condamoana* etc,

Esta Zona de Vida por las características climáticas que presenta, permite llevar a cabo una agricultura de “secano”. (ONERN 1976)

Páramo muy húmedo- subandino subtropical (pmh-SaS)

Se halla ubicado entre 3,900m y 4,500 m de altitud. Las características climáticas de esta Zona de Vida presentan una Biotemperatura media anual máxima de 6,9 °C y una media anual mínima de 4,6°C. El promedio máximo de precipitación total por año es de 850mm/año y un promedio mínimo de 750mm/año. La evapotranspiración potencial (EPT) por año varía entre 0,25 y 0,5 del promedio de la precipitación total por año.

La vegetación natural está constituida por la predominancia de gramíneas y otras herbáceas de hábitat perenne, las especies indicadoras de esta zona de vida son: *Festuca dolychophylla*, *Festuca heterophylla*, *Calamagrostis intermedia*, *Stipa ichu*, *Stipa obtusa*, *Bromus catharticus*, *Poa annua*, *Paspalum*, *Opuntia floccosa*.

Esta Zona de Vida presenta tierras de calidad agrícola baja y aptitud limitada para el pasoreo. La misma aptitud agrícola puede ser mejorada con prácticas de manejo y conservación de suelos (ONERN 1976)

A.Flora

Tabla 7

Vegetación sumergida

N°	Familia	Especie	Nombre local
1	Characeae	<i>Chara foetida</i>	Chara
2	Potamogetonaceae	<i>Zannichelia palustris</i>	Llachu
3	Haloragaceae	<i>Myriophyllum verticillatum</i>	
4	Hydrocharitaceae	<i>Elodea potamogeton</i>	Chinquil

Nota. Fuente: Datos propios

Tabla 8*Vegetación flotante*

N°	Familia	Especie	Nombre local
1	Lemnaceae	<i>Lemna giba</i>	Lentejas de agua
2	Salviniaceae	<i>Azolla filiculoides</i>	Azolla

Fuente: Datos propios

Tabla 9*Vegetación emergente*

N°	Familia	Especie	Nombre local
1	Cyperaceae	<i>Scirpus californicus</i>	
2		<i>Schoenoplectus tatora</i>	Totora
3	Juncaceae	<i>Juncus bufonius</i>	
4		<i>Juncus balticus</i>	Chiwa
5	Umbelliferae	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Matecllu
6	Scrophulariaceae	<i>Mimulus glabratus</i>	Ocoruro berro
7		<i>Veronica serpyllifolia</i>	Waylla cajetilla
8	Cruciferae	<i>Rorippa nasthurtium</i>	Berro blanco

Fuente: Datos propios

B.Fauna**Tabla 10***Mamíferos*

N°	Familia	Especie	Nombre local
1	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya
2	Caviidae	<i>Cavia schudii</i>	Purum coi
3	Cervidae	<i>Hyppocamelus antisensis</i>	Ciervo andino
4		<i>Odochoileus virginianus</i>	
5	Muridae	<i>Mus musculus</i>	Ratón casero
6		<i>Phyllotis andinum</i>	Ratón orejón
7		<i>Rattus rattus</i>	andino
8	Chinchillidae	<i>Lagidium peruanum</i>	Rata negra
9	Cricetidae	<i>Akodon sp</i>	Chinchilla
10	Mustelidae	<i>Mustela frenata</i>	Ratón de
11	Canidae	<i>Lycalopex culpaeus</i>	herbazales
12	Mephitidae	<i>Conepatus chinga</i>	Comadreja

Fuente: Datos propios

Tabla 11

Aves

N°	Familia	Especie	Nombre local
1	Ardeidae	Bubulcus ibis	Garza bueyera
2		Ardea alba	Garza blanca
3		Ardea cocoi	Garza cuca
4		Egretta thula	Garcita blanca
5	Columbidae	Nycticorax nycticorax	Mayu sonso
6		Columbia livia	Paloma
7		Zenaida auriculata	Tortola
8		Metriopelia melanoptera	Tortolita
9			cordillerana
10	Falconidae	Phalcoboenus megalopterus	
11		Falco sperverius	Cara cara andino
12	Scolopacidae	Tringa melanoleuca	Cernícalo, quillichu
13		Calidris melanotos	Chorlito
14		Phalaropus tricolor	
15	Anatidae	Anas puna	
16		Oxyura jamaicensis	Pato puna, cerceta
17		Chelophaga melanoptera	
18	Podicipedidae	Anas flavirostris	Huallata
19		Rollandia rolland	Pato barcino
20	Charadriidae	Vanellus resplendens	Zambullidor
21		Pluvialis dominica	Ave fría andina
22		Charadrius alticola	Chorlito
23	Laridae	Chroicocephalus serranus	Chorlo de la puna
24	Treskiornithidae	Plegadis ridgwayii	Gaviota andina
25		Theristicus caudatus	Yanavico
26	Trochilidae	Colibri coruscans	bandurria
27		Lesbia victoriae	kente
28		Patagona gigas	
29	Tytonidae	Tyto alba	
30	Rallidae	Fulica ardesiaca	lechuza común
31	Strigidae	Gallinula galeata	gallareta
		Bubo virginianus	polla de agua Buho

Fuente: Datos de campo

Tabla 12*Anfibios*

N°	Familia	Especie	Nombre local
1	Bufoidea	Rhinella spinulosa	Sapo común
2	Hemiphractidae	Gastrotheca marsupiata	Che'qlla
3	leptodactilidae	Telmatobius marmoratus	Rana

Nota .Fuente: Datos de campo

Tabla 13*Peces*

N°	Familia	Especie	Nombre local
	Cyprinodontidae	Orestias Agassi	Chaula
	Atherinopsidae	Odonthestes bonariensis	Pejerrey

Nota .Fuente: Datos de campo

3.4.7. Aspectos socioeconómicos

A.Agricultura. Los pobladores de la zona se dedican a la producción de cultivos tradicionales como papa, maíz, cebada, avena, haba, trigo. La actividad agrícola de alguna manera está diferenciada, así por ejemplo los pequeños productores localizados en pisos más altos, realizan una producción de subsistencia, empleando técnicas y herramientas ancestrales; mientras que en los pisos más bajos se practica una actividad agrícola un tanto más comercial.

B.Pecuaria. Es una actividad secundaria que representa para las familias una fuente de ingresos adicionales. La comercialización se realiza generalmente en las “ferias dominicales”.

C. Actividad turística. El turismo es un sector importante para cualquier economía del mundo, no solo porque genera puestos de trabajo, crecimiento económico e indudablemente desarrollo, sino porque, además, promueve la preservación cultural, la protección ambiental y nos genera una sensación de orgullo y apego por lo nuestro.

El turismo es el conjunto de relaciones y servicios que se generan a consecuencia del desplazamiento voluntario y temporal que realizan personas por razones diversas como son sus motivaciones y deseos sin que ello conlleve fines de lucro.

La Laguna de Huaypo es un interesante atractivo turístico que se encuentra localizada dentro de las provincias de Anta y Urubamba, en el departamento de Cusco. Este bello ecosistema acuático, presenta aguas transparentes y azuladas y es posible hallar diferentes especies de peces como pejerrey y callhuas, formaciones vegetales.

Otros animales que moran en la laguna son distintas variedades de sapos, así como también patos silvestres, gaviotas, las bandurrias, entre otros. Alrededor de la laguna, además es posible encontrar distintas comunidades campesinas como la de Chacan, Chequerec, Cruzpata.

La Laguna de Huaypo ofrece sus atractivos naturales para aquellos turistas que tengan interés tanto en la pesca como la caza; asimismo, los alrededores de la Laguna de Huaypo se ofrecen como un paisaje y escenario ideales para quienes muestren interés por el ecoturismo y gocen de su estancia al aire libre, en medio de una impresionante belleza.

Esta industria sin chimeneas está en pleno desarrollo puesto que en los últimos 5 años se ha incrementado de manera considerable por el arribo de turistas nacionales y extranjeros

Se asume que el turismo tiene un gran potencial para generar ingresos a los pobladores como actividades complementarias y diversificación laboral. Se espera la generación de empleos e ingresos directos por la venta de productos y servicios, articulándose con otras actividades económicas.

Parámetros, métodos e instrumentos / equipos utilizados en la investigación

N	Parámetro	Método	Equipo
1	Oxígeno disuelto	Electroquímico	Oxímetro Hanna HI91 6
2	Coliformes fecales NMP/100ml	Técnica de Mac Conkey	Laboratorio
3	DBO ₅	Electroquímico	Oxímetro Hanna HI91 6
4	pH	Electroquímico	pH metro
5	NO ₃ mg/l	Espectrofotométrico	Colorímetro HACH DR/850
6	PO ₄ mg/l	Espectrofotométrico	Colorímetro HACH DR/850
7	Turbidez	Nefelométrico	Turbidímetro Velp TB1
8	STD	Gravimétrico	Balanza analítica
9	Temperatura	Directo	Termo higrómetro Hanna HI 9565

Fuente: APHA, AWWA, WPCF –2005; MINSA-DIGESA, 2009.

3.4.8. *Ubicación de los puntos de muestreo*

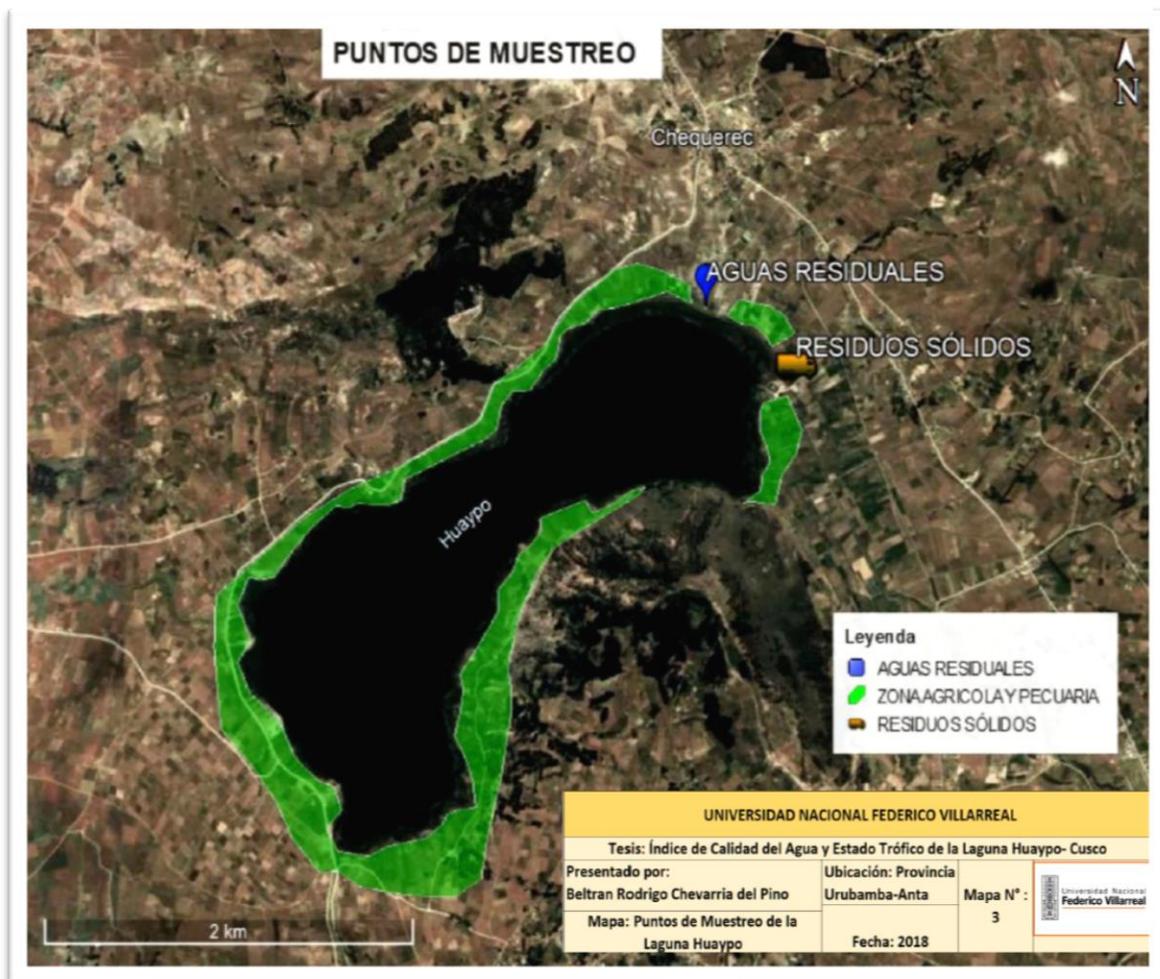
Para la elección de las estaciones de muestreo se tomó en cuenta “criterios de mayor representatividad”, para lo cual se consideraron diversos aspectos que influyen en el proceso de eutrofización y en consecuencia en la calidad de las aguas de la laguna, como son: centros poblados cercanos, ubicación de campos de cultivo, ubicación de zonas ganaderas, zona de vertimiento de las aguas residuales, centros de acumulación de residuos sólidos.

Inicialmente se desarrolló un estudio exploratorio-descriptivo en la laguna de Huaypo, seguidamente se continuó con la toma de muestras en puntos que ofrecen: facilidad de acceso, representatividad. Según estos criterios se establecieron la estaciones o puntos de muestreo:

A.Estaciones o puntos de muestreo. La primera estación es la zona agrícola donde se emplean agroquímicos; segundo ,la zona pecuaria donde se vierten deyecciones; tercero , zonas contaminadas con Residuos Sólidos, y finalmente la zona de los vertimientos de aguas servidas con materia orgánica y detergente.

Figura 6

Puntos de muestreo



La toma de muestras se realizó siguiendo el protocolo establecido por el IDEAM (2007) para análisis de parámetros físicos y químicos: las variables de pH, y oxígeno disuelto fueron determinadas “In situ” empleando un equipo Multiparámetro Hanna Hach. En laboratorio se emplearon los métodos descritos por el *Standard Methods* (APHA, WWA & WEF, 1998) para sólidos suspendidos (2540-D), DBO (5210-B), fósforo total (4500-B), Coliformes fecales (9223-B); para la determinación del nitrógeno se empleó el método Espectrofotométrico. También se empleó el método volumétrico en laboratorio.

La toma de muestra bacteriológica se realizó a una profundidad de 20 a 30 cm de profundidad. Los frascos de vidrio fueron previamente esterilizados, no deben ser sometidos a enjuague, la toma de muestra es directa dejando un espacio vacío para la aireación y mezcla de 1/3 del frasco de muestreo; para la preservación de la muestra se siguió las recomendaciones de la DIGES Temática y unidad de análisis.

3.5. Procedimiento

El monitoreo secuencial, nos permite presentar los resultados de las concentraciones de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos realizados en los diferentes puntos de muestreo, ubicados en la laguna, los cuales serán comparados con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA– Agua) según la clasificación de los mismos.

3.6. Análisis de datos

3.6.1 .Determinación del ICA (Metodología propuesta por Brown)

Un índice de calidad, es un número adimensional que atribuye un valor cualitativo a un conjunto de parámetros medidos, agregados matemáticamente. En términos simples, un ICA es un número único que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y su uso permite una rápida interpretación y reconocimiento de las tendencias en la calidad del cuerpo de agua a lo largo del espacio y el tiempo de uso (García, 2012). Se utilizó la metodología propuesta por (Brown, (1970)), que consiste en el cálculo de 9 parámetros: Oxígeno Disuelto (coliformes termotolerantes, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitratos, Fosfatos, Turbidez, Sólidos Totales, variación de temperatura), los resultados que se obtienen de la muestras son convertidos en valores q_i y se multiplican por un factor de corrección w_i , los cuales son propios de cada parámetro evaluado.

El ICA que se obtiene de la ecuación es un número entre 0 y 100, es un promedio geométrico ponderado que califica la calidad, a partir del cual y en función del uso del agua, permite estimar el nivel de contaminación.

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i \times w_i$$

Dónde:

- I.C.A.: Índice de calidad de agua, un número entre 0 y 100, adimensional.
- q_i : Calidad del i ésimo parámetro, un número entre 0 y 100, obtenido del respectivo gráfico de calidad, en función de su concentración o medida.

- w_i : Valor ponderado correspondiente al i ésimo parámetro, atribuido en función de la importancia de ese parámetro para la conformación global de la calidad, un número entre 0 y 1. La sumatoria de valores w_i es igual a 1, siendo i el número de parámetros que entran en el cálculo.

Tabla 14*Índice de la Calidad de agua (ICA)*

Calidad del agua	Rango ICA	Color
Muy malo	0 – 25	Rojo
Malo	26 – 50	Naranja
Medio	51 – 70	Amarillo
Bueno	71 – 90	Verde
Excelente	91 – 100	Azul

Fuente: Canter; 1996

Los índices pueden generarse utilizando ciertos elementos básicos en función de los usos del agua, el “ICA”, define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener. Estos Índices son llamados de “Usos Específicos”. El ICA posibilita la evaluación de los parámetros que afectan la calidad del agua para sus diferentes usos y resumir esta evaluación en un simple valor que nos sirva como una manera de comunicar y representar la calidad en los cuerpos de agua. Además, permite la comparación entre diversos ríos o en diferentes localizaciones para un mismo río.

Tabla 15

Escala del Índice de Calidad del Agua en función a sus diferentes usos.

USO	RANGO	ICA	CARACTERÍSTICAS
Uso para consumo humano	90 - 100	E	No requiere purificación para consumo.
	80 - 90	A	Purificación menor requerida.
	70 - 80	LC	Dudosa su consumo sin purificación.
	50 - 70	C	Tratamiento potabilizador necesario.
	40 - 50	FC	Dudosa para su consumo.
Uso recreativo	0 - 40	EC	Dudosa para su consumo.
	70 -100	E	Cualquier tipo de deporte acuático.
	50 -70	A	Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.
	40 - 50	LC	Dudosa para contacto con el agua.
	30 -40	C	Evitar contacto, solo con lanchas.
Uso en Agricultura	20 - 30	FC	Contaminación visible, evitar cercanía.
	0 -20	EC	Inaceptable para recreación.
	90 -100	A	No requiere purificación para riego.
	70 - 90	LC	Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua.
	50 -70	C	Utilizable en mayoría de cultivos.
Uso en Pesca y vida Acuática	30 -50	FC	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.
	20 -30	EC	Uso solo en cultivos muy resistentes.
	0 -20	A	Inaceptable para riego.
	70 -100	E	Pesca y vida acuática abundante.
	60 -70	A	Límite para peces muy sensitivos.
Uso en Pesca y vida Acuática	50 -60	LC	Dudosa la pesca sin riesgos de salud.
	40 -50	C	Vida acuática limitada a especies muy resistentes.
	30 -40	FC	Inaceptable para actividad pesquera.
	0 -30	EC	Inaceptable para vida acuática.

Nota . Fuente: (León, 2003)

LEYENDA:

- E: Excelente
- A: Aceptable
- LC: Levemente Contaminada
- C: Contaminada
- FC: Frecuentemente Contaminada
- EC : Excesivamente Contaminada

En síntesis, una determinada fuente de agua puede tener la calidad necesaria para satisfacer los requerimientos de un uso en particular y al mismo tiempo, no ser apta para otro. Puesto que no existe un tipo de agua que satisfaga los requerimientos de calidad para cualquier uso concebible ni tampoco “un criterio único de calidad para cualquier fin”, el concepto de Calidad de Agua, se aplica siempre en relación con un uso o aplicación previamente establecida (SENAMHI, 2008).

Tabla 16

Wi. Pesos correspondientes al parámetro i-ésimo en función de su importancia

PARÁMETRO	PESO RELATIVO (Wi)	IMPORTANCIA
(OD) % Oxígeno	0.17	Condiciones críticas para la vida
Coliformes fecales	0.16	Contaminación fecal, limitante para aguas de consumo humano
pH	0.11	Condiciones para la vida acuática y agua potable
DBO ₅	0.11	Materia biodegradable, limitante para aguas de consumo humano
Fosfatos	0.10	Determina niveles de eutrofización
Nitratos	0.10	Determina niveles de eutrofización y riesgos de consumo
Turbidez	0.08	Limitante para aguas de consumo humano
STD	0.07	Limitante para aguas de consumo humano
Temperatura	0.10	Crítico para la vida acuática y consumo humano

Fuente: (Ott W. , 1978)

Cada parámetro posee una curva estandarizada que relaciona la concentración o nivel del mismo. A partir del valor del parámetro (i) se puede obtener el valor del subíndice correspondiente (qi), obteniendo una curva donde en el eje de las abscisas se ubican varios niveles de la variable en particular y en el eje de las ordenadas los niveles de calidad del agua o valor del subíndice, el cual se encuentra entre 0 y 100. Siendo la calificación de 100 la que

proporciona la concentración más favorable para la conservación de flora y fauna (Brown y Barnwell, 1987).

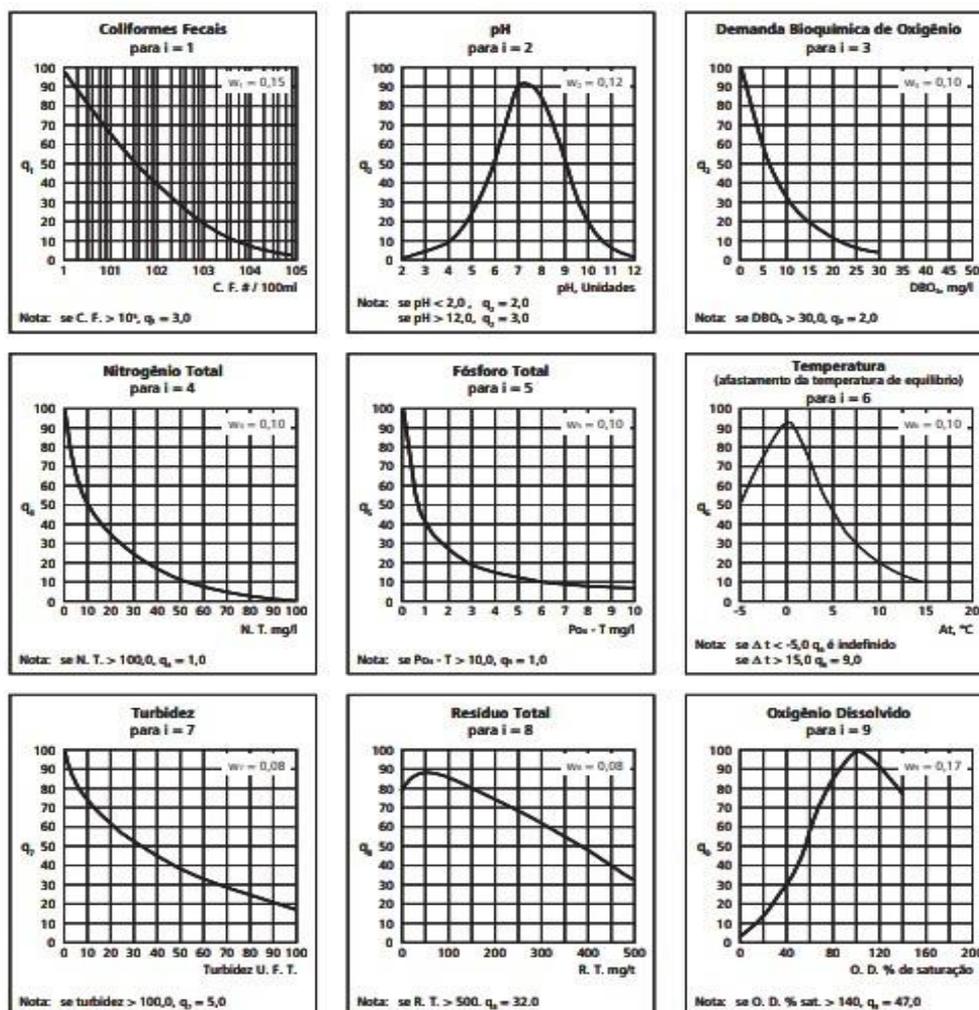
A continuación se explica los pasos a seguir para calcular los subíndices (w_i), con sus respectivas curvas promedio, para cada parámetro del Índice de Calidad. (IDEAM 2007). Construir curvas de valoración de la calidad del agua para cada variable con un rango de cero a 100% en las ordenadas y, los diferentes niveles de variables, en las abscisas. Estas curvas, conocidas como “relaciones funcionales” indican la variabilidad de la calidad del agua como consecuencia del nivel de contaminación de las variables, citado por (IDEAM 2007). Los valores obtenidos en las ordenadas corresponden a los subíndices de calidad.

Otros autores (Landwehr y Denninger, 1976), demostraron que el cálculo de los “ICA” mediante técnicas multiplicativas es superior a las aritméticas, es decir que son mucho más sensibles a la variación de los parámetros, reflejando con mayor precisión un cambio de calidad. Es por esta razón que la técnica que se aplicó en este estudio es la multiplicativa. Para determinar el valor del “ICA” es necesario sustituir los datos en la ecuación 2 obteniendo los Sub_i de distintas graficas como se explicará a continuación, dicho valor se eleva por sus respectivos w_i de la Tabla 2 y se multiplican los 9 resultados obteniendo de esta manera el “ICA”. El ICA, como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros indicadores de un deterioro de la calidad del agua, es una manera de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple. Por otro lado si el cálculo del ICA es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de la contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

Para calcular el índice de Brown se utiliza una suma lineal ponderada de los subíndices ICA. Esta se expresa matemáticamente así. $ICA = \sum_{i=1}^9 (sub\ i \times W\ i)$ Donde: Sub i = Subíndice del parámetro i W i = Pesos relativos asignados a cada parámetro Sub i y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que la sumatoria sea igual a 1. Además del peso de cada parámetro, presenta el valor de q en función de su concentración determinada, como se muestra en la Figura .

Los diferentes parámetros del Ica pueden ser expresados gráficamente y analíticamente

Figura 7
Expresión gráfica de los parámetros del ICA



En los últimos años este cuerpo de agua ha sufrido problemas serios de contaminación y mal uso, entre los que destacan: la siembra de pastos para ganado, lo que trae como consecuencia el deterioro de los suelos; la desecación y reducción de su espejo de agua para regar los cultivos entre agosto y diciembre, época en la que se agudiza la carencia de agua por falta de lluvias, así mismo para dar paso a las diferentes urbanizaciones en crecimiento; la eutrofización de sus aguas debido a la recepción de vertimientos domésticos por conexiones erradas del sistema de alcantarillado urbano; la sedimentación proveniente de su área aferente,

acelerada por la ausencia de vegetación que amortigüe ese proceso, y la disposición de residuos en su ronda. Adicionalmente, otro problema importante es la pérdida de especies nativas por el continuo deterioro de su hábitat. A medida que “moría” el espejo de agua, con él se extinguían la totora, helechos y otras plantas. Las aves empezaron a migrar. Cayó la producción de papa y maíz en las orillas del lago, que crea un microclima en una situación normal. Con la agricultura y ganadería en picada por falta de recurso hídrico, los comuneros pidieron ayuda para salvar la laguna.

Tabla 17

Calidad de agua según ICA

Calidad del agua	Rango ICA	Color
Muy malo pésimo	0 – 25	Rojo
Malo	26 – 50	Naranja
Regular o medio	51 – 70	Amarillo
Bueno o aceptable	71 – 90	Verde
Excelente	91 – 100	Azul

Fuente: Canter; 1996

El agua en un rango de 91 a 100, se considera como excelente calidad, puede tener una alta diversidad de vida acuática. Además, el agua sería segura para todas las formas de contacto directo con ella, ya que se encuentra en una forma muy similar o totalmente pura a como se encuentra en la naturaleza, sin ningún agente contaminante que la altere y no requiere de tratamiento.

El agua en un rango de 71 a 90, se considera como buena calidad, aunque para su consumo requeriría una purificación menor ya que se encuentra algún agente contaminante y por lo tanto es menor su calidad.

El agua en el rango de 51 a 70 se encuentra el agua de mediana calidad, generalmente tiene menor diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de algas. Se trata de un agua contaminada por diversos agentes, y para consumo humano necesita de tratamiento potabilizador.

El agua en el rango de 26 a 50 se encuentra el agua de mala calidad, es inaceptable para su consumo y requiere de tratamiento.

El agua con un ICA-NSF de 0 a 25 se considera como pésima o muy mala, es inaceptable para consumo humano y cualquier clase de contacto (Ott. W, 1981).

Las aguas con "ICA" mayor que 90 son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella. Las aguas con un "ICA" de categoría "Regular" tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas. Las aguas con un "ICA" de categoría "Mala" pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación. Las aguas con un "ICA" que caen en categoría "Pésima" pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación.

Tabla 18*Calidad del agua potable según el MINAM*

AGUAS SUPERFICIALES DESTINADAS A LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE			
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR (ECA)	Promedio de los valores físico - químicos
Turbidez	UNT	100	13.40
pH	Unidad de pH	5.5 - 9.0	8.71
STD	mg/L	1000	268.89
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5	4.62
Nitratos	mg/L	50	0.12
Fósforo Total	mg/L	0.15	0.13
Temperatura	°C	Δ 3	15.75

Nota .Fuente: MINAM

3.4.9. Determinación del Índice de eutrofización (Metodología propuesta por Carlson)

A. Cálculo del Estado Trófico (Carlson). La calidad de las aguas superficiales, sobre todo de lagos y embalses, se ve afectado por la eutrofización, que hace referencia al enriquecimiento de las aguas en sustancias nutritivas que conduce, generalmente, a modificaciones sintomáticas tales como aumento de la producción de algas y otras plantas acuáticas, degradación de la pesca y deterioro de la calidad del agua, así como de todos sus usos en general (OCDE, 1982).

En la Tabla se agrupan los valores límites establecidos por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) para la clasificación trófica de un medio acuático [OCDE, 1982].

Tabla 19

Valores límites establecidos por la OCDE para la clasificación trófica

Categoría trófica	Pt (μ/l)	Clorofila α (μ/l)		Transparencia Ds (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
Ultraoligotrófico	< 4.0	< 1.0	< 2.5	6 > 12.0	>6.0
Oligotrófico	< 10.0	< 2.5	< 8.0	> 6.0	> 3.0
Mesotrófico	10 – 35	2.5 – 8	8.0 – 25	6-0 – 3.0	3.0 – 1.5
Eutrófico	35 – 100	25 - 75	25 – 75	3.0 – 1.5	1.5 – 0.7
Hipereutrófico	> 100	>75	> 75	< 1.5	< 0.7

Nota .Fuente: OCDE

Este índice permite comparar fácilmente lagos con características similares. Se calcula un mismo índice asociando al estado trófico usando los tres parámetros interrelacionados entre ellos: DS=Profundidad Secchi en metros, Clo α = clorofila en $\mu g/L$, PT =P-Total en $\mu g/L$.

Tabla 20

Clasificación del índice de eutrofización (TSI) propuesto por Carlson

TSI	Clo α (mg/l)	D.S. m	PT (mg/l)	Trofia, descripción
30	0,95	8	6	Oligotrofia. Agua transparente, buena oxigenación en el hipolimnion
30 - 40	0,95 – 2,6	8 – 4	6 – 12	Oligomesotrofia. Aumento de la productividad primaria
40 - 50	2,6 – 7,3	4 – 2	12 – 24	Mesotrofia. Disminución de la transparencia, aumento de la masa algal, disminución de la concentración de O ₂ en el hipolimnion, en verano
50 - 60	7,3 – 20	2 -1	24 – 48	Eutrofia. Abundancia de la masa algal, problemas de la oxigenación en el hipolimnion
60 - 70	20 – 56	0,50 – 1	48 – 96	Dominancia de algas Cyanophytas, abundancia de macrofitos.
70 - 80	56 - 155	0,25 – 0,50	96 - 192	Hipereutrofia. La turbidez biogénica impide el ingreso de luz y por tanto el proceso fotosintético disminuye. Anoxia en el hipolimnion

B.Evaluación de los Índices TSI: Ya que los tres índices están interrelacionados entre ellos, deberían entregar el mismo valor. Por lo tanto, teóricamente cada uno de los índices puede ser usado para la clasificación de la trofía. Sin embargo, se otorga al TSI de clorofila α prioridad, porque es el parámetro que sirve mejor para predecir la biomasa de las algas. Por otro lado, si los TSI de los tres parámetros no coinciden, indica según la siguiente tabla condiciones diferentes a las condiciones en las cuales están basados los índices:

Tabla 21

Relaciones de los TSI y condiciones indicativas de éstas

Relación entre variables del TSI	Condiciones
$TSI(Clo\alpha) = TSI(PT) = TSI(DS)$	Algas dominan luz; $(TN/TP > 33.1)$
$TSI(Clo\alpha) > TSI(DS)$	Partículas grandes. Dominancia de Cyanophytas y diatomeas grandes
$TSI(PT) = TSI(DS) > TSI(Clo\alpha)$	Partículas que no son algas dominan la luz
$TSI(DS) = TSI(Clo\alpha) > TSI(PT)$	El fósforo limita la biomasa de algas $(TN/TP > 33.1)$
$TSI(PT) > TSI(Clo\alpha) = TSI(DS)$	Algas dominan la penetración de luz, pero otro factor (p.e. nitrógeno, pastoreo de zooplankton, toxinas etc.) limitan la biomasa algal

Tabla 22

Fórmulas para estimar el estado trófico aplicando los indicadores de eutrofía

Parámetro de eutrofización	Carlson (1977 – 1980)	Aizaki et al. (1981)
Transparencia (DS m)	TSIDS = 60 – 14.41 Ln (DS)	TSIDS = 10 x (2.46 + $\frac{3.76-1.57 \text{ Ln}(DS)}{\text{Ln } 2.5}$)
Fósforo total (PT mg/l)	TSI PT = 14.42 Ln (PT) + 4.15	TSI PT = 10 x (2.46 + $\frac{6.68-1.15 \text{ Ln}(PT)}{\text{Ln } 2.5}$)
Clorofila α (Clor α mg)	TSI Clor α = 9.81 Ln(Clor α) + 30.6	TSI Clor α = 10 x (2.46 + $\frac{\text{Ln}(\text{Clor}\alpha)}{\text{Ln } 2.5}$)
Media TSI = (TSI (Secchi) + TSI (PT) + TSI clorofila α) /3		

Fuente: Modificado de Carlson (1977; 1980) y Aizaki et al (1981)

C.Índice del Estado Trófico (IET o TSI). Este índice varía entre 0 y 100 es decir, de ultraoligotrófico a hipereutrófico. Se obtiene a través de la transparencia determinada con el disco de Secchi (DS), por ejemplo, un valor de TSI = 0 corresponda a una profundidad del DS 64 m y cada incremento de 10 m en TSI representa una reducción del 50 %, (ver **Tabla N°**). El mismo índice puede determinarse a partir de otros parámetros, como la concentración de clorofila (Clorf α) y fósforo total (Pt), cuya relación con la transparencia se ha deducido previamente.

Tabla 23

Escala de valores del estado trófico de Carlson en sistemas lénticos.

ESTADO DE EUTROFIA	TSI	TRANSPARENCIA DE SECCHI (DS) m	FÓSFORO TOTAL (PT) (mg/m³)	CLOROFILA α (CLα) (mg/m³)
Oligotrófico	0	64	0.75	0.04
0 < TSI < 30	10	32	1.5	0.12
	20	16	3	0.34
	39	8	6	0.94
	40	4	12	2.6
Mesotrófico	50	2	24	6.4
	69	1	48	20
	70	0,5	96	56
Eutrófico	80	0,25	192	154
	99	0,12	384	427
	100	0,062	768	1183
Hipereutrófico	TSI > 100			

.Fuente: Carlson (1997,1980)

Evaluación del estado trófico mediante el método de carlson (tsi).

3.4.10. Determinación de variables

El Índice de Estado Trófico de Carlson o TSI, método más empleado en la caracterización de salud de un sistema acuático, considera tres indicadores importantes, que se sustentan en la determinación de los índices de Fósforo Total (PT), Clorofila α (CLα) y Transparencia del disco Secchi (DS).

A. Determinación de fósforo total. Se tomaron las muestras en envases de plástico de 500 ml y fueron conducidos al laboratorio de análisis químico de la UNSAAC, determinándose por el Método Rodier.

Calculo:

$$mg\ P/l = \frac{mg\ P(en\ 50\ ml\ volumen\ final) \times 1.000}{ml\ de\ la\ muestra}$$

B.Determinación de clorofila α . Se utilizó el método colorimétrico (espectrofotométrico).

- Cálculo de concentración de clorofila α

$$C\ \alpha = 11,85(DO664) - 1.54(DO647) -$$

- Concentración de pigmento por unidad de volumen:

$$clorofila\ \alpha, mg/m^3 = \frac{C\alpha \times volumen\ del\ extracto\ (L)}{volumen\ de\ la\ muestra\ m^3}$$

3.4.11. *Determinación de la transparencia*

La forma de evaluar la transparencia consiste en bajar el disco Secchi suspendido en una cuerda metrada hasta la profundidad en que ya no es visible.....(3)

Aplicación de la fórmula de carlson (TSI):

3.4.12. *Índice de Estado Trófico o (TSI) para fósforo total (PT)*

Los valores obtenidos en ppm de Fósforo Total serán transformados a mg/m^3 .

$$\text{TSI (PT)}=14.42 \times \text{Ln (Pt)} + 4.15$$

3.4.13. *Índice de Estado Trófico o (TSI) para Clorofila α (CL α)*

De los datos de clorofila α obtenidos en laboratorio se expresarán en mg/m^3 , de esta manera se empleará la fórmula (2) y se determinará el TSI (CL α). (2)

$$\text{TSI (CL}\alpha\text{)} =9.81 \times \text{Ln(CL}\alpha\text{)}+ 30.6$$

3.4.14. *Índice de Estado Trófico o (TSI) para Transparencia de Secchi (DS)*

Se calculará a partir de los datos obtenidos después de realizar la observación en la laguna con el disco Secchi en cada estación de muestreo. Se expresará en unidades de metros “m”.

$$\text{TSI (DS)}=60-14.41 \times \text{Ln (DS)} \quad \text{..... (3)}$$

3.4.15. *Determinación del TSI aplicado a los tres parámetros*

$$\text{Carlson} = \frac{(\text{CL } \alpha) + \text{TSI (DS)} + \text{TSI (PT)}}{3}$$

Evaluación de los Índices TSI Ya que los tres índices están interrelacionados entre ellos, deberían entregar el mismo valor. Por lo tanto, teóricamente cada uno de los índices puede ser usado para la clasificación de la trofia.

Sin embargo, se otorga al TSI de clorofila a prioridad, porque es el parámetro es el mejor para predecir la biomasa de las algas. Por otro lado, si los TSI de los tres parámetros no

coinciden, indica según la siguiente tabla condiciones diferentes a las condiciones en las cuales están basados los índices.

3.6. Análisis de datos

3.6.1. *Procesamiento y Análisis estadístico de datos*

En este trabajo de investigación se utilizaron diferentes técnicas estadísticas las cuales se centran esencialmente en el diseño, la estimación y la interpretación de los resultados

Para analizar los datos cuantitativos que se mostraron en el presente trabajo de investigación, se utilizaron los paquetes estadísticos SPSS versión 22, Minitab versión 18 y el programa R con la finalidad de mostrar los resultados estadísticos, así como también las diferentes gráficas que serán necesarios para observar las tendencias y otras características.

Adicionalmente se utilizó la prueba t de Student para comparar las medias de 2 características, o el ANOVA para comparar más de dos características, el análisis factorial para observar la asociación de características homogéneas, la distribución Chí-Cuadrado para observar la variabilidad de una característica, entre otras.

Para los datos cualitativos se realizaron estimaciones, análisis de regresión y correlación y finalmente se procederá a realizar el análisis de componentes principales del caso multivalente.

Validez y confiabilidad de instrumentos

La validez está determinada a través del uso de métodos y de instrumentos idóneos que han sido validados y reconocidos por la comunidad científica internacional y que son utilizados en diferentes estudios propios de las ciencias naturales.

En cuanto a la confiabilidad debo mencionar que los métodos e instrumentos descritos en la sección correspondiente son estandarizados y utilizados en el Manual de Procedimientos

Analíticos para Aguas y Efluentes del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente Dirección Nacional de Medio Ambiente Laboratorio de tal forma que al ser utilizados correctamente en otras oportunidades darían los mismos resultados de investigación.

Asimismo, debo mencionar que este trabajo cuenta con el soporte logístico y académico de los Departamentos de Biología, Química, Matemáticas y Estadística de la UNSAAC quienes han mostrado su disposición a prestar los equipos de laboratorio y la colaboración especializada con las tareas de campo necesarias. (Se adjunta cartas)

3.7. Consideraciones éticas

IV. RESULTADOS

Resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos en la laguna de Huaypo entre octubre del 2017 a octubre del 2018

4.1. Determinación del Índice de calidad de agua (ICA, Brown)

Para poder analizar y determinar la calidad del agua es importante reconocer e identificar dónde están ubicadas las posibles fuentes de contaminación. Éstas son las responsables de que se puedan exceder los estándares de calidad de agua establecidos por la ECA en relación a la normatividad peruana.

La actividad más predominante dentro de la zona aledaña a la laguna de Huaypo, es la agricultura que representa una fuente de contaminación generada por el uso de agroquímicos como pesticidas y fertilizantes. Estos últimos son considerados como fuentes de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes. Además de la agricultura, otra fuente factible de contaminación es la presencia de granjas de animales de las cuales provienen patógenos y microbios. Las aguas servidas, residuales o negras que desembocan en el cuerpo de agua contaminan peligrosamente con microbios, protozoos y helmintos el cuerpo de agua.

Muchas comunidades rurales cercanas a la laguna utilizan pozos **sépticos** como sistema para manejar las aguas sanitarias. La mayoría de los pozos no son diseñados adecuadamente, por lo que se considera a dichas comunidades como los mayores contribuyentes de contaminación por coliformes fecales en las aguas superficiales.

Resultados de las concentraciones de los diferentes parámetros obtenidos en las diferentes estaciones de muestreo y fechas en que se tomaron las mismas.

Tabla 24*Resultados del primer muestreo 15 de octubre*

Parámetro	Unidad	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Oxígeno (O ₂)	mg/l	7.65	7.57	7.60	6.40
% saturación	%	82.00	81.16	81.47	68.78
Coliformes fecales	UFC/100ml	120	214	180	390
Coliformes total	UFC/100ml	320	430	340	520
DBO ₅	mg/l	1.35	2.17	1.89	3.35
pH	Adimensional	7.71	7.68	7.21	6.80
NO ₃	mg/l	0.60	0.58	0.31	0.59
PO ₄	mg/l	0.49	0.53	0.33	0.57
Turbidez	UNT	1.44	1.95	1.90	3.40
STD	mg/l	0.12	0.13	0.13	0.13
T. °C agua	Grados Celsius	16.40	16.50	16.40	16.50
T. °C ambiente	Grados Celsius	18.50	18.00	18.00	17.90
Cambio de T°		2.10	1.50	1.60	1.40

Tabla 25*Resultados del segundo muestreo 15 de enero*

Parámetro	Unidad	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Oxígeno (O ₂)	mg/l	8.30	8.27	7.90	6.60
% saturación	%	93.14	92.81	88.71	74.30
Coliformes fecales	UFC/100ml	85	120	150	370
Coliformes total	UFC/100ml	290	340	320	580
DBO ₅	mg/l	1.80	2.10	2.40	3.60
pH	Adimensional	8.20	7.55	7.45	6.60
NO ₃	mg/l	0.74	0.56	0.48	0.58
PO ₄	mg/l	0.42	0.49	0.31	0.52
Turbidez	UNT	1.20	1.50	2.00	1.85
STD	mg/l	0.13	0.12	0.19	0.15
T. °C agua	Grados Celsius	17.80	17.80	18.60	18.00
T. °C ambiente	Grados Celsius	21.00	21.30	22.00	21.40
Cambio de T°		3.20	3.50	3.40	3.40

Tabla 26*Resultados del tercer muestreo 15 de Abril*

Parámetro	Unidad	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Oxígeno (O ₂)	mg/l	7.50	7.48	7.35	6.2
% saturación	%	80.42	80.20	78.83	66.66
Coliformes fecales	UFC/100ml	97.00	180.00	160.00	425.00
Coliformes total	UFC/100ml	236.00	380.00	340.00	630.00
DBO ₅	mg/l	1.40	2.67	2.90	3.80
pH	Adimensional	7.80	7.30	6.80	6.40
NO ₃	mg/l	0.70	0.54	0.52	0.46
PO ₄	mg/l	0.39	0.51	0.32	0.55
Turbidez	UNT	1.55	1.50	1.62	1.57
STD	mg/l	0.21	0.19	0.22	0.22
T. °C agua	Grados Celsius	16.2	16.2	16.00	16.50
T. °C ambiente	Grados Celsius	18.5	18.5	18.5	18.60
Cambio de T°		2.30	2.30	2.50	2.10

Tabla 27*Resultados del cuarto muestreo 15 de julio*

Parámetro	Unidad	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Oxígeno (O ₂)	mg/l	6.80	6.85	6.80	5.70
% saturación	%	68.11	68.60	68.11	57.26
Coliformes fecales	UFC/100ml	95.00	238.00	180.00	549.00
Coliformes total	UFC/100ml	320.00	389.00	335.00	736.00
DBO ₅	Mg/l	1.90	2.85	3.32	5.10
pH	Adimensional	7.70	7.70	7.65	6.80
NO ₃	mg/l	0.69	0.62	0.59	0.67
PO ₄	mg/l	0.32	0.47	0.31	0.41
Turbidez	UNT	1.20	1.34	1.28	1.95
STD	mg/l	0.19	0.19	0.18	0.19
T. °C agua	Grados Celsius	14.40	14.40	14.50	14.40
T. °C ambiente	Grados Celsius	15.00	15.00	15.10	15.00
Cambio de T°		0.60	0.60	0.60	0.60

4.2. Análisis de resultados de los ensayos por parámetro.

La calidad del agua, incluye una relación de parámetros físicos, químicos y biológicos que define su composición, grado de alteración, y la utilidad del cuerpo hídrico.

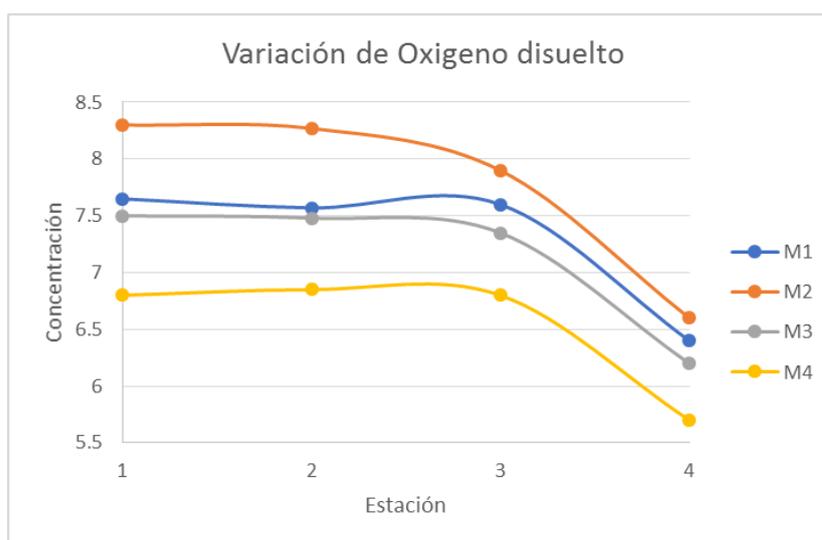
A continuación se presentan las gráficas de variación de cada uno de los parámetros analizados por épocas y puntos de muestreo en la laguna de Huaypo, haciendo una comparación con los límites permisibles de acuerdo a la normativa peruana.

- Muestreo 1 Octubre Inicio de la época de lluvias
- Muestreo 2 Enero Época de lluvias
- Muestreo 3 Abril Inicio de la época de secas
- Muestreo 4 Julio época de secas

4.2.1. Oxígeno disuelto (OD en % de saturación)

Figura 8

Variación del oxígeno disuelto (mg de OD/l)



El oxígeno disuelto, es uno de los gases más importantes en la dinámica y caracterización de los sistemas acuáticos. Es un requisito nutricional esencial para la mayoría de los organismos vivos, dada su dependencia del proceso de respiración aeróbica para la generación de energía y para la movilización del carbono en la célula. Además, el oxígeno disuelto es importante en los procesos de: fotosíntesis, reacciones redox (oxidación-reducción), solubilidad de minerales y la descomposición de materia orgánica.

Es un parámetro importante para evaluar la calidad del agua superficial, su presencia en los ecosistemas acuáticos, se debe al aporte del oxígeno de la atmósfera y de la actividad biológica (fotosíntesis). El oxígeno disuelto, es un parámetro ambiental vital, porque su evaluación permite informar y/o reflejar la capacidad recuperadora de un curso de agua y la subsistencia de la vida acuática.

El nivel de OD en los diferentes ecosistemas acuáticos, depende de las actividades físicas, químicas y biológicas que se llevan a cabo en la laguna y está en función de la presión atmosférica, la temperatura, la composición fisicoquímica, la salinidad y la materia orgánica presente.

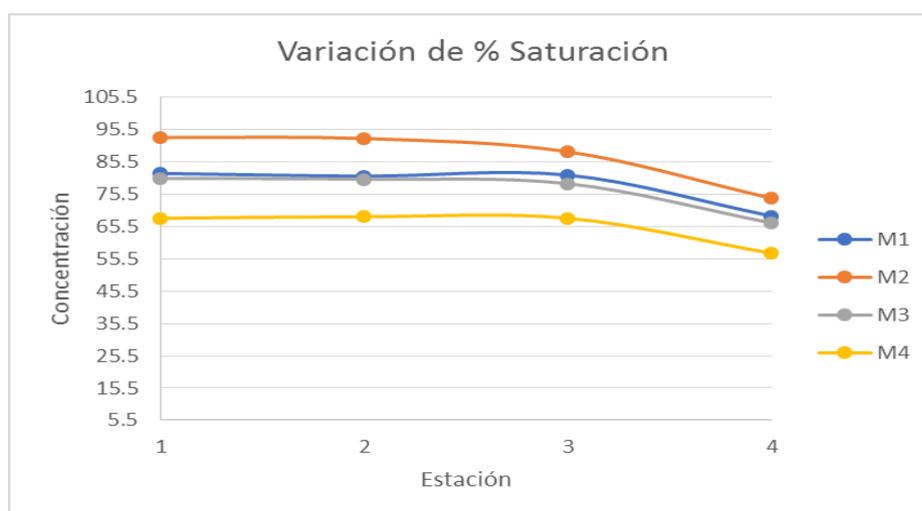
La diferencia de concentraciones de Oxígeno disuelto en las diferentes épocas está relacionada con el fotoperíodo, puesto que, en la época de lluvias, la cantidad de horas luz es mayor y en consecuencia el proceso fotosintético se incrementa.

Los resultados reportados son relativamente similares en las dos épocas como en las diferentes estaciones principalmente en las estaciones 1, 2, 3 con un promedio igual a 7.37mg OD/l, a excepción de la estación 4 que registra una menor concentración igual a 6.22 mg OD/l.

El agua contaminada por la descarga de aguas residuales o servidas en la estación 4, presenta una baja concentración de oxígeno disuelto, debido a que se consume en el proceso de descomposición microbiana de la materia orgánica.

Figura 9

Variación del oxígeno disuelto en términos de saturación



El porcentaje de saturación, es la lectura de oxígeno disuelto en mg/l dividido por el 100% del valor de oxígeno disuelto para el agua (a la misma temperatura y presión del aire).

El oxígeno disuelto en el agua no necesariamente se clasifica como un contaminante. Sin embargo, su escasez o exceso puede traer condiciones no favorables al agua, por lo que es un indicador de la contaminación. En algunos casos, el agua puede exceder el 100% de saturación y deviene como supersaturada por cortos periodos de tiempo, también puede presentar casos de hiposaturación en aguas altamente contaminadas.

El término, porcentaje de saturación a menudo se usa para las comparaciones de la calidad del agua.

Tabla 28

Niveles de oxígeno disuelto expresados en términos de saturación relacionados con la calidad del agua

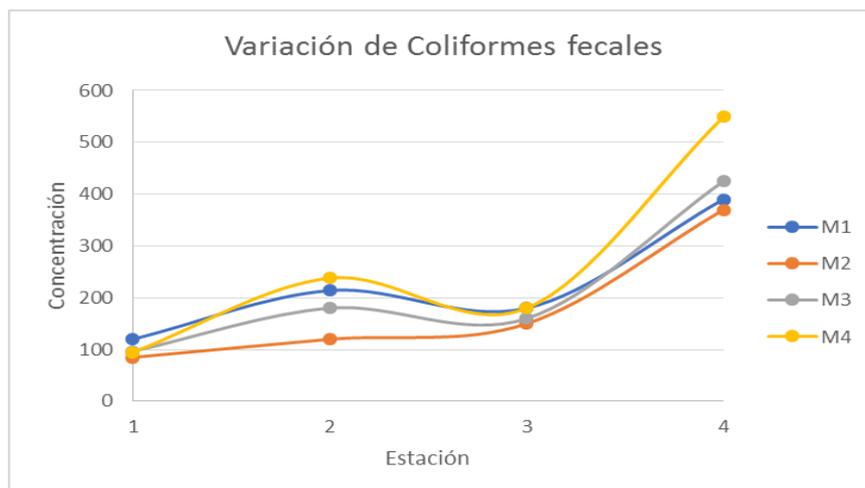
Nivel de OD	% de saturación de OD
Supersaturación	≥ 101 %
Excelente	90 – 100 %
Adecuado	80 – 89 %
Aceptable	60 – 79 %
Pobre	< 60 %

Los valores del porcentaje de saturación obtenidos en las diferentes estaciones de muestreo fluctúan entre un máximo de 93.14 y un mínimo de 57.26 y un promedio de 75.20, lo que indica que las aguas en términos de saturación porcentual de oxígeno en la calidad de agua es Aceptable. Los valores de Oxígeno Disuelto se encuentran dentro de los rangos permitidos de los Estándares de Calidad Ambiental emitidos según D.S. N°004-2017/MINAM, para la categoría 4: Conservación del ambiente acuático, con valores mínimos ≥ 5 mg/L.

4.2.2. *Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)*

Figura 10

Variación de coliformes totales (NMP/100ml)



Coliformes fecales o termotolerantes (Indicador biológico). Los Coliformes son bacilos gramnegativos que indican contaminación y los principales géneros son: *Escherichia*, *Enterobacter* y *Klebsiella*.

Son ampliamente utilizados en la evaluación de la calidad del agua, sirviendo como un parámetro microbiológico básico, entre otros que utilizan este control para garantizar la calidad del agua para el consumo humano, baños o procesos industriales.

Los Coliformes termotolerantes, también llamados Coliformes fecales, se encuentran en el tracto intestinal de animales de sangre caliente y son indicadores de contaminación.

Durante la temporada de secas se observaron las mayores concentraciones de Coliformes fecales del período de estudio (en promedio 265.5/ 100 ml). Y en la época de lluvias la menor concentración (en promedio 181.25 /100ml).

La estación 4 (zona de descargas de aguas servidas) presenta las mayores concentraciones en promedio, igual a 433/100ml mientras que la Estación 1 (Zona agrícola) registra concentraciones menores en promedio igual a 99.25/100ml.

Las bacterias fecales representan la causa de varias enfermedades gastrointestinales en los seres humanos. La OPS (1988) menciona que diversas enfermedades causadas por estos microorganismos son transmitidas dentro de los miembros de una misma especie, sin embargo existen bacterias que pueden pasar esta frontera biológica, por ejemplo a través de las heces de los animales.

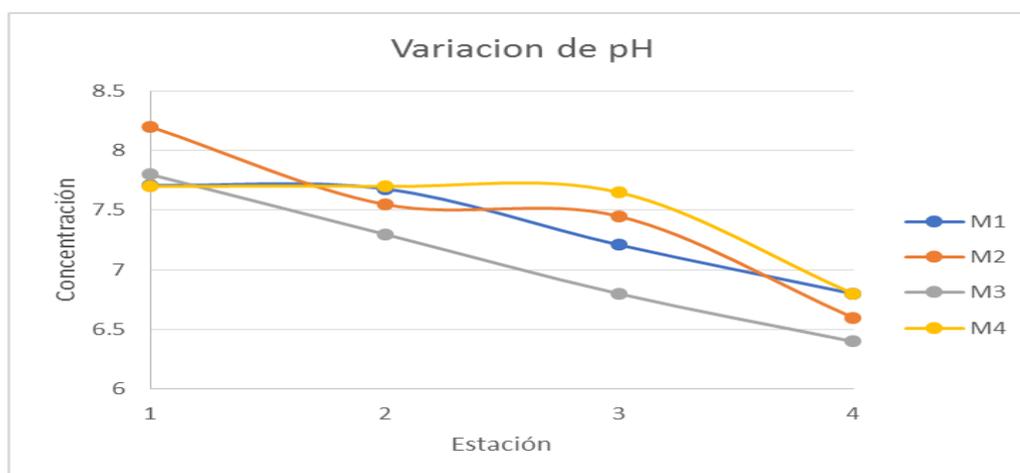
La presencia de bacterias fecales, presentes en los excrementos del hombre y de algunos animales. Impacta en la salud de los seres humanos expuestos al agua contaminada con estiércol (OPS, 1988).

Los valores de Coliformes Termotolerantes se encuentran dentro de los rangos permitidos de los Estándares de Calidad Ambiental emitidos según D.S. N°004-2017/MINAM, para la categoría 3: Agua para riego de vegetales de cuello bajo y alto con valores <1000NMP y para la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, con valores <1000NMP.

4.2.3. *pH (en unidades de pH)*

Figura 11

Variación del pH en las diferentes estaciones de muestreo



Siendo el pH, una expresión cualitativa y cuantitativa del grado de acidez o basicidad de una determinada sustancia, es muy importante para la vida y el metabolismo lacustre.

Las aguas naturales exhiben variaciones muy amplias en los valores del pH, dependiendo de la clase y cantidad de materiales disueltos en el agua que finalmente van a actuar como sustancias buffer.

En términos generales, el pH de un cuerpo de agua puede variar a lo largo de un amplio rango de valores, dependiendo de factores intrínsecos y extrínsecos al ambiente acuático. Efectivamente el pH de agua puede variar por efecto de la actividad fotosintética, la respiración celular y el efecto de descargas de origen antropogénico.

Los valores obtenidos en la laguna de Huaypo a lo largo de la época de secas y lluvias, fluctúan entre 6.40 y 8.20 con un promedio de 7.30 cercanos a la neutralidad.

Los valores ligeramente ácidos de 6.40, pertenecen a la zona de vertidos de aguas servidas o residuales. En esta estación, la materia orgánica al descomponerse produce CO_2 que al hidratarse produce H_2CO_3 , que se traduce en un aumento de la concentración de H^+ , que trae como consecuencia una disminución de los valores del pH hacia el lado ácido.



El pH elevado por encima de 7, en las cuencas hidrográficas donde escurren aguas naturales, en cierta forma está determinado por la geología de la cuenca y se rige por los equilibrios dióxido de carbono-bicarbonato-carbonato.

En la laguna de Huaypo, los valores analizados son superiores a la neutralidad en las diferentes estaciones de muestreo, debido básicamente a que la cubeta de la laguna está constituida por roca caliza, que al diluirse produce carbonatos y bicarbonatos que tienden a elevar los valores del pH.

El efecto letal de muchos ácidos aparecen cuando el pH es $< 4,5$ y para los álcalis a pH $>9,5$, sin embargo, la tolerancia de muchos organismos son considerablemente más restringidos dentro de estos extremos (pH 6 a 9) y lo óptimo pH entre 7 a 8.

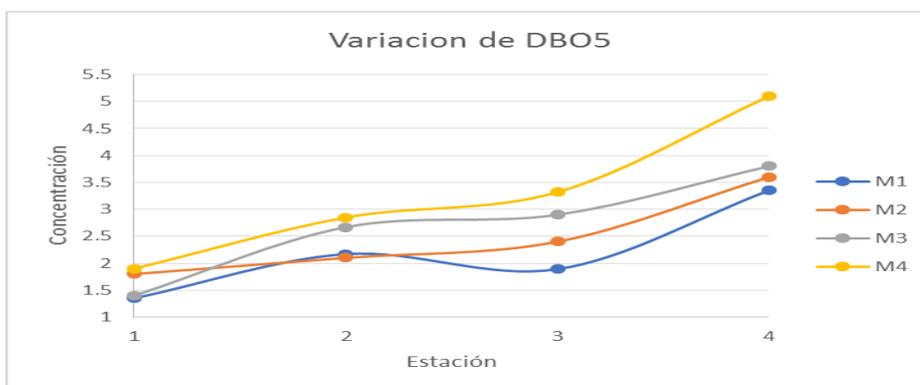
En la laguna de Huaypo, la capacidad buffer de las aguas naturales a resistir los cambios de pH (controlado por el sistema del ácido carbónico) es de gran importancia en el mantenimiento de la vida.

El pH en los ecosistemas acuáticos influye directamente en el funcionamiento fisiológico de las especies ícticas. Para la protección de la vida acuática el pH debe estar entre 6 y 9. Por tanto, los organismos presentes en la laguna de Huaypo se encuentran dentro de un rango permisible cercano a la neutralidad. Los valores de pH evidencian condiciones de agua ácida casi neutra, se encuentran dentro de los rangos permitidos de los Estándares de Calidad Ambiental emitidos según D.S. N°004-2017/MINAM, para la categoría 4: Conservación del ambiente acuático, con valores comprendidos entre 6.5- 9 unidad de pH.

4.2.4. *Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅ en mg/ L)*

Figura 12

Variación del DBO₅ en las diferentes estaciones de muestreo



La DBO (Demanda biológica de oxígeno) es un parámetro que representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica presente en el agua a través de la descomposición microbiana aeróbica.

La oxidación microbiana o mineralización de la materia orgánica es una de las principales reacciones que ocurren en los cuerpos naturales de agua y constituye una de las demandas de oxígeno, ejercida por los microorganismos heterotróficos, que hay que cuantificar. Uno de los procesos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas residuales es el ensayo de DBO a cinco días.

Básicamente, la DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20 °C.

Es una expresión cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica. Es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos y por la cantidad y el tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media del elemento nutritivo.

La DBO registró el valor más alto en el punto 4 (promedio de 3.96 mg/l); en contraste con el punto 1 (promedio de 1.61 mg/l), el rango de este parámetro se ubicó entre los 1.35 en la estación 1 y 5.1 mg/L en la estación 4, en todas las épocas evaluadas.

En el punto 4 fueron observadas las concentraciones más altas de la DBO, mostrando los valores más altos durante la época de secas (5.10 mg/l); en el mismo punto se registró el promedio más alto de todos los lugares de muestreo con 3.96 mg/l para este parámetro.

Los tenores de DBO₅ registrados en la laguna de Huaypo, fluctúan entre 5.1 mg/l en la estación 4 donde existe materia orgánica en abundancia, proveniente de las descargas de aguas residuales de la población en crecimiento.

En esta estación las aguas se califican como buenas pero se debe tener cuidado, y necesariamente deben de ser potabilizadas.

Los valores altos de DBO₅, indican la presencia de contaminación orgánica en el cuerpo de agua, además de bajas concentraciones de OD, que pueden causar la muerte de los peces y la eliminación de otros organismos acuáticos.

El valor más bajo de 1.4 mg/l corresponde a la Estación 1 o agrícola, por tanto en esta estación las aguas están enmarcadas en el rango de excelentes, pero con todo ello deben de pasar por un proceso de tratamiento de potabilización.

Según los Estándares de calidad de agua (ECA), el nivel permisible de la demanda bioquímica de oxígeno de fuentes de aguas usadas será determinado, caso por caso, dependiendo de la capacidad asimilativa del cuerpo de agua receptor. Tal determinación será efectuada para asegurar el cumplimiento con el estándar de oxígeno disuelto aplicable en el cuerpo de agua receptor.

Asimismo, como antecedente se puede mencionar que en los monitoreos de calidad del agua de las cuencas hidrográficas del Perú, se han encontrado presencia de este parámetro cuyas concentraciones superan los ECA- Agua.

Tabla 29

Interpretación de los resultados de DBO₅ en aguas superficiales

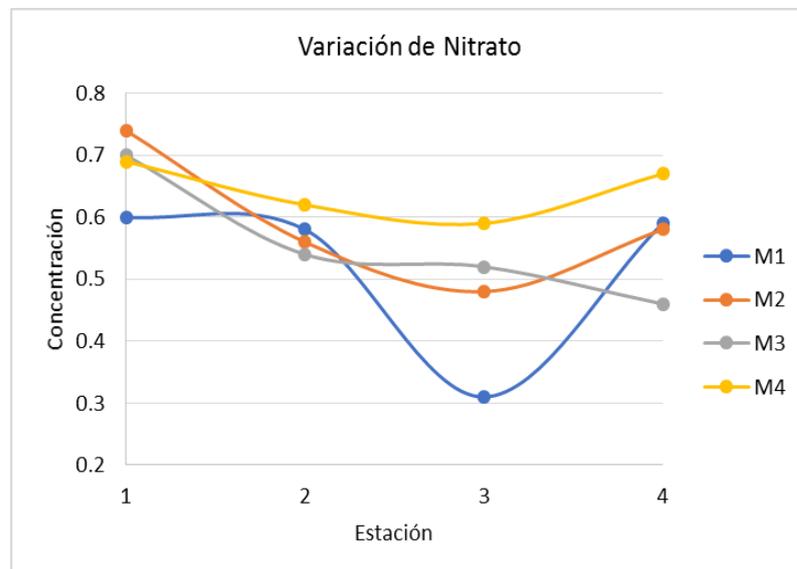
Criterios (mg/l)	Clasificación	Color
$DBO_5 \leq 3$	Excelente, no contaminada	Azul
$3 < DBO_5 \leq 6$	Buena calidad, aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	Verde
$6 < DBO_5 \leq 30$	Aceptable, con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
$30 < DBO_5 \leq 120$	Contaminada, aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen urbano	Naranja
$DBO_5 > 120$	Fuertemente contaminada, Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas residuales crudas, urbanas y no urbanas	Rojo

La DBO₅, indica además del material biodegradable, el material no biodegradable presente en el agua. Los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) se encuentran dentro de los rangos permitidos de los Estándares de Calidad Ambiental emitidos según D.S. N°004-2017/MINAM, para la Categoría 3: Parámetro de riego de vegetales, D1 Riego de cultivos de tallo alto y bajo es 15mg/L y para la categoría 4: Conservación del ambiente acuático en relación a los 5mg/L establecidos.

4.2.5. Nitratos (NO_3 en mg/L)

Figura 13

Variación del NO_3 en las diferentes estaciones de muestreo



Las fuentes de nitrógeno que ingresan a los diferentes cuerpos de agua son de distinta naturaleza, una de las principales es la descarga de aguas residuales sanitarias y efluentes industriales. En los campos agrícolas y ganaderos, la escorrentía del agua de lluvia en los suelos que han recibido fertilizantes y excrementos también es una fuente de nitrógeno, así como el drenaje del agua de lluvia en las áreas urbanas. También se produce la fijación biológica del nitrógeno atmosférico por algas y bacterias. Además, otros procesos, como la deposición atmosférica por el agua de lluvia, también causan suministro de nitrógeno a los cuerpos de agua. La concentración alta o baja de nitratos expresada en mg/l, está relacionada con los diferentes niveles de oligotrofia o eutrofia.

Las concentraciones más altas de nitrógeno total fueron determinadas para la época de secas (con un promedio de 0.64 mg/l); en contraste, las concentraciones más bajas (promedio de 0.52 mg/l) fueron observadas para la época de transición de secas a lluvias.

Las concentraciones más altas de nitrógeno en la forma de nitratos en la laguna de Huaypo, se registran en la zona agrícola igual a 0.74 mg/l. puesto que en la época de lluvias, las aguas de escorrentía arrastran este compuesto desde los campos agrícolas al cuerpo de agua; la concentración más baja corresponde a la zona donde se echan los residuos sólidos igual a 30.31 mg/l.

La concentración de nitrato en aguas superficiales normalmente es baja (0-18 mg/l), pero puede llegar a alcanzar elevados niveles como consecuencia de las prácticas agrícolas o de residuos urbanos y ganaderos (especialmente granjas), o por la aportación de aguas subterráneas ricas en nitrato.

En la zona ganadera, el valor obtenido corresponde a la segunda concentración más alta, igual a 0.62 mg/l. El nitrógeno procedente del estiércol o de los abonos puede provenir de manera similar de los prados, corrales, o lugares de almacenamiento.

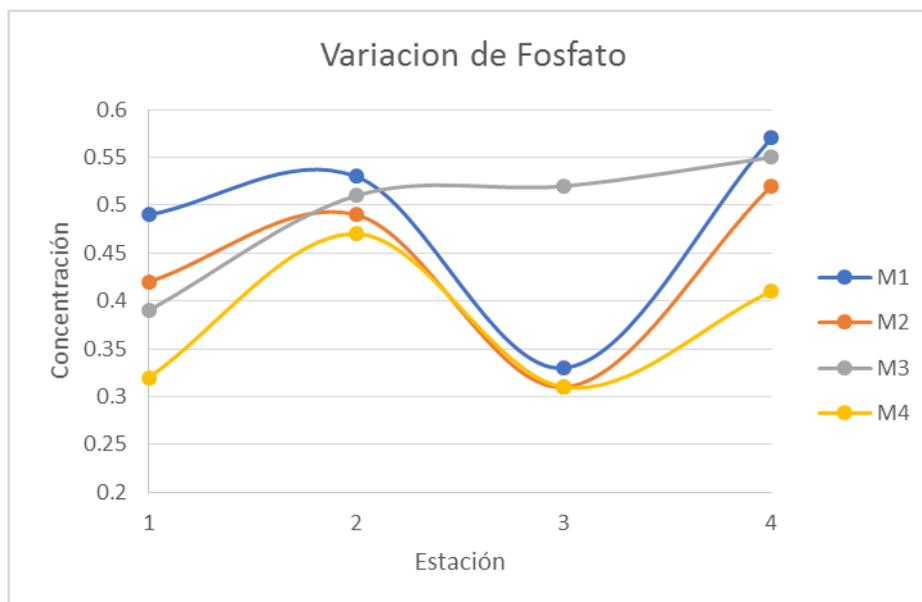
El estándar de calidad de agua para los nitratos, según la ECA, es de 10 mg/l, en consecuencia, los valores obtenidos de NO_3 no están por encima de los LMP

La concentración de Nitratos se encuentran dentro de los rangos permitidos de los Estándares de Calidad Ambiental emitidos según D.S. N°004-2017/MINAM, tanto para la categoría 3: Riego de cultivos de tallo bajo y alto con valores $< 100\text{mg/L}$ y bebida de animales con valores menores a $<100\text{mg/L}$. y aguas de categoría 4: Conservación del ambiente acuático, con valores $<13\text{mg/L}$.

4.2.6. Fosfatos (PO_4 en mg/L)

Figura 14

Variación del PO_4 en las diferentes estaciones de muestreo



Fósforo Total (Constituyente Químico) como orto fosfato (PO_4). Es uno de los elementos biogénicos que juega uno de los roles más importantes en el metabolismo biológico y como componente estructural de los ácidos nucleicos y fosfoglicéridos. Es el menos abundante y al mismo tiempo es el factor más limitante en la productividad primaria. Desde el punto de vista limnológico, la forma más importante es el orto fosfato, pues es la manera como las plantas acuáticas y el fitoplancton pueden absorberlo. Las concentraciones de fósforo total en promedio oscilaron entre los 0.37 mg/l, durante la época de secas, y de 0.48 mg/l durante la época de transición de temporada seca a lluviosa. Las concentraciones de este parámetro fueron mayores en el punto de muestreo 4 (0.51 mg/l en promedio) y el punto de muestreo 3 presentó las más bajas (0.31 mg/l en promedio). Las concentraciones de este parámetro fueron bastante similares en las diferentes estaciones de muestreo, con un ligero incremento en la Estación 4

por la adición aguas servidas que contienen cantidades considerables de fosfatos y otros nutrientes.

El factor antrópico es uno de los principales factores en el incremento de la concentración de nutrientes, existente en los diferentes ecosistemas acuáticos. Las razones son diversas, desde el no tratamiento de las aguas servidas, hasta el excesivo uso de agroquímicos en las labores agrícolas y ganadero de los suelos.

El fósforo ingresa a las aguas superficiales por los vertimientos de saneamiento, es el principal nutriente responsable del proceso de eutrofización de los cuerpos de agua superficial. Todos estos tipos de fosforo ingresan a las aguas naturales superficiales a través de vertidos residuales domésticos y por escorrentía de los campos agrícolas y debido a su capacidad como nutriente, es la responsable del crecimiento explosivo de algas en los cuerpos naturales de agua.

Como se ve, el uso de fertilizantes que contienen nitratos, fosfatos y potasio, afectan la calidad del agua y el nivel trófico de un ecosistema acuático, ya que la tasa de exportación de estos nutrientes, especialmente el fósforo, desde el suelo por el agua superficial, se incrementa en forma lineal con el aumento del contenido del suelo.

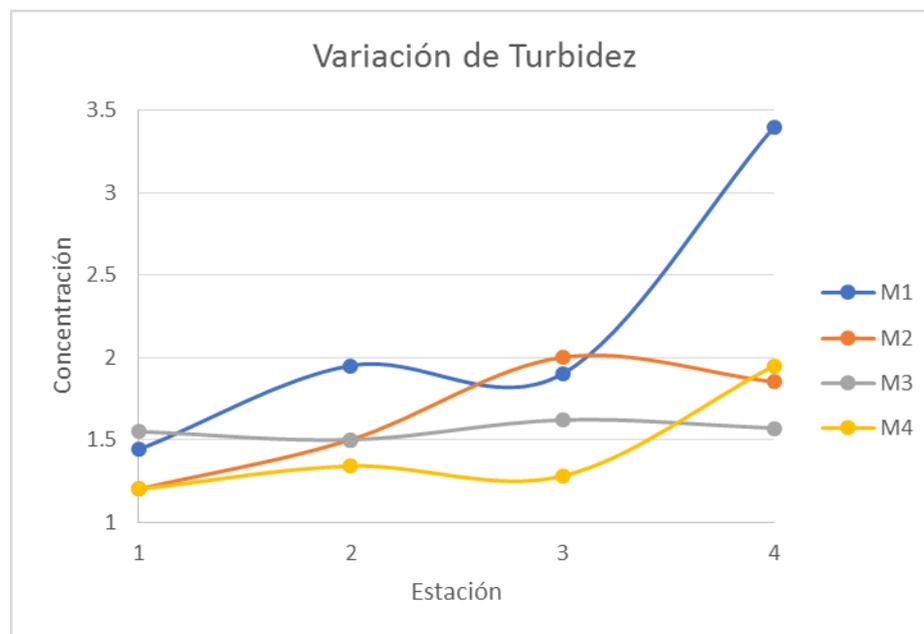
El estándar de calidad de agua para el fósforo total, según la ECA, es de 1 mg/l según la normativa peruana, por tanto la cantidad de fosfatos en la laguna de Huaypo se encuentran por debajo de los LMP.

Los fosfatos son compuestos naturales de sales que contienen fósforo y otros minerales. Los Estándares de Calidad Ambiental emitidos según D.S. N°004-2017/MINAM, para la categoría 4: Conservación del ambiente acuático para el fosforo total es de valores $<0.035\text{mg/L}$.

4.2.7. Turbidez (en UNT)

Figura 15

Variación de la turbidez en las diferentes estaciones de muestreo



Se define como el grado de opacidad producido en el agua por la materia orgánica e inorgánica, particulada suspendida. Los valores se expresan en NTU (Unidades Nefelométricas) ó FTU (Unidades Formadoras de Turbidez).

La turbidez indica el grado de atenuación que sufre un rayo de luz al cruzar el agua. Esta atenuación ocurre a través de la absorción y dispersión de la luz causada por los sólidos en suspensión (limo, arena, arcilla, algas, escombros, etc.).

La principal fuente de turbidez es la erosión del suelo, cuando en la estación lluviosa el agua de lluvia trae una cantidad significativa de material sólido a los cuerpos de agua, además del volcado de sedimentos. Las actividades mineras, así como la descarga de aguas residuales

y efluentes industriales, también son fuentes importantes que causan un aumento en la turbidez del agua. Los valores de turbidez analizados en la laguna de Huaypo se encuentran en el rango de 1.20 a 3.4 UNT entre las diferentes estaciones de muestreo a lo largo del período de estudio.

De manera normal, las lagunas alto andinas son de naturaleza oligomíctica y pueden comportarse como polimícticas, ya que pueden circular dos o más veces en la época de secas.

Los valores altos de turbidez que puedan registrarse en los meses de junio y julio, posiblemente estén relacionados con el fenómeno de circulación y recirculación de nutrientes.

Este fenómeno influenciado por la temperatura y la densidad, determina que las aguas superficiales más densas y pesadas se hundan, y emerjan las aguas más profundas, arrastrando sedimentos desde el fondo de la laguna hacia las capas superficiales. Este fenómeno de circulación y recirculación se verifica de manera recurrente en la mayoría de las lagunas alto andinas, en la época de “secas”.

La excesiva turbidez afecta notoriamente a la concentración de Oxígeno disuelto, tanto en la columna de agua como en la Región limnética. Este fenómeno determina una disminución drástica de OD que incide negativamente en las comunidades biológicas, especialmente en la nectónica, produciendo una tasa de mortalidad alta por asfixia.

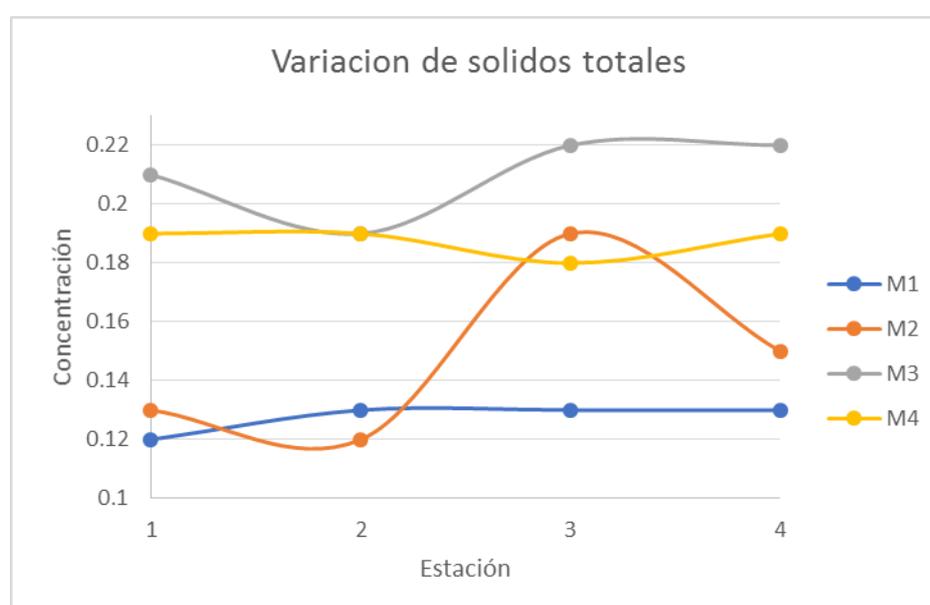
Se establece como valor recomendado para turbidez UNT y para valor máximo admisible 5 UNT. En consecuencia: los valores están dentro de los LMP. Los valores de Turbidez se encuentran dentro de los rangos permitidos de los Estándares de Calidad Ambiental emitidos según D.S. N°004-2017/MINAM, para la categoría 1: Aguas superficiales destinada

a la producción de agua potable y subcategoría A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, valores $< 5\text{UNT}$.

4.2.8. Sólidos totales disueltos (STD en mg/l)

Figura 16

Variación de los sólidos totales (STD) en las diferentes estaciones de muestreo



El residuo total, es el material que queda después de la evaporación, secado o calcinación de la muestra de agua durante un tiempo y temperatura determinados. Es el residuo seco que contiene materiales tanto orgánicos como inorgánicos que se encuentran en el ecosistema acuático.

Cuando se depositan residuos sólidos en los cuerpos de agua, pueden causar sedimentación, lo que crea problemas en el metabolismo lacustre, además, pueden causar daños a la vida acuática porque cuando se depositan, destruyen los organismos que viven en los

sedimentos (macroinvertebrados bentónicos) que son la base de la red alimentaria en los ecosistemas acuáticos, además de dañar los sitios de desove de algunas especies de peces, donde los peces al estado de huevo, larva o adulto pueden morir por asfixia .

Para el parámetro de sólidos suspendidos totales, el punto de muestreo 4 registró valores superiores a los demás puntos de muestreo, con un registro de 0.21 mg/l en promedio para la época de transición de temporada de lluvias y de 0.13 mg/l para la época de transición de secas a lluvias. En general, se observa que el rango de este parámetro en el período de estudio evaluado osciló entre los 0.12 mg/l y 0.22 mg/l en las diferentes estaciones de muestreo a lo largo del año.

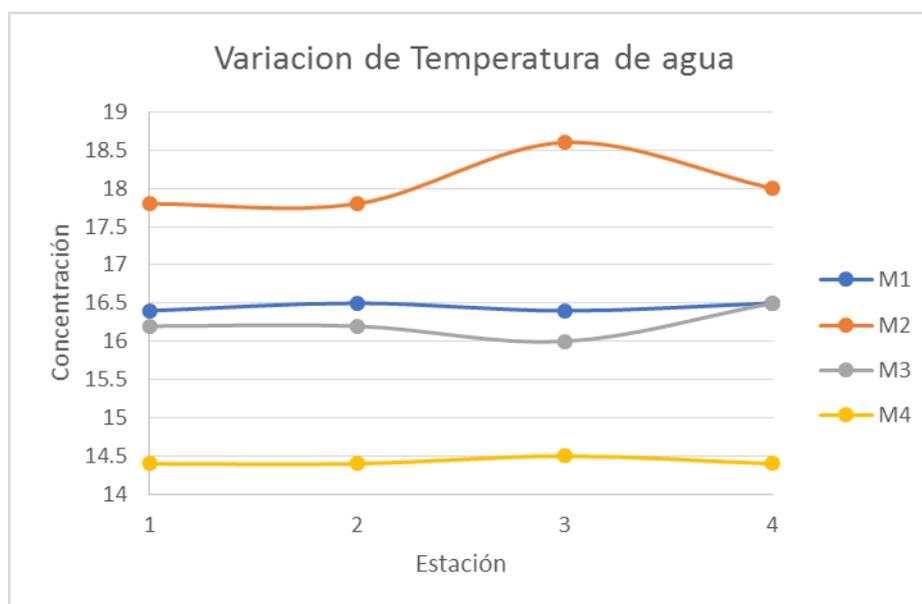
Valores elevados de sólidos totales disueltos pueden registrarse en los meses de junio y julio, probablemente porque en la época de secas, se presenta el fenómeno de circulación lacustre que trae como consecuencia la circulación y recirculación de sedimentos y nutrientes. Literalmente la laguna se ‘‘voltea’’, y arrastra gran cantidad de sedimentos desde la región bentónica a la columna de agua y aguas superficiales, alterando de manera significativa los diferentes factores físicos, químicos y biológicos.

Obviamente estos valores se encuentran dentro de los LMP. Los valores de Sólidos suspendidos totales para los Estándares de Calidad Ambiental emitidos según D.S. N°004-2017/MINAM, para la categoría 4: Conservación del ambiente acuático, con valores <25mg/l.

4.2.9. Cambio de la Temperatura (en °C)

Figura 17

Variación de la temperatura en las diferentes estaciones de muestreo



La temperatura del agua está derivada directamente de la radiación solar y juega un papel fundamental en la regulación de numerosos procesos físicos, químicos y biológicos que se llevan a cabo en los ecosistemas acuáticos. Las plantas verdes y las algas en el agua, son la puerta de entrada a través del cual la energía solar se convierte en energía química (vía fotosíntesis). Influye en el pH, en la concentración de OD y CO₂, en los procesos de descomposición y notablemente en el efecto de los contaminantes ya sean de origen orgánico como inorgánico.

La temperatura registrada presentó valores relacionados de acuerdo al clima de la zona, donde los meses de diciembre, enero y febrero se presentan como los meses menos fríos; y los meses de mayo, junio y julio reportan las temperaturas más bajas.

Los valores registrados de temperatura, prácticamente presentan cierto grado de homotermalidad a lo largo del período de estudio, tanto en los diferentes puntos de muestreo como de la estacionalidad, con ligeras variaciones.

Todos los cuerpos de agua presentan variaciones de temperatura a lo largo del día y las estaciones, así por ejemplo en la época de lluvias” los valores fluctúan alrededor de los 18 °C, mientras que en la época de “secas” se presentan valores cercanos a los 14°C. Claro está que estos valores registrados están en concordancia con el fotoperiodo y condiciones climáticas que imperan las regiones alto andinas.

La temperatura influye en varios otros parámetros físico-químicos del agua, como la tensión superficial y la viscosidad. Los organismos acuáticos se ven afectados por temperaturas fuera de sus límites de tolerancia térmica, lo que afecta su crecimiento y reproducción.

Tabla 30

Resultados obtenidos de los diferentes parámetros Físicos, químicos y biológicos

Parámetros	Valor prom	Valor mín	Valor máx	Características
Oxígeno disuelto mg/l	7.00	5.60	8.40	El oxígeno disuelto, es un parámetro ambiental vital, porque su evaluación permite informar y/o reflejar la capacidad recuperadora de un curso de agua y la subsistencia de la vida acuática
Col Fecales NMP/100ml	320	90	550	La presencia de bacterias fecales, presentes en los excrementos del hombre y de algunos animales. Impacta en la salud de los seres humanos expuestos al agua contaminada con estiércol
DBO ₅ mg/l	3.30	1.40	5.20	La DBO es un parámetro que representa la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica presente en el agua a través de la descomposición microbiana aeróbica
pH	7.30	6.40	8.20	Es una expresión cualitativa y cuantitativa del grado de acidez o basicidad de una determinada sustancia
NO ₃ mg/l	0.61	0.47	0.74	La concentración de nitrógeno en sus diferentes formas, reviste singular importancia, como nutrientes para las plantas. Su aporte a las aguas naturales superficiales se debe a las aguas residuales domésticas sin tratamiento.
PO ₄ mg/l	0.44	0.31	0.57	El fósforo es uno de los principales nutrientes para la vida acuática y factor principal de la eutrofización
Turbidez UNT	2.3	1.20	3.40	La turbidez indica el grado de atenuación que sufre un rayo de luz al cruzar el agua. Esta atenuación ocurre a través de la absorción y dispersión de la luz causada por los sólidos en suspensión (limo, arena, arcilla, algas, escombros, etc.).
STD mg/l	0.15	0.12	0.19	Los sólidos suspendidos totales causan turbiedad en el agua y reducen la penetración de la luz solar al cuerpo de agua. En consecuencia son una limitante para el proceso fotosintético en el lago.
Temperatura °C del agua	16.5	14.40	18.60	Es fundamental en la regulación de numerosos procesos físicos, químicos y biológicos que se llevan a cabo en los ecosistemas acuáticos. Influye en la tensión superficial y la viscosidad.

Tabla 31

Resultados del índice de calidad de agua (ICA) por estaciones del primer muestreo.

PRIMER MUESTREO (M1) OCTUBRE									
Parámetro	W1	Estación 1		Estación 2		Estación 3		Estación 4	
		Sub(1)	Wi*Su b(1)	Sub(2)	Wi*Su b(2)	Sub(3)	Wi*Su b(3)	Sub(4)	Wi*Su b(4)
Oxígeno (%)	0.17	82.00	13.94	81.16	13.80	81.47	13.85	68.78	11.69
C.F. NMP	0.16	45.00	7.20	38.00	6.08	40.00	6.40	30.00	4.80
DBO ₅	0.11	86.18	9.48	78.63	8.65	81.13	8.92	68.92	7.58
pH	0.11	94.67	10.41	94.99	10.45	98.60	10.85	92.98	10.23
NO ₃	0.10	96.57	9.66	96.71	9.67	98.65	9.87	96.64	9.66
PO ₄	0.10	62.17	6.22	59.95	6.00	72.22	7.22	57.84	5.78
Turbidez	0.08	94.42	7.55	93.16	7.45	93.29	7.46	89.72	7.18
STD	0.07	80.63	5.64	80.63	5.64	80.63	5.64	80.63	5.64
T °C var	0.10	84.57	8.46	82.43	8.24	82.79	8.28	82.16	8.22
ICG		78.56		75.98		78.49		70.79	

Figura 18

Índice la calidad del agua (ICA) por estaciones del primer muestreo

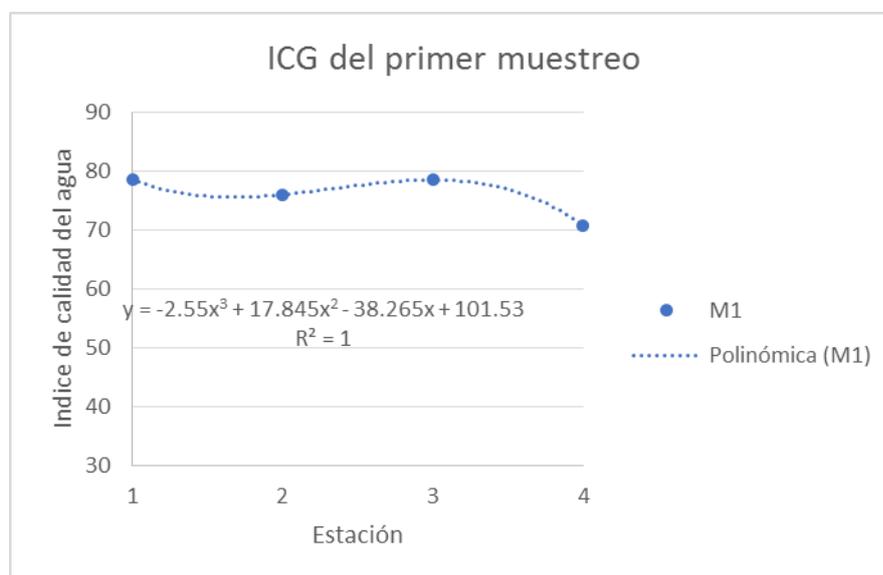


Tabla 32

Resultados del índice de calidad de agua (ICG) por estaciones del segundo muestreo

SEGUNDO MUESTREO (M2) ENERO									
Parámetro	W1	Estación 1		Estación 2		Estación 3		Estación 4	
		Sub(1)	Wi* Sub(1)	Sub(2)	Wi*Su b(2)	Sub(3)	Wi*Sub(3)	Sub(4)	Wi*Su b(4)
Oxígeno (%)	0.17	93.14	15.83	92.81	15.78	88.71	15.08	74.30	12.63
C.F. NMP	0.16	48.00	7.68	45.00	7.20	42.00	6.72	32.00	5.12
DBO ₅	0.11	81.95	9.01	79.25	8.72	76.64	8.43	67.03	7.37
pH	0.11	87.88	9.67	96.25	10.59	97.09	10.68	99.30	10.92
NO ₃	0.10	95.58	9.56	96.85	9.69	97.42	9.74	96.71	9.67
PO ₄	0.10	66.33	6.63	62.17	6.22	73.61	7.36	60.50	6.05
Turbidez	0.08	95.02	7.60	94.27	7.54	93.04	7.44	93.41	7.47
STD	0.07	80.63	5.64	80.63	5.64	80.64	5.64	80.64	5.64
T °C var	0.10	88.16	8.82	89.07	8.91	88.77	8.88	88.77	8.88
ICG		80.45		80.28		79.98		73.76	

Figura 19

Índice la calidad del agua (ICA) por estaciones del segundo muestreo

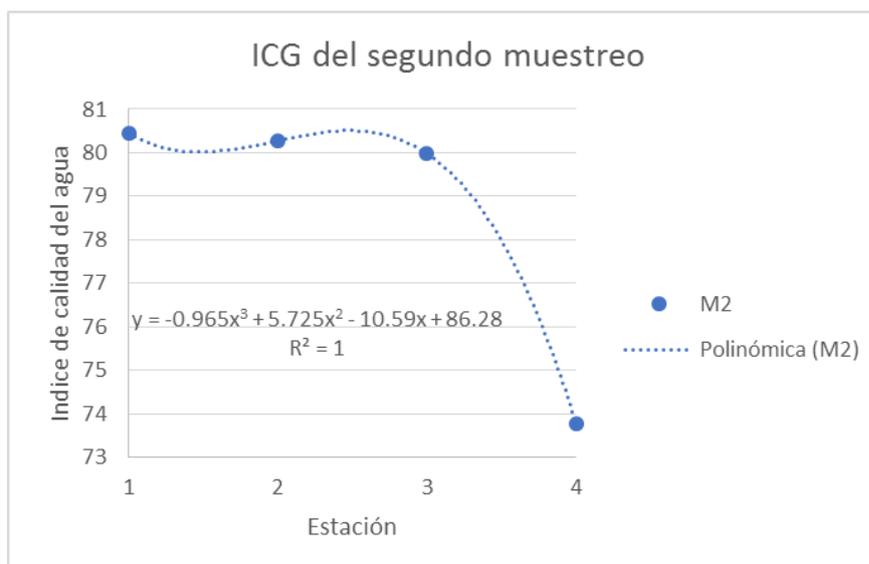


Tabla 33

Resultados del índice de calidad de agua (ICG) por puntos del tercer muestreo

TERCER MUESTREO (M3) ABRIL									
Parámetro	W1	Estación 1		Estación 2		Estación 3		Estación 4	
		Sub(1)	Wi*Su b(1)	Sub(2)	Wi*Su b(2)	Sub(3)	Wi*Su b(3)	Sub(4)	Wi*Su b(4)
Oxígeno (%)	0.17	80.42	13.67	80.20	13.63	78.83	13.40	66.66	11.33
C.F. NMP	0.16	47.00	7.52	40.00	6.40	41.00	6.56	33.00	5.28
DBO ₅	0.11	85.70	9.43	74.36	8.18	72.47	7.97	65.55	7.21
pH	0.11	93.64	10.30	98.12	10.79	92.98	10.23	90.00	9.90
NO ₃	0.10	95.86	9.59	97.00	9.70	97.14	9.710	97.57	9.76
PO ₄	0.10	68.23	6.82	61.05	6.11	72.91	7.29	58.88	5.89
Turbidez	0.08	94.15	7.53	94.27	7.54	93.97	7.52	94.10	7.53
STD	0.07	80.65	5.65	80.64	5.64	80.65	5.65	80.65	5.65
T °C var	0.10	85.25	8.53	85.25	8.53	85.92	8.59	84.57	8.46
ICG		79.03		76.52		76.92		71.00	

Figura 20

Índice la calidad del agua (ICA) por estaciones del tercer muestreo

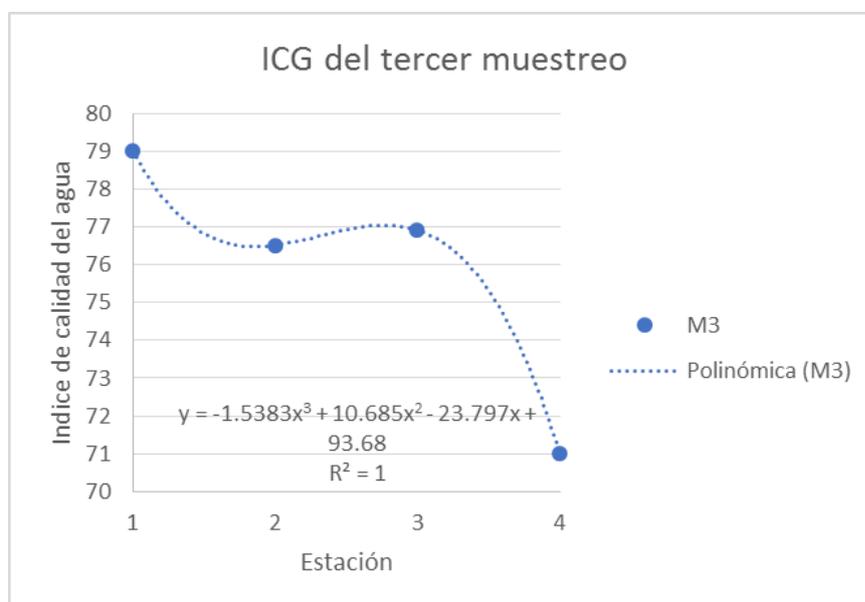


Tabla 34

Resultados del índice de calidad de agua (ICG) por puntos del cuarto muestreo.

CUARTO MUESTREO (M4) JULIO									
Parámetro	W1	Estación 1		Estación 2		Estación 3		Estación 4	
		Sub(1)	Wi*Sub(1)	Sub(2)	Wi*Sub(2)	Sub(3)	Wi*Sub(3)	Sub(4)	Wi*Sub(4)
Oxígeno (%)	0.17	68.11	11.58	68.60	11.66	68.11	11.58	57.26	9.73
C.F. NMP	0.16	46.00	7.36	36.00	5.76	40.00	6.40	27.00	4.32
DBO ₅	0.11	81.04	8.91	72.88	8.02	69.15	7.61	56.75	6.24
pH	0.11	94.78	10.43	94.78	10.43	95.30	10.48	92.98	10.23
NO ₃	0.10	95.93	9.59	96.43	9.64	96.54	9.65	96.08	9.61
PO ₄	0.10	72.91	7.29	63.33	6.33	73.61	7.36	66.96	6.70
Turbidez	0.08	95.02	7.60	94.67	7.57	94.82	7.59	93.16	7.45
STD	0.07	80.64	5.64	80.64	5.64	80.64	5.64	80.64	5.64
T °C var	0.10	78.98	7.90	78.98	7.90	78.98	7.90	78.98	7.90
ICG		76.31		72.96		74.21		67.82	

Figura 21

Índice la calidad del agua (ICA) por estaciones del cuarto muestreo

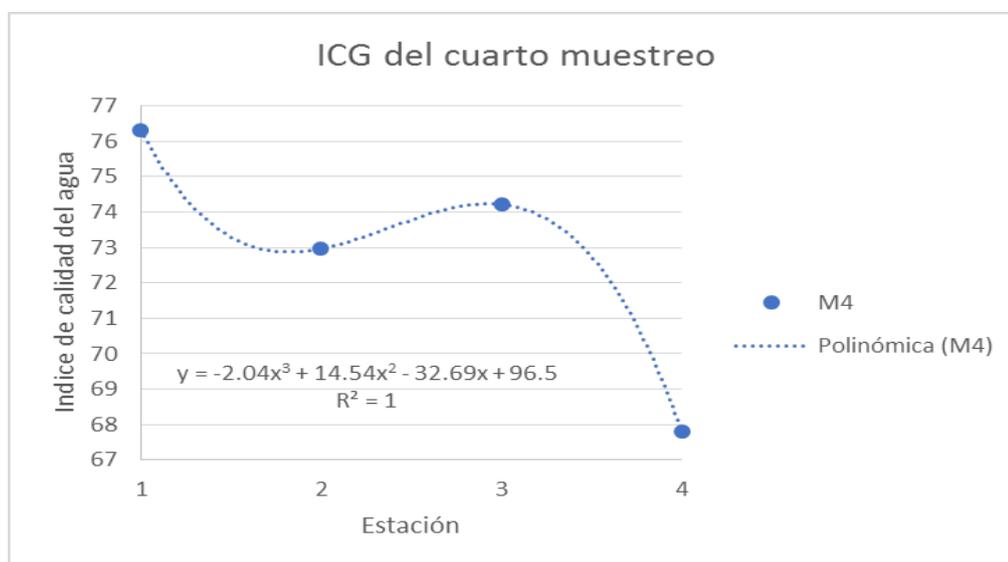


Tabla 35

Resultados del índice de calidad de agua (ICG) por puntos de muestreo y épocas

ICG PRIMER MUESTREO				X Épocas
Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	
78.56	75.98	78.49	70.79	75.95
ICG SEGUNDO MUESTREO				
Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	
80.45	80.28	79.98	73.76	78.62
ICG TERCER MUESTREO				
Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	
79.03	76.52	76.92	71.00	75.87
ICG CUARTO MUESTREO				
Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	
76.31	72.96	74.21	67.82	72.83
X E ₁ 78.59	XE ₂ 76.44	XE ₃ 77.44	XE ₃ 70.84	

Del análisis realizado, se puede concluir: que en las dos épocas de “secas” y “lluvias” y en los diferentes puntos de muestreo las aguas están en términos generales en la condición de BUENO O ACEPTABLE a excepción del punto de muestreo 4, donde existen problemas de contaminación mediana, por la presencia de Coliformes fecales, que aumenta directamente los niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Efectivamente en la Estación 4, se evidencian altos contenidos de coliformes tanto fecales como totales, provenientes de las descargas de agua residual vertida al ecosistema lacustre.

Mediante la aplicación de la ecuación 1 se determinó el ICA-IDEAM para cada época climática y punto monotorizado en la laguna de Huaypo.

Tabla 36

Resultados ICA-IDEAM por puntos de muestreo y épocas climáticas

Época	Estación de muestreo	ICA (IDeAm)	Clasificación	ICA-IDEAM promedio	Clasificación ICA-IDEAM Promedio
Octubre, época de transición de secas a lluvias	1	78.56	BUENO	75.95	BUENO - ACCEPTABLE
	2	75.98	BUENO		
	3	78.49	BUENO		
	4	70.79	BUENO		
Enero, Época de lluvias	1	80.45	BUENO	78.62	BUENO - ACCEPTABLE
	2	80.28	BUENO		
	3	79.89	BUENO		
	4	73.76	BUENO		
Abril, época de transición de lluvias a Secas	1	79.03	BUENO	75.87	BUENO - ACCEPTABLE
	2	76.52	BUENO		
	3	76.99	BUENO		
	4	71.00	BUENO		
Julio, época de secas	1	76.31	BUENO	72.83	BUENO - ACCEPTABLE
	2	72.96	BUENO		
	3	74.21	BUENO		
	4	67.82	REGULAR		

El promedio observado para cada punto es:

- 78.580 para el punto de muestreo 1
- 76.435 para el punto de muestreo 2
- 77.395 para el punto de muestreo 3
- 70.843 para el punto de muestreo 4

En los puntos de muestreo 1, 2 y 3 los valores son bastante parecidos a excepción del punto de muestreo 4 donde el valor disminuye notoriamente. Recordemos que el punto de muestreo 4, corresponde a la zona donde se vierten las aguas residuales.

Tomando en consideración la tabla del análisis temporal del ICA muestra que existen diferencias entre las épocas de muestreo. En la época lluvias, la calidad en general, para la

laguna de Huaypo fue de 78.62 unidades, mientras que en la época secas se tuvo una calidad de 72.83 unidades

En resumen, las aguas de la laguna de Huaypo de acuerdo al ICA propuesto por Brown son consideradas como Aguas Buenas o Aceptables, puesto que sus valores fluctúan entre 72.83 Y 78.62 para todas las épocas de muestreo y estaciones. A excepción de la estación 4 que en la época de secas que presenta un valor equivalente a 67.83 y es considerada como Regular o Mediana.

Tabla 37

Calificación de las aguas según el uso potencial requerido

ICA	Usos	Agrícola	Pesca- acuática	Industrial	Recreativo
91-100	No requiere purificación para consumo	No requiere purificación para riego	Pesca y vida acuática abundante	No se requiere purificación	Cualquier tipo de deporte acuático
71-90	Purificación menor requerida	Purificación menor en cultivos que requieran agua de alta calidad	Pesca y vida acuática abundante	Purificación menor para industrias que requieran agua de alta calidad	Cualquier tipo de deporte acuático
51-70	Potabilización necesaria	Utilizable en diferentes cultivos	Límite para peces muy sensibles y pesca dudosa	No requiere tratamiento para industrias	Restricción en deportes de inmersión
26-50	Inaceptable para consumo	Uso en cultivos resistentes, con tratamiento	Vida acuática limitada a especies resistentes	Tratamiento necesario	Evitar el contacto, dudoso
0-25	Inaceptable para consumo	Inaceptable para riego	Inaceptable vida acuática	Inaceptable para cualquier industria	Contaminación viable

Una determinada fuente de agua puede tener la calidad necesaria para satisfacer los requerimientos de un uso en particular y al mismo tiempo, no ser apta para otro. Puesto que no existe un tipo de agua que satisfaga los requerimientos de calidad para cualquier uso concebible ni tampoco “un criterio único de calidad para cualquier fin”, el concepto de Calidad de Agua, se aplica siempre en relación con un uso o aplicación previamente establecida (SENAMHI, 2008).

Los resultados del ICA, en las estaciones de muestreo del 1 al 4 en la laguna de Huaypo, se encuentran en el rango de 70.84 y 78.59 que nos indica que las aguas sean consideradas como de Buena o Aceptable. Por tanto: Nos indica que la calidad del agua se encuentra en buen estado en términos generales, en todas las estaciones y en las dos épocas, teniendo ligeras limitaciones y que requiere una purificación menor, en algunos de los usos potenciales que puede tener este cuerpo de agua.

Para ser utilizada como agua potable en los diferentes asentamientos, necesita de un proceso de purificación menor, de idéntica manera debe tener una purificación menor para cultivos sensibles que requieren de aguas de alta calidad, es recomendable para la pesca y vida acuática, como también para la industria y finalmente es recomendable para todo tipo de deporte acuático

Sin embargo, se requiere cierto cuidado en la estación 4 por la descarga de aguas servidas provenientes de las poblaciones asentadas alledañosamente al cuerpo de agua. También es importante tener en consideración las áreas agrícolas que utilizan agroquímicos; de las granjas de animales, como también de los lixiviados formados en la zona de acumulación de residuos sólidos.

Los resultados reportados durante el periodo de muestreo, para los ICAs en la época de lluvias y secas, prácticamente no presentan diferencias notables entre sí y los resultados se encuentran dentro del rango de buenas condiciones, calificándolas como aguas buenas o aceptables.

Este resultado se atribuye a que los diferentes factores, como las horas de sol, la temperatura, la presencia de lluvias en los meses de noviembre a marzo o la ausencia de lluvias desde Abril a agosto, así como el tamaño del cuerpo de agua mantienen el equilibrio de los parámetros en buenas condiciones.

De acuerdo con los resultados de este estudio se puede asumir que los cambios no necesariamente significativos, que sufre la calidad de agua durante el año, son mayormente ocasionados por los efectos naturales y las diferentes actividades antrópicas realizadas en las diferentes estaciones del año, como lo son las faenas agrícolas, actividades ganaderas; los meses de lluvia y los cambios de temperatura los cuales influyen de manera directa en los parámetros evaluados en la calidad del agua.

Rangos del ICG para los diferentes parámetros

Tabla 38

El (q_i) en función del oxígeno expresado en % de saturación

% de saturación	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	82.00	81.16	81.47	68.78
Muestreo 2	*93.14	92.81	88.71	74.30
Muestreo 3	80.42	80.20	78.83	66.66
Muestreo 4	68.11	68.60	68.11	*57.26
Excelente 91-100	Buena 71-90	Regular 51-70	Mala 26-50	Pésima 0-25

Los rangos del ICG para el oxígeno expresado en términos de % de saturación, según el análisis de los diferentes muestreos, varían entre 57.26 y 93.14 ,teniendo un ICG promedio de 75.20 que de acuerdo a la Tabla de categorización para distintos usos, clasifica el agua como “ACEPTABLE o BUENO”, determinando que las condiciones para todo tipo de uso debido al % de saturación, que es completamente aceptable.

Tabla 39

El (qi) en función de los Coliformes fecales

Coliformes fecales	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	45	38	40	30
Muestreo 2	*48	45	42	32
Muestreo 3	47	40	41	33
Muestreo 4	46	36	40	*27
Excelente 91-100	Buena 71-90	Regular 51-70	Mala 26-50	Pésima 0-25

Los valores ICG varían entre 27 y 48 en los diferentes muestreos, con un promedio 37.5 de acuerdo a los rangos de clasificación de Brown en la Tabla N°, clasifican el agua como “MALA o CONTAMINADA”, los valores más bajos se registraron en la estación 4 (zona de descarga de aguas servidas). En consecuencia, su uso como agua potable es inaceptable a no ser que tenga que pasar por un proceso de potabilización fuerte. Puede emplearse en cultivos resistentes con previo tratamiento; es dudosa para el contacto directo en actividades de recreación, y posibilitando la vida acuática únicamente de organismos resistentes y necesitando de un tratamiento adecuado para las diferentes actividades industriales y agrícolas.

Tabla 40*El (qi) en función de la DBO₅*

DBO₅	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	*86.18	78.63	81.13	68.92
Muestreo 2	81.95	79.25	76.64	67.03
Muestreo 3	85.7	74.36	72.47	65.55
Muestreo 4	81.04	72.88	69.15	*56.75
Excelente 91-100	Buena 71-90	Regular 51-70	Mala 26-50	Pésima 0-25

Los rangos del ICG para la DBO₅ según el análisis para los diferentes puntos de muestreo varía entre 56.75 y 86.18, teniendo un ICG promedio de 71.465, que de acuerdo a la Tabla N° de categorización, clasifica el agua como BUENA en las estaciones 1,2,3, y de REGULAR en la estación 4 por los vertidos de materia fecal a la laguna. En las primeras estaciones el agua puede emplearse para consumo humano previo tratamiento de potabilización; de idéntica manera debe de darse tratamiento de las aguas, para el cultivo de especies sensibles que requieran aguas de calidad; se puede practicar diferentes deportes de tipo acuático; se pueden cultivar diferentes especies ícticas, así mismo, si se desea emplear en la industria deben de pasar por una purificación menor. En la estación 4 las limitaciones para su uso son más restringidas.

Tabla 41*El (qi) en función de pH*

pH	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	94.67	94.99	98.60	92.98
Muestreo 2	*87.88	96.25	97.09	*99.30
Muestreo 3	93.64	98.12	92.98	90.00
Muestreo 4	94.78	94.78	95.30	92.98
Excelente 91-100	Buena 71-90	Regular 51-70	Mala 26-50	Pésima 0-25

Los rangos del ICG para el pH según análisis para los diferentes puntos de muestreo varía entre **87.88 y 99.30**, teniendo un ICG promedio de **93.59**, que de acuerdo a la **Tabla de categorización**, clasifica el agua como **“EXCELENTE”**, en la mayoría de las estaciones de muestreo como también en las diferentes épocas determinando así que no existen problemas de contaminación. Para consumo humano requiere de una mínima purificación, no requiere de ningún tipo de purificación para su uso en la producción agrícola, para la pesca y la vida acuática, para práctica de diferentes deportes acuáticos, como también para la industria.

Tabla 42

El (qi) en función de nitratos

Nitratos NO ₃	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	96.57	96.71	*98.65	96.64
Muestreo 2	*95.58	96.85	97.42	96.71
Muestreo 3	95.86	97.00	97.14	97.57
Muestreo 4	95.93	96.43	96.54	96.08
Excelente 91-100	Buena 71-90	Regular 51-70	Mala 26-50	Pésima 0-25

Los rangos del ICG para nitratos según análisis para los diferentes puntos de muestreo varía entre **95.58 y 98.65** (*gráfica*), con un ICG promedio de **97.12**, que de acuerdo a la **Tabla de categorización**, clasifica el agua como **“EXCELENTE”**, para consumo humano pero con tratamiento potable, para riego de plantas, para la vida acuática, aceptable para cualquier industria y la práctica deportiva

Tabla 43*El (qi) en función de fosfatos*

Fosfatos PO₄	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	62.17	59.95	72.22	*57.40
Muestreo 2	66.33	62.17	73.61	60.50
Muestreo 3	68.23	61.05	72.91	58.88
Muestreo 4	72.91	63.33	*73.61	66.96
Excelente 91-100	Buena 71-90	Regular 51-70	Mala 26-50	Pésima 0-25

Los rangos del ICG para fosfatos según análisis para los diferentes puntos de muestreo varía entre 57.40 y 73.61 (gráfica), teniendo un ICG promedio de 65.51, que de acuerdo a la Tabla de categorización, clasifica el agua como “REGULAR”. Para consumo humano requiere de potabilización, riego agrícola, con limitaciones para la crianza de especies ícticas, industria y cierta restricción para prácticas deportivas

Tabla 44*El (qi) en función de la turbidez*

Turbidez	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	94.42	93.16	93.29	*89.72
Muestreo 2	95.02	94.27	93.04	93.41
Muestreo 3	94.15	94.27	93.27	94.10
Muestreo 4	*95.02	94.67	94.82	93.16
Excelente 91-100	Buena 71-90	Regular 51-70	Mala 26-50	Pésima 0-25

Los rangos del ICG para la turbidez según el análisis para los diferentes puntos de muestreo varía entre 89.72 y 95.02 (Tabla N°), teniendo un ICG promedio de 92.37, que de acuerdo a la Tabla de categorización para distintos usos, clasifica el agua como “excelente”, prácticamente en todas las estaciones como en las diferentes épocas.

Los valores de Turbidez se encuentran dentro de los rangos permitidos de los Estándares de Calidad Ambiental emitidos según D.S. N°004-2017/MINAM, para la categoría

1: Aguas superficiales destinada a la producción de agua potable y subcategoría A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, valores < 5UNT (Anexo N°V).

En términos generales de acuerdo a este parámetro, no requiere purificación para consumo humano, pero de todas maneras debe de pasar por un proceso de potabilización, es aceptable para cualquier tipo de actividad agrícola, para el desarrollo de la vida acuática y crianza de especies ícticas, es favorable para la práctica de cualquier actividad industrial y la práctica de recreación deportiva.

Tabla 45

El (qi) en función de los sólidos totales

Sólidos totales	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	80.63	80.63	*80.63	80.63
Muestreo 2	80.63	80.63	80.64	80.64
Muestreo 3	*80.65	80.64	80.65	80.65
Muestreo 4	80.64	80.64	80.64	80.64
Excelente 91-100	Buena 71-90	Regular 51-70	Mala 26-50	Pésima 0-25

Los rangos del ICG para sólidos totales según análisis para los diferentes puntos de muestreo varía entre 80.63 y 80.65 (Tabla N°), teniendo un ICG promedio de 80.64, que de acuerdo a la Tabla, clasifica el agua como “buena o aceptable” y que de acuerdo a la escala clasificación del índice de calidad de agua para distintos usos, se determina que el agua para consumo humano requiere de purificación menor, aceptable para cualquier deporte acuático o actividad de recreación, dando posibilidades de desarrollo de cualquier organismo o vida acuática y necesitando una ligera purificación para algunos procesos agrícolas e industriales.

Tabla 46*El (qi) en función del cambio de temperatura*

Cambio de Temper	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	84.57	82.43	82.79	82.16
Muestreo 2	88.16	*89.07	88.77	88.77
Muestreo 3	85.25	85.25	85.92	84.57
Muestreo 4	78.98	*78.98	78.98	78.98
Excelente 91-100	Buena 71-90	Regular 51-70	Mala 26-50	Pésima 0-25

Los rangos del ICG para el cambio de temperatura según análisis para los diferentes puntos de muestreo varía entre 78.98 y 89.07 (Tabla N°), teniendo un ICG promedio de 84.025, que de acuerdo a la Tabla de categorización, clasifica el agua como “BUENA O ACEPTABLE”, para las diferentes actividades de naturaleza antrópica: como agua potable con purificación menor, en prácticas agrícolas, de crianza de especies ícticas, industria y recreación.

Tabla 47

El (qi) en función a los diferentes parámetros del ICA

% de saturación	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	82.00	81.16	81.47	68.78
Muestreo 2	93.14	92.81	88.71	74.30
Muestreo 3	80.42	80.20	78.83	66.66
Muestreo 4	68.11	68.60	68.11	57.26
Coliformes fecales	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	45	38	40	30
Muestreo 2	48	45	42	32
Muestreo 3	47	40	41	33
Muestreo 4	46	36	40	27
DBO ₅	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	86.18	78.63	81.13	68.92
Muestreo 2	81.95	79.25	76.64	67.03
Muestreo 3	85.7	74.36	72.47	65.55
Muestreo 4	81.04	72.88	69.15	56.75
pH	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	94.67	94.99	98.60	92.98
Muestreo 2	87.88	96.25	97.09	99.30
Muestreo 3	93.64	98.12	92.98	90.00
Muestreo 4	94.78	94.78	95.30	92.98
Nitratos NO ₃	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	5.92	6.61	25.77	6.24
Muestreo 2	4.52	7.25	11.63	19.08
Muestreo 3	4.67	8.06	9.26	12.87
Fosfatos PO ₄	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	13.03	11.42	20.43	10.19
Muestreo 2	16.38	13.26	21.26	11.97
Muestreo 3	18.04	12.38	20.91	12.38
Muestreo 4	20.69	14.19	21.26	15.16
Turbidez	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	24.08	24.77	24.79	23.19
Muestreo 2	35.68	24.51	15.67	22.48
Muestreo 3	36.75	39.22	33.37	35.54
Muestreo 4	61.58	48.61	39.22	18.67
Solidos totales	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	81.35	81.54	81.54	80.78
Muestreo 2	64.79	65.73	53.16	60.95
Muestreo 3	68.51	70.66	66.03	67.59
Muestreo 4	72.06	72.91	73.75	68.51
Cambio de Temper	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Muestreo 1	84.57	82.43	82.79	82.16
Muestreo 2	88.16	89.07	88.77	88.77
Muestreo 3	85.25	85.25	85.92	84.57
Muestreo 4	78.98	78.98	78.98	78.98

Determinación del “qi” para cada parámetro. expresados de manera analítica y gráfica

Tabla 48

Resultados obtenidos de los diferentes parámetros Físicos, químicos y biológicos

Parámetros	Valor prom	Valor mín	Valor máx	Características
Oxígeno disuelto mg/l	7.00	5.60	8.40	El oxígeno disuelto, es un parámetro ambiental vital, porque su evaluación permite informar y/o reflejar la capacidad recuperadora de un curso de agua y la subsistencia de la vida acuática
Col Fecales NMP/100ml	320	90	550	La presencia de bacterias fecales, presentes en los excrementos del hombre y de algunos animales. Impacta en la salud de los seres humanos expuestos al agua contaminada con estiércol
DBO ₅ mg/l	3.30	1.40	5.20	La DBO es un parámetro que representa la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica presente en el agua a través de la descomposición microbiana aeróbica
pH	7.30	6.40	8.20	Es una expresión cualitativa y cuantitativa del grado de acidez o basicidad de una determinada sustancia
NO ₃ mg/l	0.61	0.47	0.74	La concentración de nitrógeno en sus diferentes formas, reviste singular importancia, como nutrientes para las plantas. Su aporte a las aguas naturales superficiales se debe a las aguas residuales domésticas sin tratamiento.
PO ₄ mg/l	0.44	0.31	0.57	El fósforo es uno de los principales nutrientes para la vida acuática y factor principal de la eutrofización
Turbidez UNT	2.3	1.20	3.40	La turbidez indica el grado de atenuación que sufre un rayo de luz al cruzar el agua. Esta atenuación ocurre a través de la absorción y dispersión de la luz causada por los sólidos en suspensión (limo, arena, arcilla, algas, escombros, etc.).
STD mg/l	0.15	0.12	0.19	Los sólidos suspendidos totales causan turbiedad en el agua y reducen la penetración de la luz solar al cuerpo de agua. En consecuencia son una limitante para el proceso fotosintético en el lago.
Temperatura a °C del agua	16.5	14.40	18.60	Es fundamental en la regulación de numerosos procesos físicos, químicos y biológicos que se llevan a cabo en los ecosistemas acuáticos. Influye en la tensión superficial y la viscosidad.

Resultados de los diferentes parámetros del ica: expresados gráficamente y analíticamente

4.2.10. Oxígeno Disuelto -OD: Método analítico

Para calcular el valor del Oxígeno disuelto se procede a determinar mediante la siguiente fórmula polinómica:

$$qi - OD = 3.1615 \times 10^{-8} \times OD^5 - 1.0304 \times 10^{-5} \times OD^4 + 1.0076 \times 10^{-3} \times OD^3 - 2.7883 \times 10^{-2} \times OD^2 + 8.4068 \times 10^{-1} \times OD - 1.6120 \times 10^{-1}$$

$$R^2 = 0.9995$$

Donde:

qi-OD: Factor de escala Oxígeno Disuelto

OD: Oxígeno disuelto expresado en % de saturación

$$qi-OD = 4.678691249305$$

4.2.11. Porcentaje de saturación del oxígeno: Transformación de PPM DE O₂ a % DE SATURACION DE O₂:

A.Método analítico. Para hacer la transformación de ppm de O₂ a % de saturación de O₂ se usa el siguiente algoritmo:

$$\%SAT = -0.6537153 - 0.0104799 \times T + 6.918079 \times OD + 0.2075711 \times T \times OD - 0.0129793 \times OD^2$$

Donde:

%SAT: Porcentaje de saturación de O₂

T: Temperatura medida del agua (17°C)

OD: Oxígeno disuelto: 7 mg/l (ppm)

Fuente: Nasirian,2007.

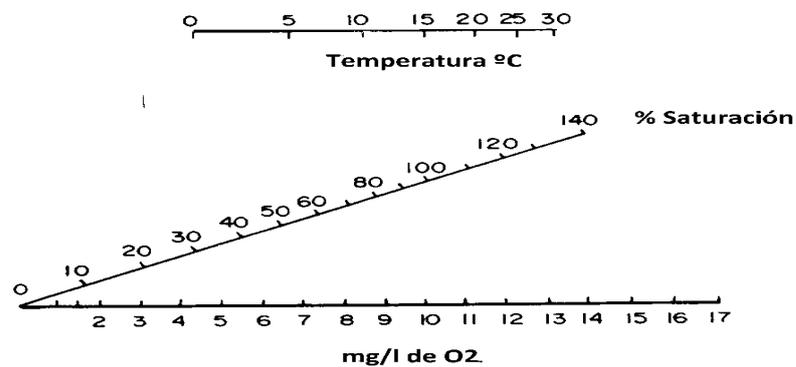
$$\% \text{Sat} = 71.6596546\%$$

Obtención del % de saturación gráficamente.

Señalar el valor del oxígeno disuelto en mg/l en la línea inferior de la gráfica; luego señalar la temperatura del agua en la línea superior de la gráfica, trazar una línea entre la marca del oxígeno y la marca de la temperatura, el punto donde se interceptan la línea trazada y la línea de % de saturación, nos indica el valor transformado de O₂ en mg/l a % de saturación de O₂. (Anexo N° 02).

Figura 22

Obtención del % de saturación del oxígeno

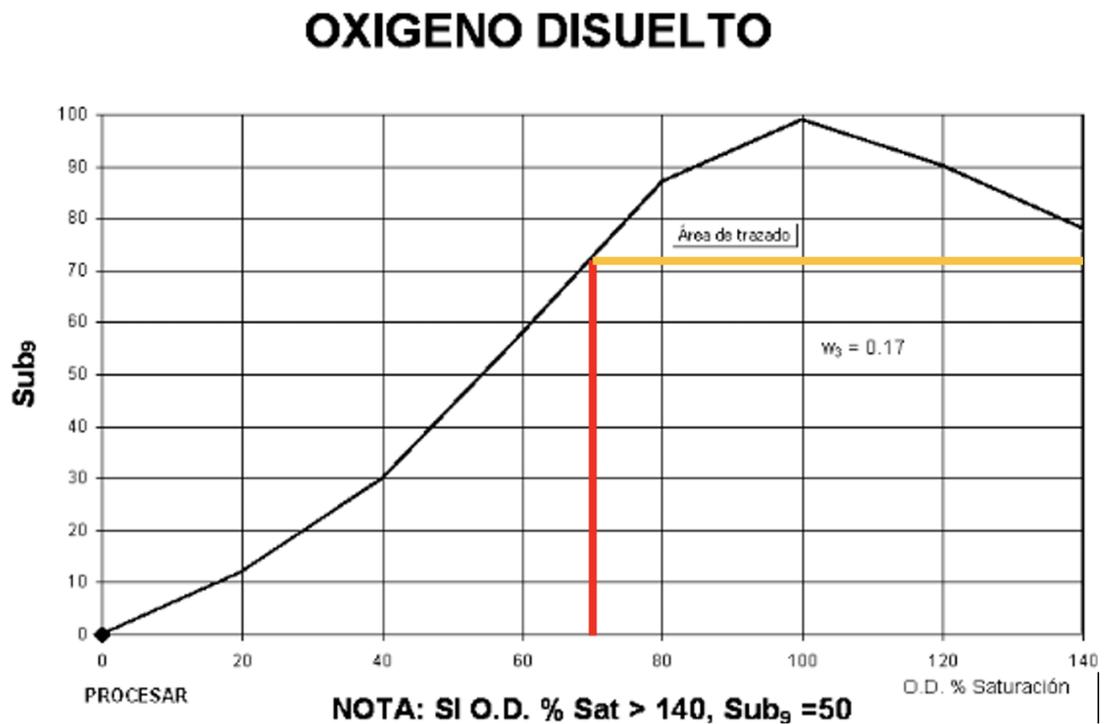


Determinación del “Qi” para cada parámetro

4.2.12. Oxígeno Disuelto

Figura 23

Valoración de la calidad de agua en función del % de Saturación del Oxígeno disuelto.



Si el porcentaje de saturación del OD es mayor de 140% el (Sub₉) es igual a 47. Si el valor obtenido es menor del 140% de Saturación de OD buscar el valor en el eje de (X) en el Gráfico N° 17 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub₉) de Oxígeno Disuelto y se procede a elevarlo al peso w₉.

4.2.13. Coliformes Fecales

A. *Método Analítico.* Para calcular el valor de Coliformes Termotolerantes se procede a determinar mediante la siguiente fórmula logarítmica:

$$\ln(Q_i-CT) = -0.0152(\ln CT^2) - 0.1063(\ln CT) + 4.5922$$

$$R^2=0.9990$$

Donde

Qi-CT : factor de escala Coliformes Termotolerantes.

CT : Coliformes termotolerantes como NMP/100ml.

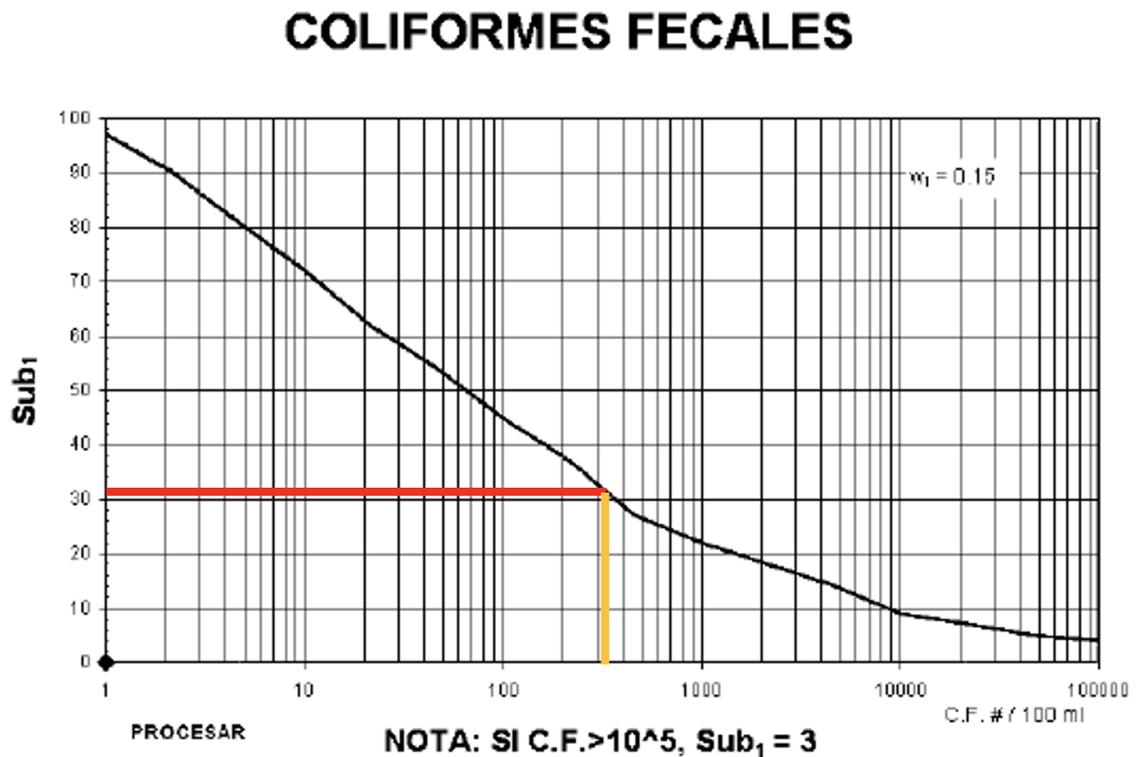
Fuente: Nasirian, 2007.

$$\ln(Q_i-CT) = 3.4732698660672900$$

$$Q_i-CT = 32.24199728$$

Figura 24

Valoración de la calidad de agua en función de Coliformes totales



Si el valor de Coliformes fecales es menor de 100,000 Bact/100 mL, buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 1 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub1) de Coliformes fecales, se procede a elevarlo al peso w1

4.2.14. *Demanda Bioquímica De Oxígeno- DBO₅*:

A.Método analítico. Para calcular la demanda Bioquímica de Oxígeno se procede a determinar mediante la siguiente fórmula polinómica:

$$qi - DBO = 1.8677 \times 10^{-4} \times DBO^4 - 1.6615 \times 10^{-2} \times DBO^3 + 5.9636 \times 10^{-1} \times DBO^2 - 11.152 \times DBO + 100.19$$

$$R^2 = 0.9989$$

Donde:

qi-DBO: Factor de escala de Demanda Bioquímica de Oxígeno

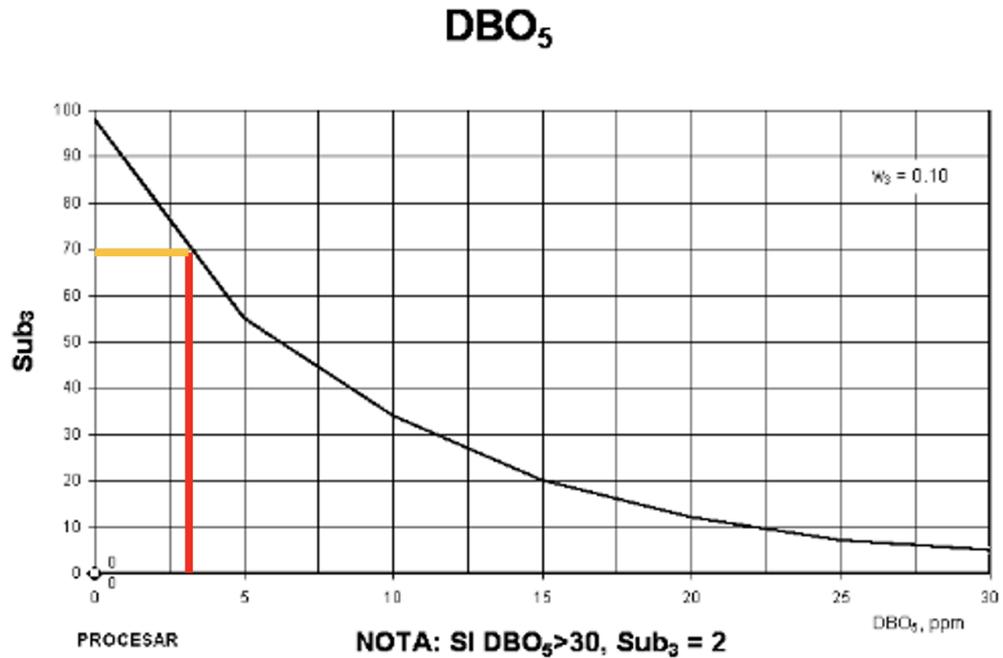
DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/l

Fuente: Nasirian,2007

Demanda bioquímica de oxígeno = 69.30781659

Figura 25

Valoración de la calidad de agua en función de la DBO5



Si la DBO5 es mayor de 30 mg/L el (Sub3) es igual a 2. Si la DBO5 es menor de 30 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 3 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub3) de DBO5 y se procede a elevarlo al peso w_3 .

B.Ph.Método Analítico: Para calcular el valor de pH se procede a determinar mediante la siguiente fórmula polinómica:

- Para $5.5 < \text{pH} < 7.0$

$$qi - pH = -248 + 95.5 \times pH - 6.67 \times pH^2$$

- Para $7 < \text{pH} < 8.75$

$$qi - pH = -181 + 82.4 \times pH - 6.05 \times pH^2$$

Donde:

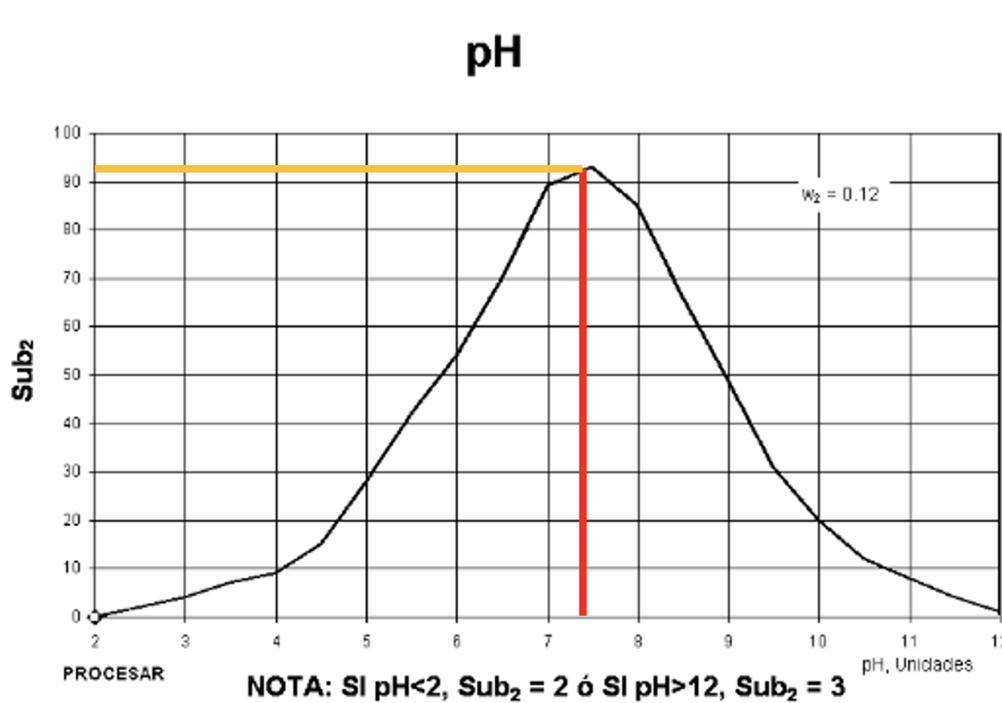
q_i -pH: Factor de escala pH; pH: nivel de pH medido en campo

Fuente: Nasirian,2007.

pH = 98.1155

Figura 26

Valoración de la calidad de agua en función del pH



Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el (Sub2) es igual a 2, sí el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el (Sub2) es igual a 3. Si el valor de pH esta entre 2 y 10 buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 2 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub2) de pH y se procede a elevarlo al peso w_2 .

C.NITRATOS. Método analítico: Para calcular el valor de Nitratos se procede a determinar mediante la siguiente fórmula polinómica:

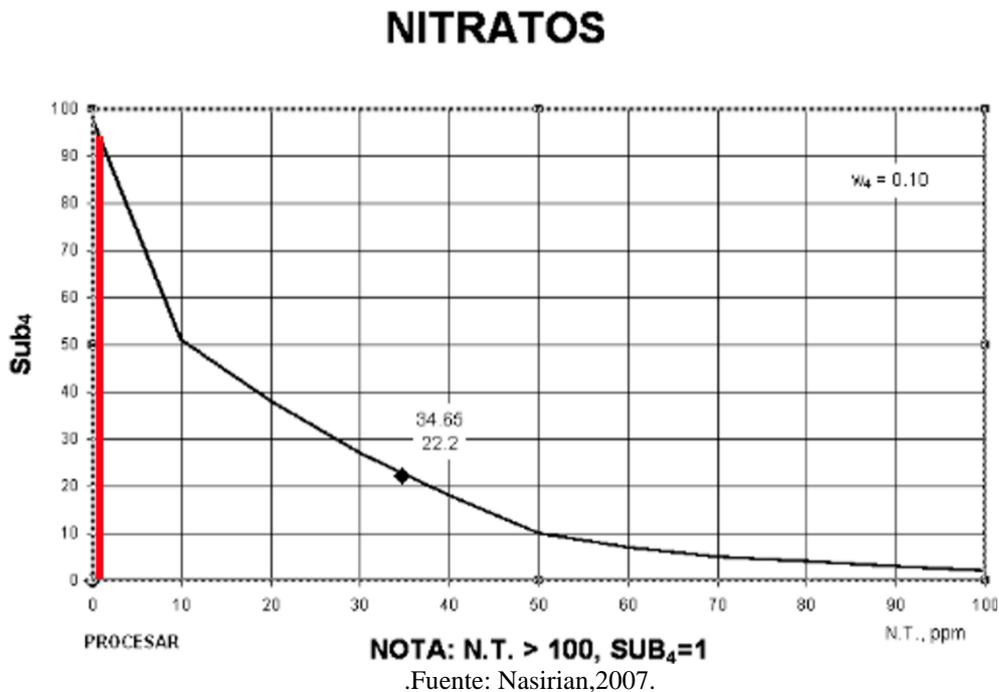
$$qi - N = 3.5603 \times 10^{-9} \times N^6 - 1.2183 \times 10^{-6} \times N^5 + 1.6238 \times 10^{-4} \times N^4 - 1.0693 \times 10^{-2} \times N^3 + 3.7304 \times 10^{-1} \times N^2 - 7.5210 \times N + 100.95$$

$$R^2 = 0.9972$$

Donde: qi-N: Factor de escala Nitratos
N: Concentración de Nitratos en mg/l

Figura 27

Valoración de la calidad de agua en función del Nitrógeno



Nitratos = 96.49859346

Si Nitratos es mayor de 100 mg/L el (Sub₄) es igual a 2. Si Nitratos es menor de 100 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 4 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub₄) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso w₄.

D.FOSFATOS. Método analítico :Para calcular el valor de Fosfatos se procede a determinar mediante la siguiente fórmula polinómica:

$$q_i - P = 4.67320 \times 10^{-3} \times P^6 - 1.61670 \times 10^{-1} \times P^5 + 2.20595 \times P^4 - 15.0504 \times P^3 + 53.8893 \times P^2 - 99.8933 \times P + 99.8311$$

$$R^2 = 0.9994$$

Donde:

qi-P: Factor de escala Fosfatos

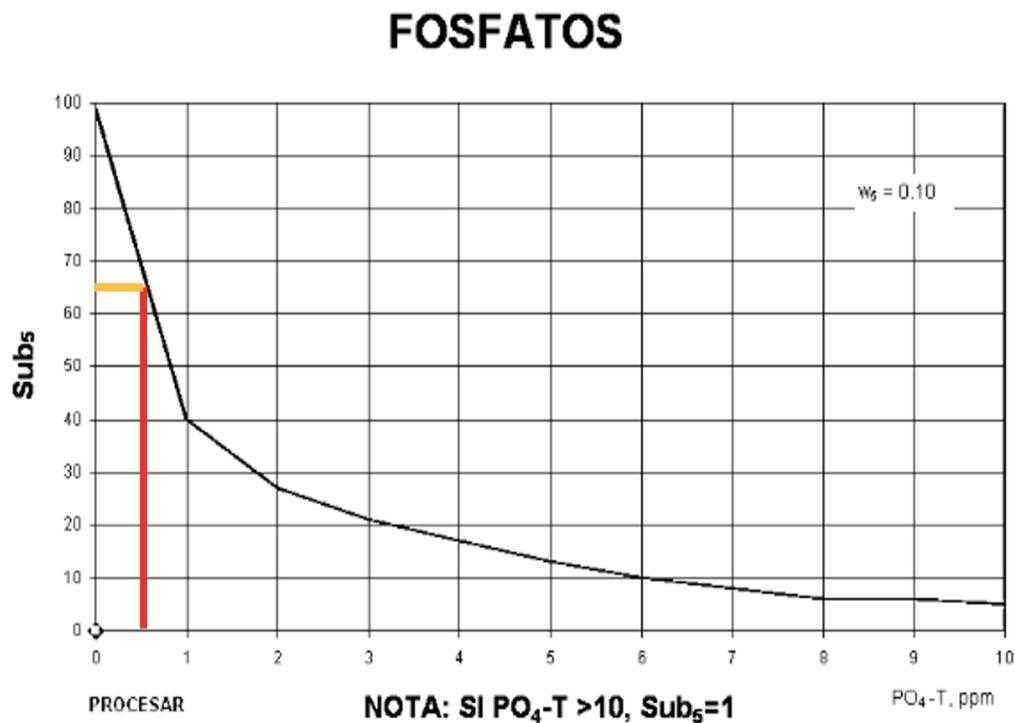
P: Fosfatos en mg/l

Fuente: Nasirian,2007.

Fosfatos = 65.10901204

Figura 28

Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo



Si el Fosfato es mayor de 10 mg/L el (Sub5) es igual a 5. Si el Fosfatos es menor de 10 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 5 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub5) y se procede a elevarlo al peso w5.

E.TURBIDEZ . Método Analítico:Para calcular el valor de la turbidez se procede a determinar mediante la siguiente fórmula polinómica:

$$qi - Tu = 1.8939 \times 10^{-6} \times Tu^4 - 4.9942 \times 10^{-4} \times Tu^3 + 4.9181 \times 10^{-2} \times T^2 - 2.6284 \times Tu + 98.098$$

$$R^2 = 0.9990$$

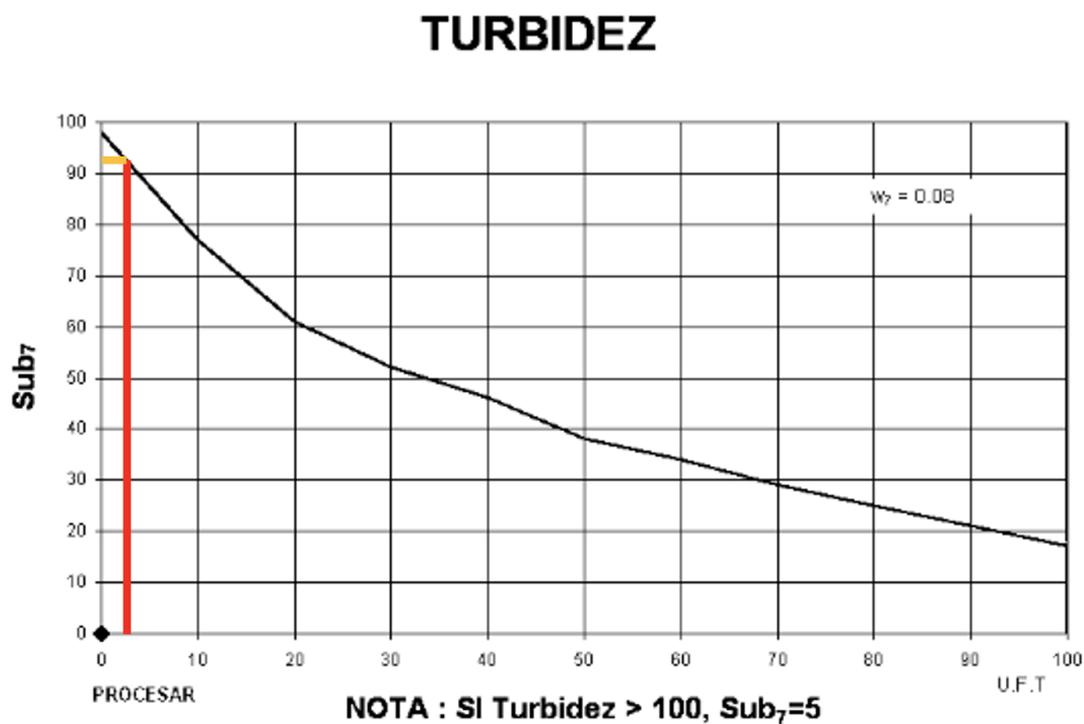
Donde:

qi-Tu: Factor de escala turbidez

Tu: Turbidez en NTU

Figura 29

Valoración de la calidad de agua en función de la Turbidez



$$\text{Turbidez} = 92.30682405$$

Si la Turbidez es mayor de 100 FAU el (Sub7) es igual a 5. Si la Turbidez es menor de 100 FAU, buscar el valor en el eje de (X) en la se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub7) de Turbidez y se procede a elevarlo al peso w7.

F.SÓLIDOS TOTALES. Método analítico: Para calcular el valor de Solidos Totales se procede a determinar mediante la siguiente fórmula polinómica:

$$qi - ST = -4.4289 \times 10^{-9} \times ST^4 + 4.650 \times 10^{-6} \times ST^3 - 1.9591 \times 10^{-3} \times ST^2 + 1.8973 \times 10^{-1} \times ST + 80.608$$

$$R^2 = 0.9977$$

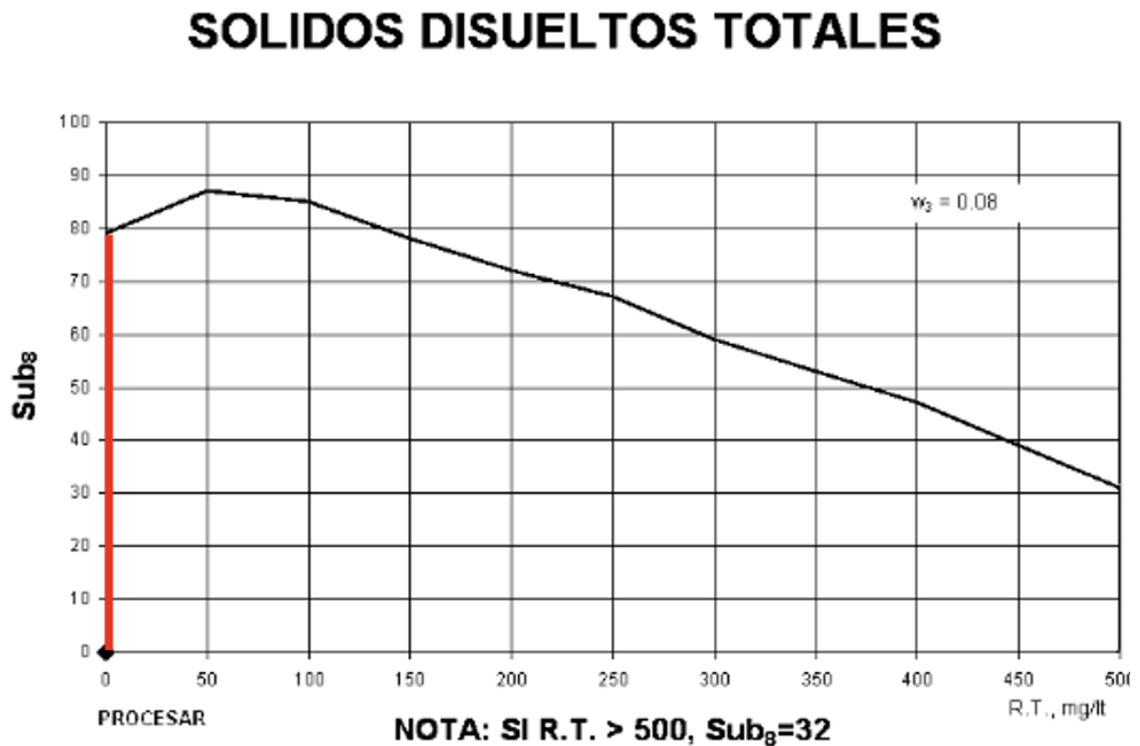
Donde:

qi-ST: Factor de escala Solidos Totales

ST: Solidos totales en mg/l

Figura 30

Valoración de la calidad de agua en función del Residuo Total



Fuente: Nasirian,2007.

Entonces es $STD = 80.63641544$, según la figura .

Si los Sólidos disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el (Sub8) es igual a 3, si es menor de 500 mg/L, buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 8 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub8) de Residuo Total y se procede a elevarlo al peso w_8 .

F.TEMPERATURA . Método Analítico:Para calcular el valor de la temperatura se procede a determinar mediante la siguiente fórmula polinómica:

Para $T^{\circ} \leq 11^{\circ}\text{C}$: $qi-T=100$

Para $T^{\circ} > 29^{\circ}\text{C}$: $qi-T=10$

Para $11^{\circ}\text{C} < T^{\circ} \leq 29^{\circ}\text{C}$:

$$qi - T = 76.54007 + 4.172431 \times T - 0.1623171 \times T^2 - 2.055666 \times 10^{-3} \times T^3$$

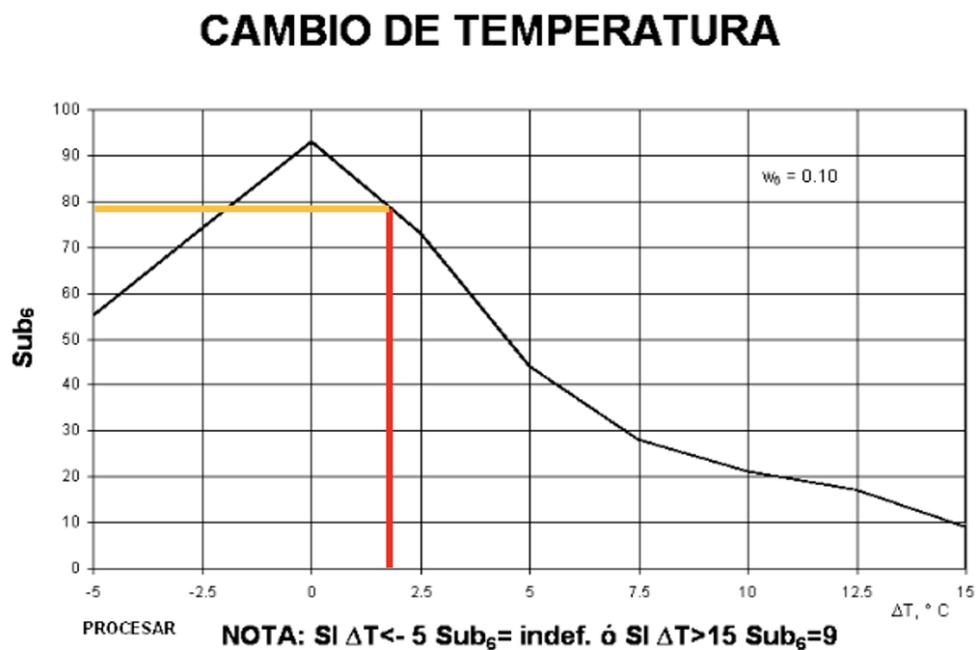
Donde:

$qi-T$: Factor de escala Cambio de temperatura

T : Cambio de temperatura en $^{\circ}\text{C}$

Figura 31

Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura



Fuente: Nasirian,2007.

Si la $T^{\circ}\text{C}$ ambiente es de 18.6 grados, y la $T^{\circ}\text{C}$ de la muestra es de 16.5, la diferencia es 2.5°C

$$q_i - T^{\circ} = 84.76414799$$

Para el parámetro de Temperatura (Sub5) primero hay que calcular la diferencia entre la $T^{\circ}\text{ambiente}$ y la $T^{\circ}\text{Muestra}$ y con el valor obtenido proceder. Si el valor de esa diferencia es mayor de 15°C el (Sub5) es igual a 9. Si el valor obtenido es menor de 15°C , buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 6 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub6) de Temperatura y se procede a elevarlo al peso w_6 .

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En definitiva, la calidad del agua es un aspecto muy importante para la salud de los ecosistemas en general y la vida, razón por la cual se debe realizar estudios de manera constante, mejor dicho, debemos prestarle la debida atención. En ocasiones, las fuentes de agua para las poblaciones humanas y otras actividades antrópicas son limitadas, por lo que es de suma importancia establecer métodos que ayuden a determinar y evaluar las condiciones en las que se encuentran los cuerpos de agua superficiales. Como alternativa para llevar a cabo estas evaluaciones, se ha propuesto una metodología capaz de estimar un índice de calidad de agua (ICA), de tal forma, que sea práctica y fácil de entender para el público en general.

Este método evalúa el comportamiento de los diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos que pueden afectar la calidad del agua, dejando de lado la percepción del público, que sólo considera los aspectos estéticos para interpretar la calidad del agua.

Esta metodología tiene la flexibilidad de que no necesariamente hay que tener información de todos los constituyentes para obtener un valor de la calidad del agua según los constituyentes utilizados, lo que provoca que este método tenga varias utilidades.

Se realizaron varios análisis, ponderando los diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos. Inicialmente, se hizo un análisis temporal de la calidad del agua para las dos estaciones (época de secas y época de lluvias) bajo estudio.

Además, mediante tablas y gráficas, se ilustraron las tendencias en la calidad de agua que han tenido ambas épocas climáticas a través del tiempo; información muy útil para identificar períodos críticos y patrones en la calidad del agua.

Se ha calculado el índice de calidad de agua por el método de Brown (ICG) utilizado para medir los cambios en la calidad de agua en diferentes puntos de muestreo de la laguna de Huaypo a través de las diferentes épocas climáticas (secas y lluvias), para lo cual se analizaron nueve variables conocidas como básicas.

Por medio de dicha escala se observó que ambas épocas muestran una calidad de agua en estado de investigación permanente, debido a que muchos factores incrementados por las diferentes actividades antrópicas, alteran las condiciones ambientales del ecosistema lacustre.

El índice de calidad de agua para la laguna de Huaypo en todas las estaciones de muestreo y en las diferentes épocas climáticas calculado mediante el método de Brown es de 75.81 en promedio para las dos épocas, clasificando al agua como “ACEPTABLE O BUENA”, lo que implica que se la puede considerar como aceptable para consumo humano, recomendable en actividades o en usos de recreación, sin necesidad de tratamiento para procesos industriales, o agrícolas para plantas sensibles y resistentes, con una mayor necesidad de purificación, potabilización para abastecimiento al público, debido a los contaminantes orgánicos e inorgánicos, que pueden ser generados de forma natural o artificial son el resultado de descargas de aguas residuales, domésticas o agrícolas.

Este estado representa una calidad de agua aceptable pero que está muy cerca de la calidad mínima requerida por los estándares. Para evitar llegar a una condición regular o pobre, sería recomendable la implantación de mejores prácticas de manejo en la cuenca que reduzcan las cargas en las fuentes de contaminación para los constituyentes en cuestión.

De este análisis se concluyó que el constituyente más crítico para la estación de muestreo 4, son los Coliformes fecales. Para mejorar la calidad del agua en este segmento, es

recomendable elaborar prácticas de manejo adecuadas para reducir las fuentes de contaminación por Coliformes fecales, las cuales ya han sido identificadas en estudios anteriores.

Se comprobó por medio de un análisis de sensibilidad paramétrico que la ecuación asigna un valor mayor a algunos parámetros de acuerdo a su grado de importancia, como por ejemplo: la calidad del oxígeno disuelto en términos de saturación; la presencia de Coliformes fecales y su incidencia en los resultados del DBO_5

Se concluyó que el constituyente más crítico son los Coliformes fecales y la mayor contribución proviene de la estación 4. También se consideró el uso de agroquímicos utilizados en las diferentes labores agrícolas, que por escorrentía aportan nitratos y fosfatos.

Los diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos alterados y/ o incrementados por las diferentes actividades antrópicas realizadas en las zonas aledañas como la agricultura y ganadería; las actividades pesqueras y la presencia de asentamientos humanos, repercuten en el proceso de eutrofización de manera acelerada y también en la calidad del agua.

El índice de calidad de agua para la laguna de Huaypo en todas las estaciones de muestreo y en las diferentes épocas climáticas calculado mediante el método de Brown es de 75.81 en promedio para las dos épocas, clasificando al agua como “ACEPTABLE O BUENA”, lo que implica que se la puede considerar como aceptable para consumo humano, recomendable en actividades o en usos de recreación, sin necesidad de tratamiento para procesos industriales, o agrícolas para plantas sensibles y resistentes, con una mayor necesidad de purificación, potabilización para abastecimiento al público, debido

a los contaminantes orgánicos e inorgánicos, que pueden ser generados de forma natural o artificial son el resultado de descargas de aguas residuales, domésticas o agrícolas.

De la determinación del Índice de Eutrofización (TSI, Carlson).

5.1.1. De la concentración de fósforo total (PO₄ en mg/L)

La clasificación del estado trófico normalmente se basa en el nutriente que representa una limitación. En la mayor parte de los casos, el factor limitante es el fósforo.

El fosfato total es una medida de todas las formas de fosfatos existentes, ya sean disueltas o en partículas que incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fosforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se obtienen por análisis químico.

El fosforo es un nutriente requerido por todos los organismos generalmente fotosintéticos para sus procesos básicos de vida, contribuyendo a la eutrofización de lagos, ríos y pozos. Es un elemento natural que puede estar en rocas y en materia orgánica.

Es utilizado extensivamente en fertilizantes y en otros químicos, por lo que puede ser hallado con concentraciones altas en áreas de actividad humana. El fósforo puede existir en el agua como fase particulada o como una fase disuelta. El material particulado puede incluir el plancton vivo y muerto, precipitados de fosforo, fosforo absorbido a partículas y fosforo amorfo. La fase disuelta incluye fosforo inorgánico y fosforo orgánico. Fosforo en las aguas naturales normalmente se encuentra se encuentra en forma de fosfato (PO₄-3). El estándar de calidad de agua para el fosforo total, según la JCA, es de 1mg/L conforme establecido por la clasificación SD (PREQB, 2004)

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales y es considerado como uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de algas, pero un exceso de fósforo produce un desarrollo excesivo de plantas, el cual es causa de condiciones inadecuadas para ciertos usos beneficiosos del agua (Baena, 2012, p 180).

La clasificación de los cuerpos de agua está directamente relacionada con la concentración de fósforo, los oligotróficos (bajas concentraciones de fósforo) son nutricionalmente pobres y biológicamente improductivos, con aguas claras y mínima producción vegetal y pesquera; el incremento nutricional conduce a cuerpos de agua mesotróficos (medianas concentraciones de fósforo) con crecimiento de plantas, aguas verdosas o amarillas y con mayor cantidad de peces, y por último están los eutróficos (altas concentraciones de fósforo), nutricionalmente ricos, con crecimiento prolífico de algas, plantas y peces, y baja calidad de agua para recreación y otros usos (Baena, 2012, p 181).

Entre las fuentes de fósforo, destacan las alcantarillas domésticas, debido a la presencia de detergentes superfosfatos y la propia materia fecal. El drenaje del agua de lluvia de las áreas agrícolas y urbanas también es una fuente importante de fósforo para los ecosistemas lacustres, ya que los fertilizantes utilizados en el cultivo tienen fósforo como nutriente de aplicación. Entre los efluentes industriales, destacan las industrias de fertilizantes, alimentos, lácteos, mataderos y mataderos.

5.1.2. De la concentración de clorofila (*Clorofila a* en mg/L)

La Clorofila- α . Es un pigmento fotosintético presente en todas las especies de fitoplancton, incluyendo organismos eucarióticos (algas) y procariotas (cianobacterias) y, por

lo tanto, es una variable fiable y comúnmente utilizada para la biomasa total del fitoplancton (Gregor y Maršálek, 2004, p 517).

El indicador directo de la eutrofización más ampliamente utilizado en las aguas lacustres es la concentración de la clorofila α en la columna de agua, que normalmente es considerado como una estimación de la biomasa del fitoplancton.

Es un indicador indirecto de la abundancia de microalgas en la columna de agua, las cuales incrementan su densidad a medida que aumentan las concentraciones de nutrientes disponibles. Abundancia de Fitoplancton. El número de individuos de determinadas especies varía de acuerdo a las condiciones ambientales presentes. Estas condiciones determinan su densidad, beneficiando o afectando su proliferación. El fitoplancton o plancton vegetal, juega un papel muy importante como base de las redes tróficas y como indicadores de la calidad del agua (Oliva-Martínez et al., 2014, p 54).

5.1.3. De la transparencia (*Secchi en metros*)

La transparencia del agua determina la capacidad de penetración de la luz en el agua debido a componentes de origen biótico como abiótico. En el caso de una mayor proliferación de fitoplancton puede limitar el crecimiento de las comunidades de macrófitos perennes. El incremento de biomasa algal en el ecosistema acuático puede llegar a producir una disminución de la concentración del oxígeno disuelto en el agua una vez que esta materia orgánica es metabolizada.

Tabla 49*TSI de cada parámetro y el índice de Carlson (Datos de campo por meses)*

	E	TSI (PT mg/l)	TSI (Clo α mg/l)	TSI (DS m)	TSI Carlson
Octubre	1	99	2.77	1.38	
	2	88	2.87	1.37	
	3	92	2.14	1.42	
	4	98	2.05	1.17	
Enero	1	119	4.72	0.95	
	2	128	3.96	0.97	
	3	130	4.80	1.00	
	4	118	4.22	0.95	
Abril	1	99	3.38	1.15	
	2	97	3.51	1.14	
	3	98	3.25	1.06	
	4	96	3.43	1.13	
Julio	1	13Z	2.90	1.10	
	2	136	2.39	1.12	
	3	134	2.85	1.10	
	4	148	2.75	0.90	

Fósforo mg/l**Tabla 50***Datos de campo por meses*

FÓSFORO (mg/m³)					
ESTACIONES	Octubre	Enero	Abril	Julio	Promedio
Estación 1	99	119	99	137	113.50
Estación 2	88	128	97	136	112.50
Estación 3	92	130	98	144	116.00
Estación 4	98	118	96	147	114.75
Promedio	94.25	123.75	97.50	141.00	114.18

Tabla 51*Datos de campo por estaciones de muestreo*

FÓSFORO (mg/m³)					
MESES	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Promedio
Octubre	99	88	92	98	94.25
Enero	119	128	130	118	123.75
Abril	99	97	98	96	97.50
Julio	137	136	144	147	141.00
PROMEDIO	113.50	112.50	116.00	114.75	114.78

Tabla 52*TSI para fósforo por meses*

TSI FÓSFORO (mg/m³)					
ESTACIONES	Octubre	Enero	Abril	Julio	Promedio
Estación 1	70.41	73.06	70.41	75.10	72.245
Estación 2	68.71	74.12	70.12	74.99	71.985
Estación 3	69.35	74.34	70.27	75.81	72.443
Estación 4	70.27	72.94	69.97	76.11	72.323
Promedio	69.685	73.615	70.193	75.503	72.250

Tabla 53*TSI para fósforo por estaciones de muestreo*

TSI FÓSFORO (mg/m³)					
MESES	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Promedio
Octubre	70.41	68.71	69.35	70.27	69.685
Enero	73.06	74.12	74.34	72.94	73.615
Abril	70.41	70.12	70.27	69.97	70.193
Julio	75.10	74.99	75.81	76.11	75.503
PROMEDIO	72.245	71.985	72.443	72.323	72.250

Clorofila mg/l**Tabla 54***Datos de campo por meses*

CLOROFILA (mg/m³)					
ESTACIONES	Octubre	Enero	Abril	Julio	Promedio
Estación 1	2.87	4.72	3.38	2.90	3.47
Estación 2	2.84	4.56	3.51	2.39	3.33
Estación 3	2.24	4.80	3.25	2.85	3.29
Estación 4	2.65	4.22	3.43	2.75	3.26
Promedio	2.65	4.58	3.39	2.72	3.34

Tabla 55*Datos de campo por estaciones de muestreo*

CLOROFILA (mg/m³)					
MESES	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Promedio
Octubre	2.87	2.84	2.24	2.65	2.65
Enero	4.72	4.56	4.80	4.22	4.58
Abril	3.38	3.51	3.25	3.43	3.39
Julio	2.90	2.39	2.85	2.75	2.72
PROMEDIO	3.47	3.33	3.29	3.26	3.34

Tabla 56*TSI para clorofila por meses*

TSI CLOROFILA MENSUAL					
ESTACIONES	Octubre	Enero	Abril	Julio	Promedio
Estación 1	40.94	45.82	42.55	41.04	42.588
Estación 2	40.84	45.48	42.92	39.15	42.098
Estación 3	38.51	45.99	42.16	40.87	41.883
Estación 4	40.16	44.72	42.69	40.52	42.023
Promedio	40.113	45.503	42.580	40.395	42.148

Tabla 57*TSI por estaciones de muestreo*

TSI CLOROFILA POR ESTACIONES DE MUESTREO					
MESES	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Promedio
Octubre	40.94	40.84	38.51	40.16	40.113
Enero	45.82	45.48	45.99	44.72	45.503
Abril	42.55	42.92	42.16	42.69	42.580
Julio	41.04	39.15	40.87	40.52	40.395
PROMEDIO	42.588	42.098	41.883	42.023	42.148

Transparencia (DISCO SECCHI)**Tabla 58***Datos de campo por meses*

TRANSPARENCIA (m) MENSUAL					
ESTACIONES	Octubre	Enero	Abril	Julio	Promedio
Estación 1	1.38	0.95	1.15	1.10	1.15
Estación 2	1.37	0.97	1.14	1.12	1.15
Estación 3	1.42	1.00	1.06	1.10	1.14
Estación 4	1.17	0.95	1.13	0.90	1.04
Promedio	1.34	0.97	1.12	1.05	1.12

Tabla 59*Datos de campo por estaciones de muestreo*

TRANSPARENCIA (m) POR ESTACIONES					
MESES	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Promedio
Octubre	1.38	1.37	1.42	1.17	1.34
Enero	0.95	0.97	1.00	0.95	0.97
Abril	1.15	1.14	1.06	1.13	1.12
Julio	1.10	1.12	1.10	0.90	1.05
PROMEDIO	1.15	1.15	1.14	1.04	1.12

Tabla 60*TSI transparencia por meses*

TSI TRANSPARENCIA MENSUAL					
ESTACIONES	Octubre	Enero	Abril	Julio	Promedio
Estación 1	55.36	60.74	57.99	58.63	58.18
Estación 2	55.46	60.44	57.99	58.63	58.13
Estación 3	54.95	60.00	59.16	58.63	58.19
Estación 4	57.74	60.74	58.24	61.52	59.56
Promedio	55.88	60.48	58.35	59.35	58.52

Tabla 61*TSI por estaciones de muestreo*

TSI TRANSPARENCIA POR ESTACIONES DE MUESTREO					
MESES	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Promedio
Octubre	55.36	55.46	54.95	57.74	58.88
Enero	60.74	60.44	60.00	60.74	60.48
Abril	57.99	57.99	59.16	58.24	58.35
Julio	58.63	58.63	58.63	61.52	59.35
PROMEDIO	58.18	58.13	58.19	59.56	58.52

Tabla 62*TSI promedio para cada parámetro y tsi promedio de carlson*

59.56	E	TSI (PT mg/l)	TSI (Clo α mg/l)	TSI (DS m)	TSI Carlson
Octubre	1	70.41	40.94	55.36	55.57
	2	68.71	40.84	55.46	55.01
	3	69.35	38.51	54.95	54.27
	4	70.27	40.16	57.74	56.07
Enero	1	73.06	45.82	60.74	59.87
	2	74.12	45.48	60.44	60.01
	3	74.34	45.99	60.00	60.11
	4	72.94	44.72	60.74	59.47
Abril	1	70.41	42.55	57.99	56.98
	2	70.12	42.92	57.99	57.01
	3	70.27	42.16	59.16	57.20
	4	69.97	42.69	58.24	56.97
Julio	1	75.10	41.04	58.63	58.26
	2	74.99	39.15	58.63	57.59
	3	75.81	40.87	58.63	58.44
	4	76.11	40.52	61.52	59.38
Promedio		72.25	42.158	58.52	57.10

Tabla 63*TSI promedio de carlson para cada época de muestreo*

TSI CARLSON MENSUAL					
ESTACIONES	Octubre	Enero	Abril	Julio	Promedio
Estación 1	55.57	59.87	56.98	58.26	57.67
Estación 2	55.01	60.01	57.01	57.59	57.41
Estación 3	54.27	60.11	57.20	58.44	57.50
Estación 4	56.07	59.47	56.97	59.38	57.97
Promedio	55.23	59.87	57.04	58.42	57.640

Tabla 64*TSI promedio de carlson para cada estación de muestreo*

TSI CARLSON POR ESTACIONES					
PARÁMETROS	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Promedio
TSI (PT)	72.245	71.985	72.443	72.323	72.250
TSI (Cl α)	42.588	42.098	41.883	42.023	42.148
TSI (DS)	58.180	58.130	58.190	59.560	58.520
PROMEDIO	57.663	57.404	57.488	57.968	57.639

Tabla 65*Clasificación del Estado de Eutrofía (TSI de Carlson)*

TSI	Cl α (mg/l)	D.S. m	PT (mg/l)	Trofía, descripción
30	0,95	8	6	Oligotrofía. Agua transparente, buena oxigenación en el hipolimnion
30 - 40	0,95 – 2,6	8 – 4	6 – 12	Oligomesotrofía. Aumento de la productividad primaria
40 - 50	2,6 – 7,3	4 – 2	12 – 24	Mesotrofía. Disminución de la transparencia, aumento de la masa algal, disminución de la concentración de O ₂ en el hipolimnion, en verano
50 - 60	7,3 – 20	2 -1	24 – 48	Eutrofía. Abundancia de la masa algal, problemas de la oxigenación en el hipolimnion
60 - 70	20 – 56	0,50 – 1	48 – 96	Dominancia de algas Cyanophytas, abundancia de macrofitos.
70 - 80	56 - 155	0,25 – 0,50	96 - 192	Hipereutrofía. La turbidez biogénica impide el ingreso de luz y por tanto el proceso fotosintético disminuye. Anoxia en el hipolimnion

Tabla 66*Índice del estado trófico (tsi) de la laguna de huaypo*

Parámetros	Unidad	Promedio	TSI	Nivel trófico
Fósforo total	mg/l	114.18	72.25	Eutrófico
Clorofila α	Mg/l	3.34	42.15	Mesotrófico
Transparencia (DS)	m	1.12	58.52	Mesotrófico

Tabla 67*Determinación del estado trófico de la laguna de huaypo*

ESTADO DE EUTROFIA	TSI	TRANSPARENCIA DE SECCHI (DS)	FÓSFORO TOTAL (PT)	CLOROFILA α (CLα)
		(m)	(mg/m ³)	(mg/m ³)
oligotrófico	0	64	0.75	0.04
0 < TSI < 30	10	32	1.5	0.12
	20	16	3	0.34
	39	8	6	0.94
Mesotrófico	40	4	12	2.6
40 < TSI < 60	50	2	24	6.4
	69	1	48	20
Eutrófico	70	0,5	96	56
70 < TSI < 90	80	0,25	192	154
	99	0,12	384	427
Hipereutrófico	100	0,062	768	1183
TSI > 100				

Para la determinación del estado trófico de un cuerpo de agua se emplean principalmente tres variables, la concentración de fósforo total, la concentración de clorofila α y la transparencia del agua, determinada por la profundidad de lectura del disco de Secchi y se aplican índices calculados en base a ellas (Carlson y Simpson 1996).

Tomando en consideración los valores del TSI del fósforo total (72,25), de la clorofila α (42,15) y de la transparencia (58,52) se obtiene un promedio (TSI) de 57,64 que en la tabla N° concerniente al Índice del estado trófico (TSI) de la laguna de Huaypo, se tipifica como mesotrófica.

Los valores obtenidos en campo del fósforo total (114.18) indican que se encuentran en el rango de Eutrofía ($70 < \text{TSI} < 90$). Específicamente entre 96 y 192 mg/m^3 .

Los valores obtenidos en campo de la clorofila α (3,34) indican que se encuentra en el rango de Mesotrofía ($40 < \text{TSI} < 60$). Específicamente entre 2,6 y 6,4 mg/m^3

Los valores obtenidos en campo de la transparencia (1.12) indican que se encuentra en el rango de Mesotrofía ($40 < \text{TSI} < 60$) y ligeramente en el rango de eutrofia ($70 < \text{TSI} < 90$). Específicamente entre 1m a 0,5m.

Si bien es cierto, que los valores de la clorofila α se encuentran dentro del Estado mesotrófico; los de la transparencia entre mesotrófico y eutrófico; claramente los valores del fósforo total se ubican dentro eutrofia.

Considerando que el proceso de eutrofización es un fenómeno producido por un número variable de factores físicos, químicos y biológicos, la laguna de Huaypo se encontraría experimentando un deterioro en la calidad del agua.

Quiere decir que este ecosistema acuático se encuentra en un proceso de transición entre la mesotrofía y eutrofia. Las diferentes actividades antrópicas relacionadas con la agricultura, ganadería, pesquería, la deposición de residuos sólidos y sobre todo el vertimiento de aguas residuales están acelerando este proceso.

La abundancia de nutrientes en un cuerpo de agua depende de muchos factores entre los que se destacan las dimensiones del mismo, tasa de renovación, interacciones con los sedimentos del lecho, el tipo de suelo que exista en la cuenca de captación y las acciones que se realizan en la misma, ya que la cantidad de estos elementos es mayor en ambientes situados en regiones en las que la actividad humana produce descargas de sustancias ricas en ellos, como las industriales, agropecuarias y domésticas. Otras actividades tales como la introducción del cultivo de peces en jaulas o corrales en una masa de agua tienen diversas repercusiones en el medio ambiente, valoradas de acuerdo a los usos que se hagan del cuerpo de agua (Beveridge 1986, Bureau y Cho 1999).

De acuerdo a la tabla de propuesta por Carlson la laguna de Huaypo se encuentra entre el Estado Trófico de mesotrofia y eutrofia.

Los indicadores de eutrofización, recogen información acerca de la concentración de los nutrientes inorgánicos disueltos en el agua, principalmente las especies químicas disueltas del nitrógeno (nitrato, nitrito y amonio), fósforo (ión ortofosfato), y de sus razones elementales.

El ser humano aporta nutrientes y materia orgánica al medio acuático mediante el vertido directo de aguas residuales urbanas más o menos depuradas, así como de las derivadas de la actividad agrícola y ganadera. Dado que esta materia orgánica puede constituir una fuente indirecta de nutrientes al ser degradada en el medio receptor (lo que por otro lado produce un consumo de oxígeno) e incluso algunos productores primarios son capaces de metabolizar moléculas orgánicas directamente. El incremento en la concentración de fósforo total, puede estar relacionado con la intensificación de las actividades agropecuarias desarrolladas en las

áreas circundantes al cuerpo de agua. Además un incremento de este nutriente puede deberse a la descarga, vía sistemas de drenajes, de las poblaciones ubicadas alrededor de laguna de Huaypo o por escorrentías. Los recintos en donde se crían los animales pueden afectar a los ecosistemas acuáticos, dado que suelen inducir cambios en las características físicas, químicas y biológicas del agua de acuerdo al método de cultivo y a las especies criadas (Beveridge 1986).

Teniendo en cuenta lo anterior, se considera que algunas actividades de acuicultura, pueden constituir un factor eutrofizante de los cuerpos de agua donde se realizan, por lo que resulta de importancia el monitoreo de la concentración de estos nutrientes y la determinación de la cantidad de peces que pueden cultivarse minimizando su impacto sobre el ecosistema que los alberga. Así, la capacidad de carga de un ecosistema acuático es la biomasa de heces que puede ser mantenida en un ambiente, sin sobrepasar el estado trófico

Con respecto a la categorización en función de la profundidad de lectura del disco de Secchi, la baja transparencia media del agua (1m y 0,5m) lo ubicaría en la categoría de mesotrófico y eutrófico. La baja transparencia del agua se debe a la turbidez generada por sólidos suspendidos, principalmente de origen inorgánico y no a elevadas concentraciones de clorofila α .

5.1.4. *Del procesamiento y análisis estadístico de los datos*

Estadísticos descriptivos de los parámetros de eutrofización de las estaciones de muestreo

Tabla 68*Estadísticos descriptivos de los parámetros de eutrofización de las estaciones de muestreo*

Estación 1							
Estadístico	Fósforo	TSI Fósforo	Clorofila	TSI Clorofila	Transparencia	TSI Transparencia	TSI Carlson
Media	113,5	69,7	3,5	42,6	1,1	58,2	57,7
Mediana	109,0	69,8	3,1	41,8	1,1	58,3	57,6
Varianza	334,3	0,6	0,8	5,2	0,03	4,9	3,4
Desviación estándar	18,3	0,8	0,9	2,3	0,2	2,2	1,8
Mínimo	99,0	68,7	2,9	40,9	1,0	55,4	55,6
Máximo	137,0	70,4	4,7	45,8	1,4	60,7	59,9
Rango	38,0	1,7	1,9	4,9	0,4	5,4	4,3
Estación 2							
Estadístico	Fósforo	TSI Fósforo	Clorofila	TSI Clorofila	Transparencia	TSI Transparencia	TSI Carlson
Media	112,25	73,62	3,33	42,10	1,15	58,13	57,41
Mediana	112,50	73,59	3,18	41,88	1,13	58,31	57,30
Varianza	544,25	0,51	0,89	7,46	0,03	4,24	4,24
Desviación estándar	23,33	0,72	0,94	2,73	0,17	2,06	2,06
Mínimo	88,00	72,94	2,39	39,15	0,97	55,46	55,01
Máximo	136,00	74,34	4,56	45,48	1,37	60,44	60,01
Rango	48,00	1,40	2,17	6,33	0,40	4,98	5,00
Estación 3							
Estadístico	Fósforo	TSI Fósforo	Clorofila	TSI Clorofila	Transparencia	TSI Transparencia	TSI Carlson
Media	116,00	70,19	3,29	41,88	1,15	58,19	57,51

Mediana	114,00	70,20	3,05	41,52	1,08	58,90	57,82
Varianza	626,67	0,04	1,19	9,78	0,04	4,97	6,07
Desviación estándar	25,03	0,19	1,09	3,13	0,19	2,23	2,46
Mínimo	92,00	69,97	2,24	38,51	1,00	54,95	54,27
Máximo	144,00	70,41	4,80	45,99	1,42	60,00	60,11
Rango	52,00	0,44	2,56	7,48	0,42	5,05	5,84
Estación 4							
Estadístico	Fósforo	TSI Fósforo	Clorofila	TSI Clorofila	Transparencia	TSI Transparencia	TSI Carlson
Media	114,75	75,50	3,26	42,02	1,04	59,56	57,97
Mediana	108,00	75,46	3,09	41,61	1,04	59,49	58,18
Varianza	560,92	0,30	0,53	4,48	0,02	3,43	2,95
Desviación estándar	23,68	0,54	0,73	2,12	0,13	1,85	1,72
Mínimo	96,00	74,99	2,65	40,16	0,90	57,74	56,07
Máximo	147,00	76,11	4,22	44,72	1,17	61,52	59,47
Rango	51,00	1,12	1,57	4,56	0,27	3,78	3,40

En el cuadro anterior, se observa que el mayor promedio de fósforo se observó en la estación 4 de muestreo, así también el máximo valor observado de fósforo se dio en la misma estación de muestreo con un valor de 147 mg/l. Mientras que el mínimo valor de fósforo observado se visualizó en la estación de muestreo 2, con 88 mg/l.

La mayor variabilidad de clorofila se dio en la estación 3, al tener una desviación estándar de 1,09 mg/l. Mientras que el máximo promedio de clorofila se observó en la estación de muestreo número 1, con un valor de 3.5 mg/l.

Respecto a la transparencia, el máximo valor observado fue de 1,42 en la estación 3. Y el mínimo de 0,97, en la estación de monitoreo 2.

Mientras que el valor final de TSI Carlson, tuvo un mayor promedio en la estación 4, con un valor de 57,97. La estación que presentó el menor promedio de TSI Carlson fue la 3.

Tabla 69

Estadísticos descriptivos de los parámetros de eutrofización por meses

Octubre							
Estadístico	Fósforo	TSI Fósforo	Clorofila	TSI Clorofila	Transparencia	TSI Transparencia	TSI Carlson
Media	94,25	72,25	2,65	40,11	1,34	55,88	55,23
Mediana	95,00	71,74	2,75	40,50	1,38	55,41	55,29
Varianza	26,92	5,18	0,08	1,26	0,01	1,59	0,60
Desviación estándar	5,19	2,28	0,29	1,12	0,11	1,26	0,77
Mínimo	88,00	70,41	2,24	38,51	1,17	54,95	54,27
Máximo	99,00	75,10	2,87	40,94	1,42	57,74	56,07
Rango	11,00	4,69	0,63	2,43	0,25	2,79	1,80
Enero							
Estadístico	Fósforo	TSI Fósforo	Clorofila	TSI Clorofila	Transparencia	TSI Transparencia	TSI Carlson
Media	123,75	71,99	4,58	45,50	0,97	60,48	59,87

Mediana	123,50	72,12	4,64	45,65	0,96	60,59	59,94
Varianza	37,58	9,26	0,07	0,32	0,00	0,12	0,08
Desviación estándar	6,13	3,04	0,26	0,56	0,02	0,35	0,28
Mínimo	118,00	68,71	4,22	44,72	0,95	60,00	59,47
Máximo	130,00	74,99	4,80	45,99	1,00	60,74	60,11
Rango	12,00	6,28	0,58	1,27	0,05	0,74	0,64
Abril							
Estadístico	Fósforo	TSI Fósforo	Clorofila	TSI Clorofila	Transparencia	TSI Transparencia	TSI Carlson
Media	97,50	72,44	3,39	42,58	1,12	58,35	57,04
Mediana	97,50	72,31	3,41	42,62	1,14	58,12	57,00
Varianza	1,67	9,74	0,01	0,10	0,00	0,31	0,01
Desviación estándar	1,29	3,12	0,11	0,32	0,04	0,56	0,11
Mínimo	96,00	69,35	3,25	42,16	1,06	57,99	56,97
Máximo	99,00	75,81	3,51	42,92	1,15	59,16	57,20
Rango	3,00	6,46	0,26	0,76	0,09	1,17	0,23
Julio							
Estadístico	Fósforo	TSI Fósforo	Clorofila	TSI Clorofila	Transparencia	TSI Transparencia	TSI Carlson
Media	141,00	72,32	2,72	40,40	1,06	59,35	58,42
Mediana	140,50	71,61	2,80	40,70	1,10	58,63	58,35
Varianza	28,67	8,16	0,05	0,74	0,01	2,09	0,55
Desviación estándar	5,35	2,86	0,23	0,86	0,10	1,45	0,74
Mínimo	136,00	69,97	2,39	39,15	0,90	58,63	57,59
Máximo	147,00	76,11	2,90	41,04	1,12	61,52	59,38
Rango	11,00	6,14	0,51	1,89	0,22	2,89	1,79

En el cuadro anterior se aprecia que en el mes de julio se tuvo los valores más altos promedio de fósforo. Mientras que el mínimo valor de fósforo se observó en el mes de octubre con 88 mg/l. Mientras que el promedio más bajo de clorofila se dio en octubre, iniciando la época de lluvias, y el mayor valor en enero, en plena época de lluvias (4,58 mg/l). En relación a la transparencia la mayor variabilidad se observó en julio, y el mayor valor de transparencia en el mes de octubre, con una profundidad de 1,42 m. En lo que respecta al TSI de Carlson, el mayor promedio se observó en el mes de enero (59,87), pero la mayor variabilidad de dicho

valor se presentó en el mes de octubre (0,77) también el mínimo valor de TSI de Carlson se dio en octubre (54,27), mientras que el máximo valor (60,11) se pudo observar en el mes de enero.

El 50% de la laguna de Huaypo, en el mes de octubre, presentó un valor de TSI de Carlson superior a 55,29, mientras que en el mes de julio el 50% de la laguna presentó un valor inferior a 58,35. El mayor rango respecto a valores mínimos y máximos, se observó en el mes de octubre, seguido del mes de juli

Estadísticos descriptivos del ICA

Tabla 70

Estadísticos descriptivos de ICA por estaciones

Estación 1													
Estadístico	OD (mg/l)	% de saturación de OD	Coliformes fecales (UFC/100ml)	Coliformes totales (UFC/100ml)	DBO5 (mg/l)	pH	NO3 (mg/l)	PO4 (mg/l)	Turbidez (UNT)	STD (mg/l)	T° del agua (°C)	T° ambiente (°C)	Cambio de T° (°C)
Media	7,6	80,9	99,3	291,5	1,6	7,9	0,7	0,4	1,3	0,2	16,2	18,3	2,1
Mediana	7,6	81,2	96,0	305,0	1,6	7,8	0,7	0,4	1,3	0,2	16,3	18,5	2,2
Varianza	0,4	104,9	218,9	1569,0	0,1	0,1	0,00	0,00	0,03	0,00	1,9	6,1	1,2
Desviación estandar	0,6	10,2	14,8	39,6	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,0	1,4	2,5	1,1
Mínimo	6,8	68,1	85,0	236,0	1,4	7,7	0,6	0,3	1,2	0,1	14,4	15,0	0,6
Máximo	8,3	93,1	120,0	320,0	1,9	8,2	0,7	0,5	1,6	0,2	17,8	21,0	3,2
Rango	1,5	25,0	35,0	84,0	0,6	0,5	0,1	0,2	0,4	0,1	3,4	6,0	2,6
Estación 2													
Estadístico	OD (mg/l)	% de saturación de OD	Coliformes fecales (UFC/100ml)	Coliformes totales (UFC/100ml)	DBO5 (mg/l)	pH	NO3 (mg/l)	PO4 (mg/l)	Turbidez (UNT)	STD (mg/l)	T° del agua (°C)	T° ambiente (°C)	Cambio de T° (°C)
Media	7,5	80,7	188,0	384,8	2,4	7,6	0,6	0,5	1,6	0,2	16,2	18,2	2,0
Mediana	7,5	80,7	197,0	384,5	2,4	7,6	0,6	0,5	1,5	0,2	16,4	18,3	1,9
Varianza	0,3	97,8	2621,3	1363,6	0,1	0,03	0,00	0,00	0,07	0,00	2,0	6,7	1,5
Desviación estandar	0,6	9,9	51,2	36,9	0,4	0,18	0,03	0,03	0,26	0,04	1,4	2,6	1,2
Mínimo	6,9	68,6	120,0	340,0	2,1	7,3	0,5	0,5	1,3	0,1	14,4	15,0	0,6
Máximo	8,3	92,8	238,0	430,0	2,9	7,7	0,6	0,5	2,0	0,2	17,8	21,3	3,5

Rango	1,4	24,2	118,0	90,0	0,8	0,4	0,1	0,1	0,6	0,1	3,4	6,3	2,9
Estación 3													
Estadístico	OD (mg/l)	% de saturación de OD	Coliformes fecales (UFC/100ml)	Coliformes totales (UFC/100ml)	DBO5 (mg/l)	pH	NO3 (mg/l)	PO4 (mg/l)	Turbidez (UNT)	STD (mg/l)	T° del agua (°C)	T° ambiente (°C)	Cambio de T° (°C)
Media	7,4	79,3	167,5	333,8	2,6	7,3	0,5	0,3	1,7	0,2	16,4	18,4	2,0
Mediana	7,5	80,2	170,0	337,5	2,7	7,3	0,5	0,3	1,8	0,2	16,2	18,3	2,1
Varianza	0,2	72,9	225,0	89,6	0,38	0,13	0,01	0,00	0,10	0,00	2,9	8,0	1,4
Desviación estandar	0,5	8,5	15,0	9,5	0,62	0,37	0,12	0,01	0,32	0,04	1,7	2,8	1,2
Mínimo	6,8	68,1	150,0	320,0	1,9	6,8	0,3	0,3	1,3	0,1	14,5	15,1	0,6
Máximo	7,9	88,7	180,0	340,0	3,3	7,7	0,6	0,3	2,0	0,2	18,6	22,0	3,4
Rango	1,1	20,6	30,0	20,0	1,4	0,9	0,3	0,0	0,7	0,1	4,1	6,9	2,8
Estación 4													
Estadístico	OD (mg/l)	% de saturación de OD	Coliformes fecales (UFC/100ml)	Coliformes totales (UFC/100ml)	DBO5 (mg/l)	pH	NO3 (mg/l)	PO4 (mg/l)	Turbidez (UNT)	STD (mg/l)	T° del agua (°C)	T° ambiente (°C)	Cambio de T° (°C)
Media	6,2	66,8	433,5	616,5	4,0	6,7	0,6	0,5	2,2	0,2	16,4	18,2	1,9
Mediana	6,3	67,7	407,5	605,0	3,7	6,7	0,6	0,5	1,9	0,2	16,5	18,3	1,8
Varianza	0,1	50,4	6445,7	8369,0	0,61	0,04	0,01	0,01	0,67	0,00	2,2	6,9	1,4
Desviación estandar	0,4	7,1	80,3	91,5	0,78	0,19	0,09	0,07	0,82	0,04	1,5	2,6	1,2
Mínimo	5,7	57,3	370,0	520,0	3,4	6,4	0,5	0,4	1,6	0,1	14,4	15,0	0,6
Máximo	6,6	74,3	549,0	736,0	5,1	6,8	0,7	0,6	3,4	0,2	18,0	21,4	3,4
Rango	0,9	17,0	179,0	216,0	1,8	0,4	0,2	0,2	1,8	0,1	3,6	6,4	2,8

En el cuadro anterior, se observan los estadísticos descriptivos de los valores de ICA por estaciones, se observa por ejemplo que el valor promedio más elevado de oxígeno disuelto, se dio en la estación de muestreo 1, seguido de la estación 2. El valor más bajo de OD, se presentó en la estación de muestreo 4 con un valor de 5,7 mg/l. y el mayor valor corresponde a la estación de muestreo. La mayor variabilidad de oxígeno disuelto se presentó en la estación 1 y en la estación 2, con una desviación estándar de 0,6 respectivamente.

Respecto al porcentaje de saturación de oxígeno, la estación de muestreo que presentó el mayor promedio fue la 1, con una saturación de 80,9 %. Y la estación 4, fue la que presentó la menor saturación de oxígeno con apenas 57,3 %.

Mientras que el mayor rango de variabilidad de coliformes totales se presentó en la estación 4, con una desviación estándar de 80,3 UFC/ml. Y en la estación 4 también se observó el mayor promedio de este parámetro (433,5 UFC/ml). El mínimo valor de los coliformes totales se presentó en la estación de muestreo 1.

En lo referente a los coliformes fecales, el mayor valor se presentó en la estación 4 con 549 UFC/ml. Así como el mayor rango entre valores mínimos y máximos, influenciando en la desviación estándar.

La estación 4, también presentó el mayor promedio de coliformes totales. Mientras que la mediana de menor valor se presentó en la estación 1 (305 UFC/ml).

La DBO₅ tuvo la mayor variabilidad en la estación 4, en esta misma estación se observaron los valores máximos y el mayor promedio. Mientras que el promedio de menor valor se observó en la estación 1 (1,6 mg/l)

El pH presentó el valor más alto en las estaciones 1, 2 y 3 (7,7), y el mínimo valor en la estación 4.

Finalmente, el mayor cambio de temperatura promedio entre la temperatura del agua y temperatura del ambiente se observó en la estación 1.

Tabla 71*Estadísticos descriptivos por meses de ICA*

Enero													
Estadístico	OD (mg/l)	% de saturación de OD	Coliformes fecales (UFC/100ml)	Coliformes totales (UFC/100ml)	DBO5 (mg/l)	pH	NO3 (mg/l)	PO4 (mg/l)	Turbidez (UNT)	STD (mg/l)	T° del agua (°C)	T° ambiente (°C)	Cambio de T° (°C)
Media	7,8	87,2	181,3	382,5	2,5	7,5	0,6	0,4	1,6	0,1	18,1	21,4	3,4
Mediana	8,1	90,8	135,0	330,0	2,3	7,5	0,6	0,5	1,7	0,1	17,9	21,4	3,4
Varianza	0,6	78,5	16539,6	17758,3	0,6	0,4	0,01	0,01	0,13	0,00	0,1	0,2	0,0
Desviación estándar	0,8	8,9	128,6	133,3	0,8	0,7	0,11	0,09	0,36	0,03	0,4	0,4	0,1
Mínimo	6,6	74,3	85,0	290,0	1,8	6,6	0,5	0,3	1,2	0,1	17,8	21,0	3,2
Máximo	8,3	93,1	370,0	580,0	3,6	8,2	0,7	0,5	2,0	0,2	18,6	22,0	3,5
Rango	1,7	18,8	285,0	290,0	1,8	1,6	0,3	0,2	0,8	0,1	0,8	1,0	0,3
Abril													
Estadístico	OD (mg/l)	% de saturación de OD	Coliformes fecales (UFC/100ml)	Coliformes totales (UFC/100ml)	DBO5 (mg/l)	pH	NO3 (mg/l)	PO4 (mg/l)	Turbidez (UNT)	STD (mg/l)	T° del agua (°C)	T° ambiente (°C)	Cambio de T° (°C)
Media	7,1	76,5	215,5	396,5	2,7	7,1	0,6	0,4	1,6	0,2	16,2	18,5	2,3
Mediana	7,4	79,5	170,0	360,0	2,8	7,1	0,5	0,5	1,6	0,2	16,2	18,5	2,3
Varianza	0,4	43,8	20757,7	27915,7	1,0	0,4	0,01	0,01	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Desviación estándar	0,6	6,6	144,1	167,1	1,0	0,6	0,10	0,11	0,05	0,01	0,2	0,1	0,2
Mínimo	6,2	66,7	97,0	236,0	1,4	6,4	0,5	0,3	1,5	0,2	16,0	18,5	2,1

Máximo	7,5	80,4	425,0	630,0	3,8	7,8	0,7	0,6	1,6	0,2	16,5	18,6	2,5
Rango	1,3	13,8	328,0	394,0	2,4	1,4	0,2	0,2	0,1	0,0	0,5	0,1	0,4

Julio

Estadístico	OD (mg/l)	% de saturación de OD	Coliformes fecales (UFC/100ml)	Coliformes totales (UFC/100ml)	DBO5 (mg/l)	pH	NO3 (mg/l)	PO4 (mg/l)	Turbidez (UNT)	STD (mg/l)	T° del agua (°C)	T° ambiente (°C)	Cambio de T° (°C)
Media	6,5	65,5	265,5	445,0	3,3	7,5	0,6	0,4	1,4	0,2	14,4	15,0	0,6
Mediana	6,8	68,1	209,0	362,0	3,1	7,7	0,6	0,4	1,3	0,2	14,4	15,0	0,6
Varianza	0,3	30,4	39169,7	38514,0	1,8	0,2	0,00	0,01	0,12	0,00	0,0	0,0	0,0
Desviación estándar	0,6	5,5	197,9	196,2	1,3	0,4	0,05	0,08	0,34	0,01	0,0	0,0	0,0
Mínimo	5,7	57,3	95,0	320,0	1,9	6,8	0,6	0,3	1,2	0,2	14,4	15,0	0,6
Máximo	6,9	68,6	549,0	736,0	5,1	7,7	0,7	0,5	2,0	0,2	14,5	15,1	0,6
Rango	1,2	11,3	454,0	416,0	3,2	0,9	0,1	0,2	0,8	0,0	0,1	0,1	0,0

Octubre

Estadístico	OD (mg/l)	% de saturación de OD	Coliformes fecales (UFC/100ml)	Coliformes totales (UFC/100ml)	DBO5 (mg/l)	pH	NO3 (mg/l)	PO4 (mg/l)	Turbidez (UNT)	STD (mg/l)	T° del agua (°C)	T° ambiente (°C)	Cambio de T° (°C)
Media	7,3	78,4	226,0	402,5	2,2	7,4	0,5	0,5	2,2	0,1	16,5	18,1	1,7
Mediana	7,6	81,3	197,0	385,0	2,0	7,4	0,6	0,5	1,9	0,1	16,5	18,0	1,6
Varianza	0,4	40,8	13464,0	8425,0	0,7	0,2	0,02	0,01	0,72	0,00	0,0	0,1	0,1
Desviación estándar	0,6	6,4	116,0	91,8	0,8	0,4	0,14	0,11	0,85	0,01	0,1	0,3	0,3
Mínimo	6,4	68,8	120,0	320,0	1,4	6,8	0,3	0,3	1,4	0,1	16,4	17,9	1,4
Máximo	7,7	82,0	390,0	520,0	3,4	7,7	0,6	0,6	3,4	0,1	16,5	18,5	2,1
Rango	1,3	13,2	270,0	200,0	2,0	0,9	0,3	0,2	2,0	0,0	0,1	0,6	0,7

En el cuadro estadístico se presentan los estadísticos descriptivos de los diferentes parámetros de ICA respecto a los meses de evaluación.

El mayor promedio de oxígeno disuelto se observó en el mes de enero con un valor de 7,8 mg/l, también el máximo valor de este parámetro (8,3 mg/l), mientras que el mínimo valor de OD se presentó en el mes de julio.

En relación al porcentaje de saturación el mayor valor observado fue en el mes de enero con 87,2 %. Y la mayor variabilidad de este parámetro en el mes de enero.

Tanto en el parámetro de coliformes totales, como coliformes fecales los valores máximos se observaron en el mes de julio, mientras que el menor promedio se pudo evidenciar en el mes de enero.

La máxima variabilidad de BDO₅ se dio en el mes de julio con un valor de 1,3 mg/l. y el mínimo valor en el mes de abril y octubre con 1,4 mg/l.

Respecto al pH, oscila entre 6,6 y 8,6 en el mes de enero, teniendo el máximo promedio en el mes de enero y julio (7,5).

La turbidez tubo el mayor promedio en el mes de octubre, mientras que el menor valor en el mes de julio.

Tabla 72*Estadísticos descriptivos promedio de la laguna de Huaypo*

Estadístico	Fósforo	Clorofila	Transparencia	TSI Carlson
Media	114,13	3,34	1,12	57,64
Mediana	108,50	3,08	1,11	57,40
Varianza	415,32	0,68	0,02	3,37
Desviación estándar	20,38	0,82	0,16	1,84
Mínimo	88,00	2,24	0,90	54,27
Máximo	147,00	4,80	1,42	60,11
Rango	59,00	2,56	0,52	5,84

En el cuadro anterior, se observa que el promedio de fósforo en la laguna de Huaypo durante todos los meses de evaluación y todas las estaciones de muestreo fue de 114,13, el 50% de la laguna tiene un valor superior de 108,5 mg/l, además la desviación estándar es de 20,38 mg/l. El mínimo valor que se observó de este parámetro fue de 88 mg/l y el máximo de 147 mg/l, existiendo un rango de 59 mg/l durante todo el estudio.

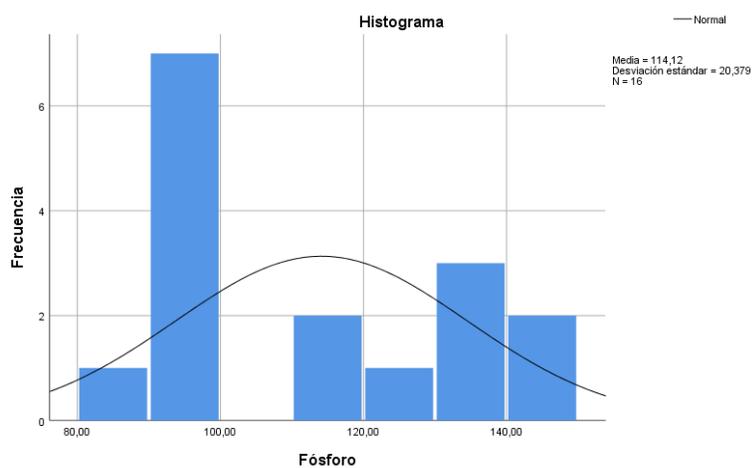
Mientras que la clorofila promedio fue de 3,34 mg/l; el 50% de la laguna tuvo un valor de clorofila inferior a 3,08 mg/l, la varianza fue de 0,68 y el rango entre el valor mínimo y máximo de este parámetro de 2,56 mg/l.

La transparencia tuvo un valor máximo de 1,42 m y un mínimo de 0,9 m, habiendo un rango en la laguna de 0,52 m. El promedio de la transparencia fue de 1,12 m. y la variabilidad expresada en la desviación estándar fue de 0,82 m.

Finalmente, el valor promedio de TSI de Carlson durante el estudio fue de 57,64; el mínimo valor fue de 54,27 y el máximo de 60,11 existiendo un rango de 5,84.

Figura 32

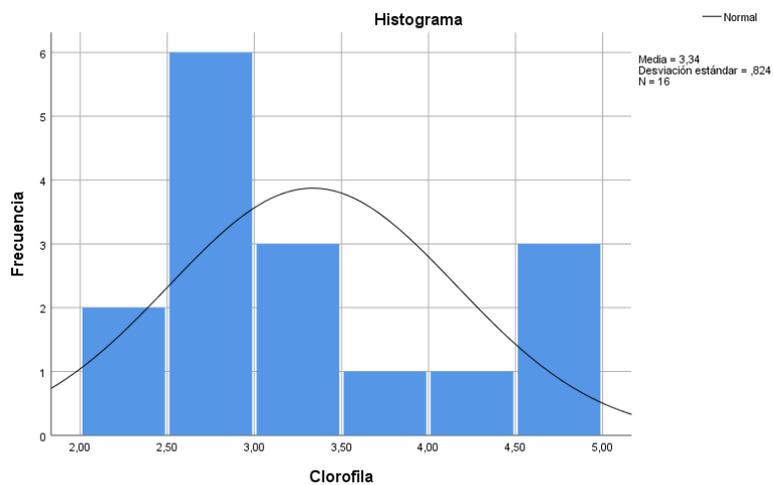
Histograma del fósforo en la Laguna de Huaypo



Nota. Fuente : Elaboración propia

Figura 33

Histograma de la Clorofila en la Laguna de Huaypo

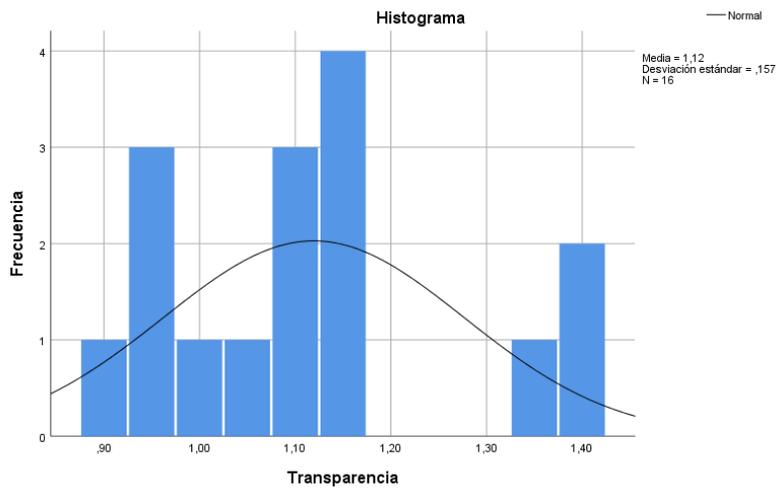


Nota.

Fuente : Elaboración propia

Figura 34

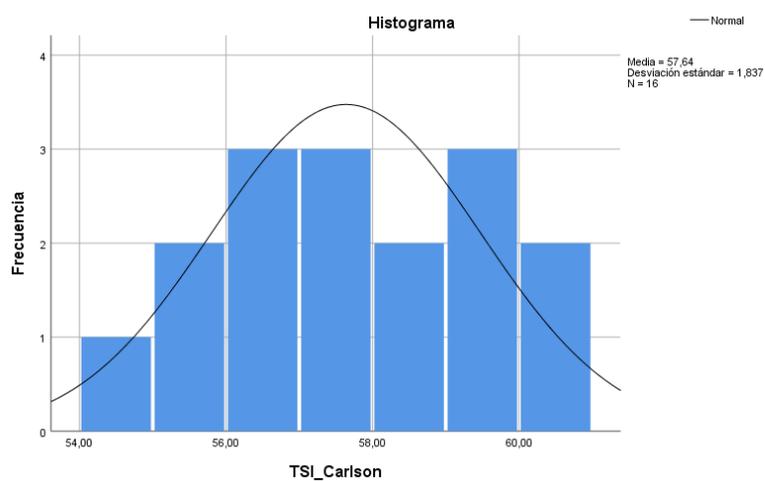
Histograma de la Transparencia de la Laguna de Huaypo



Nota. Fuente : Elaboración propia

Figura 35

Histograma del TSI de Carlson de la Laguna de Huaypo



Nota.

Fuente : Elaboración propia

En las figuras anteriores se observan los histogramas de los diferentes parámetros evaluados en la Laguna de Huaypo. Se puede observar que ninguno tiene una aproximación adecuada a la curva de la distribución normal.

Tabla 73*Estadísticos descriptivos promedio de valores de ICA*

Estadístico	OD (mg/l)	% de saturación de OD	Coliformes fecales (UFC/100ml)	Coliformes totales (UFC/100ml)	DBO5 (mg/l)	pH	NO3 (mg/l)	PO4 (mg/l)	Turbidez (UNT)	STD (mg/l)	T° del agua (°C)	T° ambiente (°C)	Cambio de T° (°C)
Media	7,2	76,9	222,1	406,6	2,7	7,3	0,6	0,4	1,7	0,2	16,3	18,3	2,0
Mediana	7,4	79,5	180,0	340,0	2,5	7,5	0,6	0,4	1,6	0,2	16,4	18,5	2,1
Varianza	0,5	102,3	18949,1	19102,4	1,0	0,3	0,01	0,01	0,28	0,00	1,8	5,5	1,1
Desviación estandar	0,7	10,1	137,7	138,2	1,0	0,5	0,10	0,09	0,53	0,04	1,3	2,4	1,1
Mínimo	5,7	57,3	85,0	236,0	1,4	6,4	0,3	0,3	1,2	0,1	14,4	15,0	0,6
Máximo	8,3	93,1	549,0	736,0	5,1	8,2	0,7	0,6	3,4	0,2	18,6	22,0	3,5
Rango	2,6	35,9	464,0	500,0	3,8	1,8	0,4	0,3	2,2	0,1	4,2	7,0	2,9

En el cuadro anterior, se puede apreciar que el promedio de OD en toda la etapa de evaluación de la laguna de Huaypo fue de 7,2 mg/l, el 50% de la laguna tuvo un valor de oxígeno disuelto mayor a 7,4 mg/l. El mínimo valor de oxígeno disuelto fue de 5,7 y el máximo de 8,3 mg/l. La variabilidad del porcentaje de saturación de oxígeno fue de 10,1%, oscilando entre 57,3 % y 93,1%.

La media de los coliformes fecales fue de 221,1 y el máximo valor observado fue de 549, existiendo un rango de 464 unidades entre los valores extremos.

Mientras que los coliformes totales tuvieron un valor mínimo de 236 y un valor máximo de 736, habiendo un rango entre ambos valores de 464. El promedio de coliformes totales que se pudo apreciar en el proceso del estudio fue de 406,6.

La BDO₅ fue mayor a 2,5 mg/l en el 50% de la laguna, existiendo además un promedio de 2,7 mg/l durante el estudio. Hubo un valor mínimo de 1,4 y un máximo de 5,1 mg/l.

El valor del pH en la laguna de Huaypo tuvo un promedio de 7,3, un valor máximo de 8,2 y un valor mínimo de 6,4. Existe una desviación estándar de 1 respecto a este parámetro.

Respecto a los nitratos, se tuvo un valor mayor a 0,6mg/l en el 50% de la laguna, y un valor mínimo de 0,3 oscilando hasta el valor de 0,6 mg/l.

Tabla 74

Análisis de varianza de eutrofización por estaciones de muestreo y meses

	Parámetro	Sig valor	G.L.
Estaciones de muestreo	Fósforo	0,99	3
	Clorofila	0,98	3
	Transparencia	0,73	3
	TSI Carlson	0,98	3
Meses	Fósforo	0	3
	Clorofila	0	3
	Transparencia	0	3
	TSI Carlson	0	3

En el cuadro anterior se observan los valores de significancia de los parámetros evaluados para eutrofización tanto en las diferentes estaciones como en los meses, antes de analizarlos nos planteamos las siguientes hipótesis:

H_0 : Los parámetros entre meses y/o estaciones son iguales

H_A : Los parámetros entre meses y/o estaciones difieren

Para las estaciones de muestreo, se puede observar en el cuadro que todos los valores de significancia son mayores a 0,05; por lo tanto, aceptamos la hipótesis nula y podemos afirmar que no existe diferencia estadística significativa entre cada estación de muestreo, siendo datos homogéneos.

Mientras que, para los meses, se observa que todos los valores de significancia son inferiores al valor de prueba (0,05), por lo tanto, podemos aceptar la hipótesis alterna o del investigador y afirmar que existe diferencia significativa entre los meses de evaluación para los parámetros de eutrofización incluyendo el TSI de Carlson, para saber qué meses difieren entre sí, a continuación, se muestra el análisis de Tukey-b, para cada una de estas variables.

Tabla 75*Prueba de Tukey-b para los parámetros por meses*

		TSI Carlson			
		1	2	3	4
Octubre	1	55,2300			
Abril			57,0400		
Julio				58,4175	
Enero					59,8650
		Clorofila			
		1	2	3	
Octubre	1	2,6500			
Julio		2,7225			
Abril			3,3925		
Enero				4,5750	
		Transparencia			
		1	2		
Enero	1	0,9675			
Julio		1,0550			
Abril		1,1200			
Octubre			1,3350		
		Fósforo			
		1	2	3	
Octubre	1	94,2500			
Abril		97,5000			
Enero			123,7500		
Julio				141,0000	

En el cuadro anterior se puede observar que, para el parámetro de TSI de Carlson, hay diferencias estadísticas significativas para los 4 meses de evaluación. Siendo el de menor valor el mes de octubre, mientras el mes de enero (plena época de lluvias) ha presentado el mayor valor. Respecto al valor de clorofila, se pudo observar que se constituyeron 3 sub grupos homogéneos, el primero formado por los meses de octubre y julio, que corresponde a plena época de secas e inicio de lluvias, que tuvieron un valor de 2,65 y 2,7 respectivamente, pero que estadísticamente

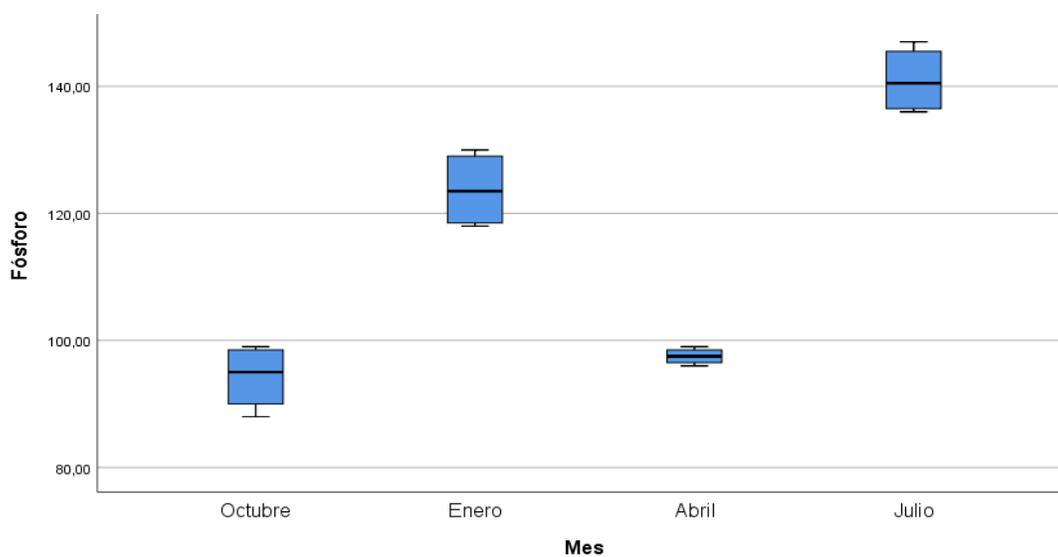
son iguales. Mientras que los meses de abril y de enero, formaron grupos independientes para este parámetro.

La transparencia ha sido igual durante los meses de enero, julio y abril teniendo todo un promedio estadísticamente igual, sin embargo, el mes de octubre tuvo un mayor promedio de transparencia y estadísticamente superior a cualquier otra época del año.

El fósforo, en el mes de octubre y abril ha tenido un promedio igual, mientras que difieren los meses de enero y julio, cuyo mayor valor se ha observado en el mes de julio con 141 mg/l.

Figura 36

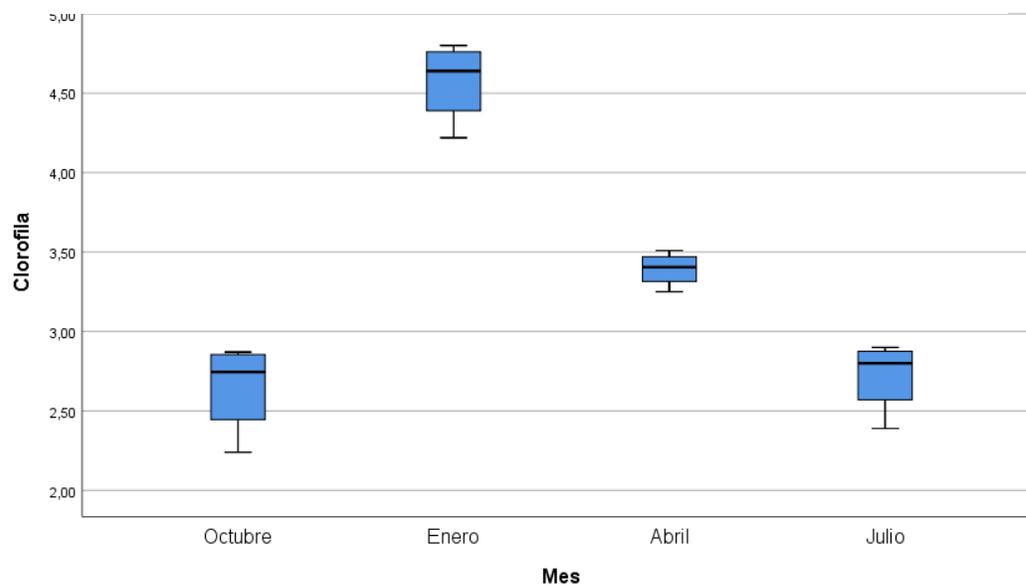
Cuadro de cajas y bigotes del valor de fósforo para los meses de



Fuente : Elaboración propia

Figura 37

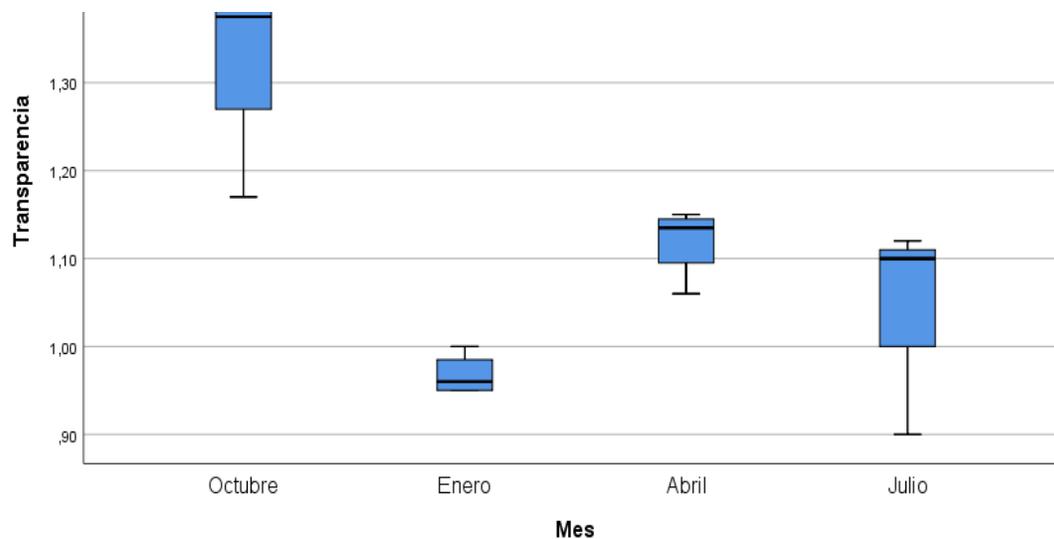
Cuadro de cajas y bigotes del valor de clorofila para los meses de evaluación



Fuente : Elaboración propia

Figura 38

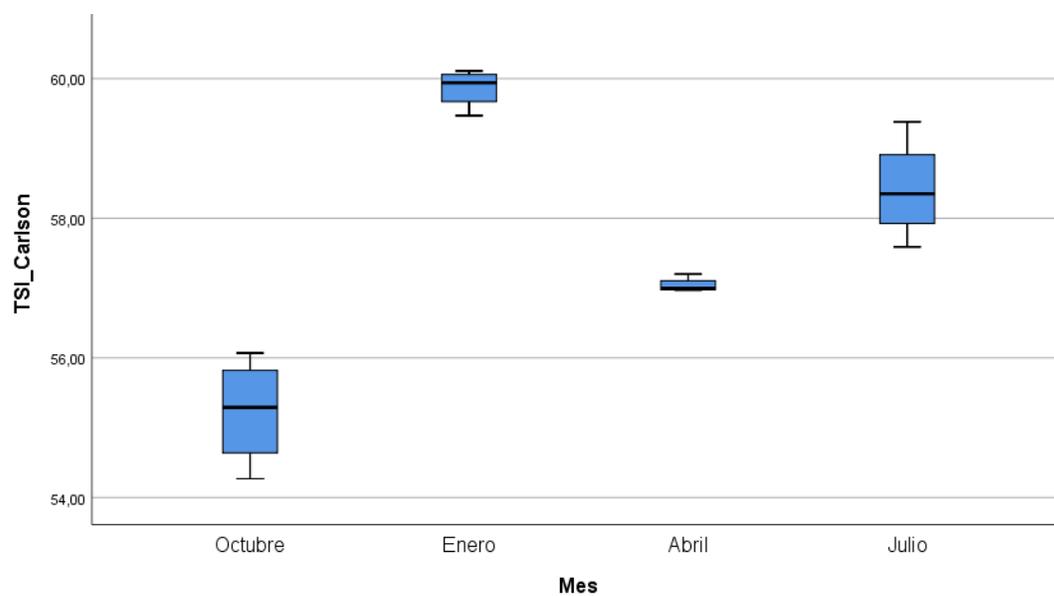
Cuadro de cajas y bigotes para el valor de transparencia en los meses de evaluación



Fuente : Elaboración propia

Figura 39

Cuadro de cajas y bigotes para el valor de TSI Carlson en los meses de evaluación



Fuente : Elaboración propia

Tabla 76*Análisis de varianza de los valores de ICA por meses y estaciones de muestreo*

	Parámetro	Sig valor	G.L.
Estaciones de muestreo	Oxígeno Disuelto	0,09	3
	Porcentaje de saturación de oxígeno	0,132	3
	Coliformes fecales	0	3
	Coliformes totales	0	3
	BDO5	0,01	3
	pH	0	3
	NO3	0,027	3
	PO4	0,01	3
	Turbidez	0,126	3
	STD	0,857	3
	Temperatura del agua	0,99	3
	Temperatura del ambiente	1	3
	Cambio de temperatura	0,997	3
	Meses	Oxígeno Disuelto	0,116
Porcentaje de saturación de oxígeno		0,007	3
Coliformes fecales		0,885	3
Coliformes totales		0,943	3
BDO5		0,493	3
pH		0,73	3
NO3		0,43	3
PO4		0,528	3
Turbidez		0,216	3
STD		0	3
Temperatura del agua		0	3
Temperatura del ambiente		0	3
Cambio de temperatura		0	3

En el cuadro anterior se observa los valores del análisis de varianza de los distintos parámetros tanto por meses como por estaciones de muestreo, para analizarlos nos planteamos las hipótesis correspondientes:

H_0 : No hay diferencia entre el valor de los parámetros por meses y/o estaciones

H_A : Hay diferencia entre el valor de los parámetros por meses y/o estaciones

Como se puede evidenciar, la mayor parte de parámetros posee un valor de significancia superior a 0,05 por lo tanto se rechaza la hipótesis alterna y se indica que no hay diferencias en sus valores ya sean tanto en meses como en estaciones de muestreo.

Pero, para parámetros como coliformes totales, coliformes fecales y pH en función a las estaciones de muestreo difieren entre sí, dado que se acepta la hipótesis alterna al tener valores de significancia inferiores a 0, lo mismo ocurre para los meses en los parámetros de Porcentaje de saturación de oxígeno, temperatura del agua, temperatura del ambiente, STD y cambio de temperatura.

Para conocer las diferencias que se dan en las estaciones y meses, a continuación, se muestra la prueba de Tuckey-b.

Tabla 77

Prueba de Tuckey – b para los diferentes parámetros que tuvieron diferencias estadísticas

Estaciones de muestreo	Coliformes fecales (UFC/100ml)		
	1	2	
Estación 1	99,2500		
Estación 3	167,5000		
Estación 2	188,0000		
Estación 4		433,5000	
	Coliformes totales (UFC/100ml)		
	1	2	
Estación 1	291,5000		
Estación 3	333,7500		
Estación 2	384,7500		
Estación 4		616,5000	
	pH		
	1	2	3
Estación 4	6,6500		
Estación 3		7,2775	
Estación 2		7,5575	7,5575
Estación 1			7,8525
	PO4 (mg/l)		
	1	2	
Estación 3	0,3175		
Estación 1	0,4050		
Estación 2		0,5000	
Estación 4		0,5125	
	Porcentaje de saturación de OD		
	1	2	
Julio	65,5200		
Abril	76,5275	76,5275	
Octubre	78,3525	78,3525	
Enero		87,2400	
	STD (mg/l)		
	1	2	
Octubre	0,1275		

Enero	0,1475		
Julio		0,1875	
Abril		0,2100	
Temperatura del agua (°C)			
	1	2	3
Julio	14,425		
Abril		16,225	
Octubre		16,450	
Enero			18,050

Respecto a las diferencias que se dieron en los coliformes totales y fecales, se aprecia que tuvieron valores estadísticamente homogéneos en las estaciones de muestreo 1, 2 y 3, mientras que la estación de muestreo 4, presentó una mayor cantidad de coliformes tanto fecales y totales, y difiere notablemente del resto de puntos de evaluación.

El pH fue el mismo en las estaciones de muestreo 3 y 2, mientras que en la estación de muestreo 1 se observó el menor valor estadísticamente, y el mayor, en la estación de muestreo 4, cuyo promedio es 7,8.

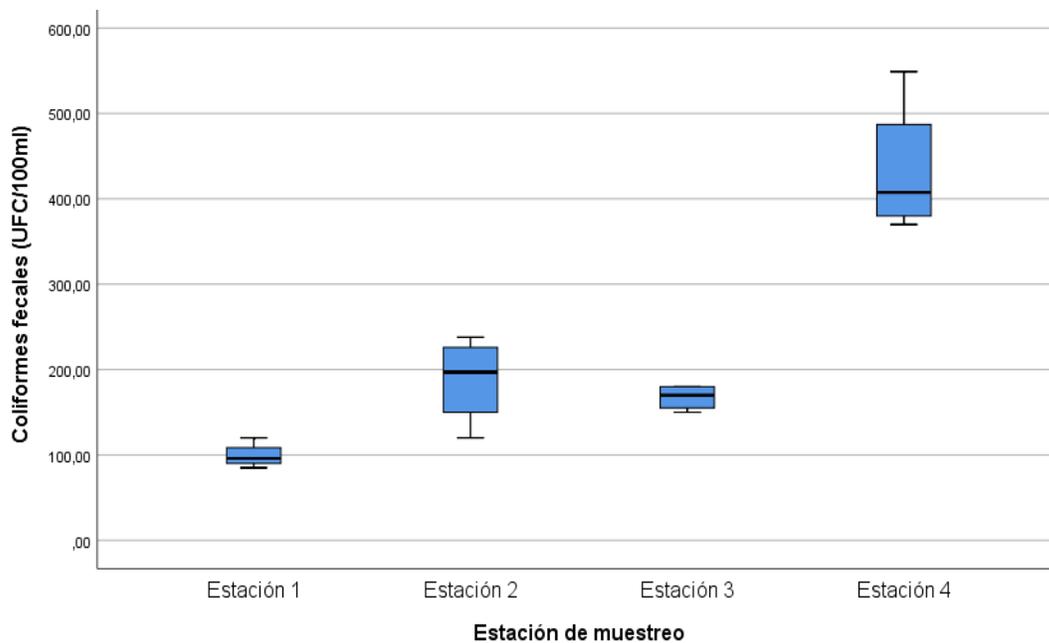
El PO₄, fue el mismo en la estación 1 y 3, mientras que el otro sub grupo homogéneo estuvo conformado por la estación de muestreo 2 y 4.

Respecto al porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, se evidenció dos sub grupos homogéneos, cuyos mayores promedios se observaron en el mes de enero. El valor de STD, fue homogéneo en los meses de octubre y enero, mientras que los mayores valores se dieron en julio y abril y son estadísticamente superiores a los otros meses.

Las temperaturas del agua, ambiente y la diferencia de ambos, formaron todos 3 sub grupos homogéneos, que estuvieron formados el primero en el mes de julio que coincide con el periodo de invierno, el siguiente abril y octubre, finalmente la mayor temperatura del agua se pudo apreciar en el mes de enero, con un promedio de 18 C.

Figura 40

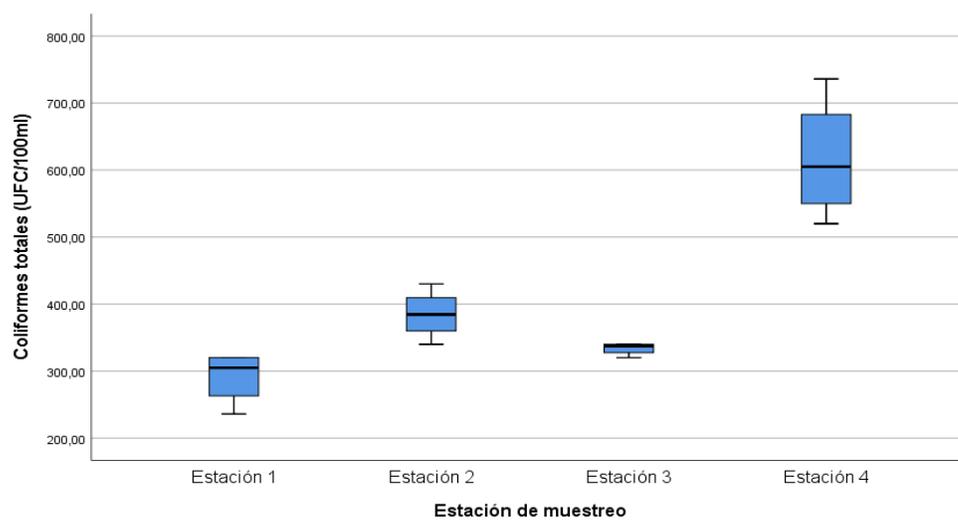
Cuadro de cajas y bigotes de los coliformes fecales



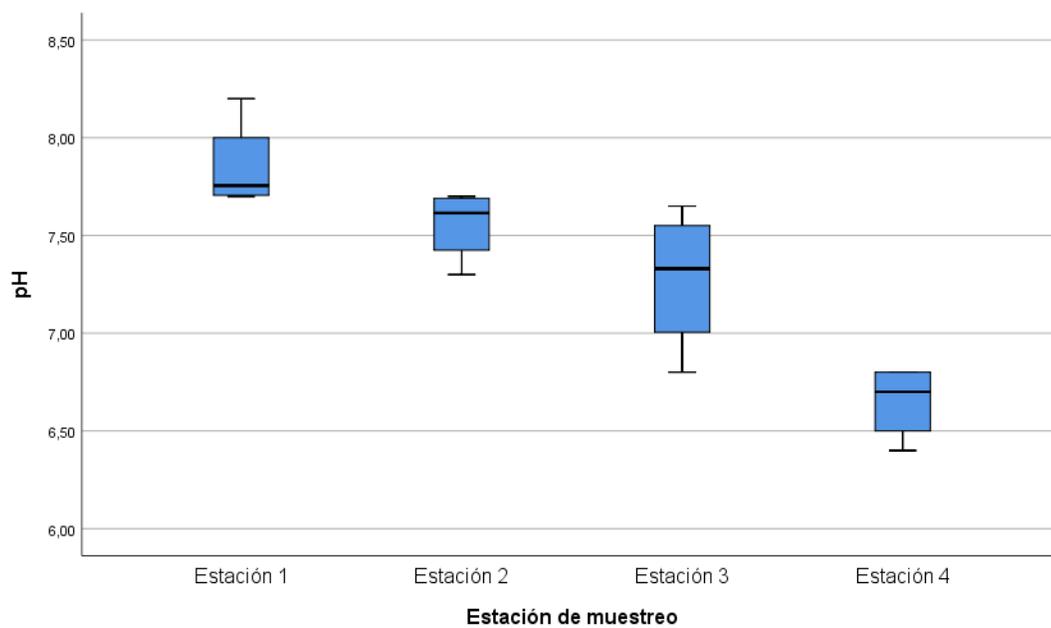
Nota. Fuente :Elaboración propia

Figura 41

Cuadro de cajas y bigotes de coliformes totales



Nota. Fuente :Elaboración propia

Figura 42*Cuadro de cajas y bigotes de PO4*

Fuente:Elaboración propia

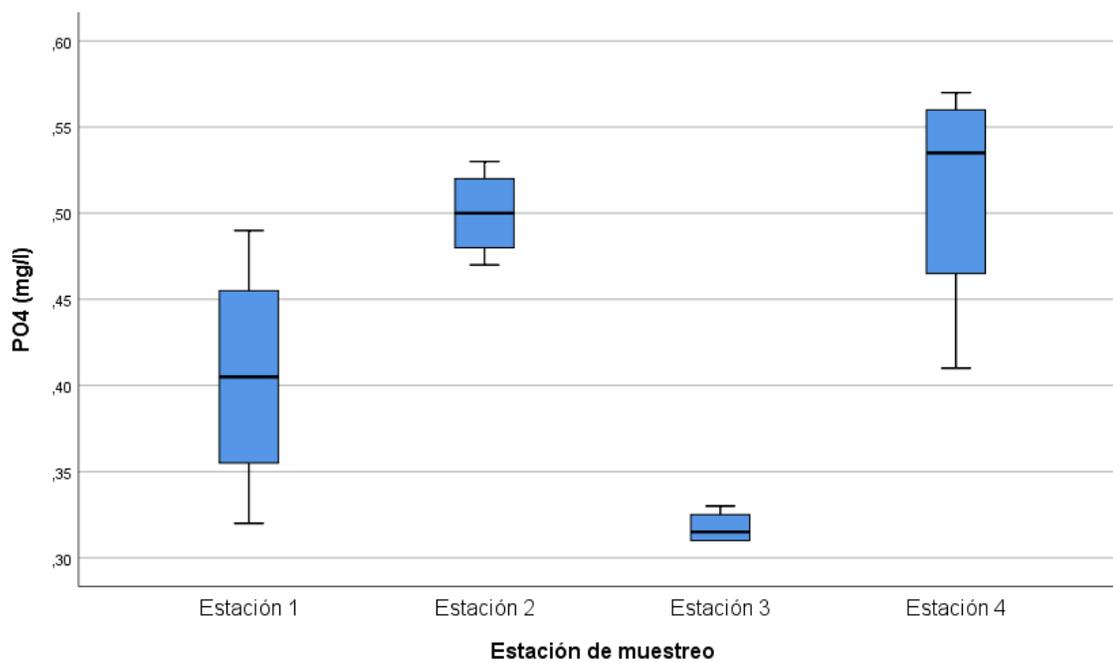
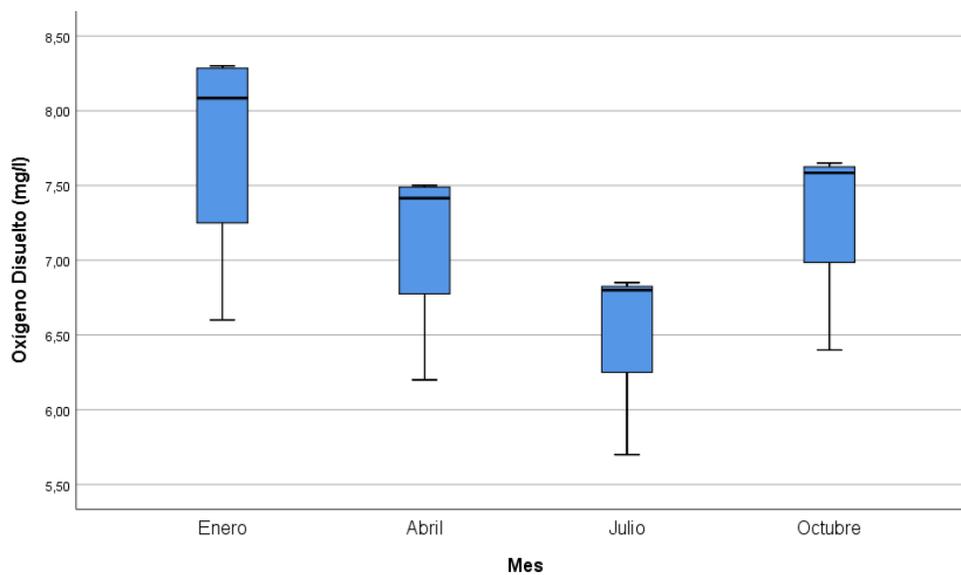


Figura 44

Cuadro de cajas y bigotes del valor de STD por meses



Nota. Fuente :Elaboración propia

Figura 43

Cuadro de cajas y bigotes del valor de STD

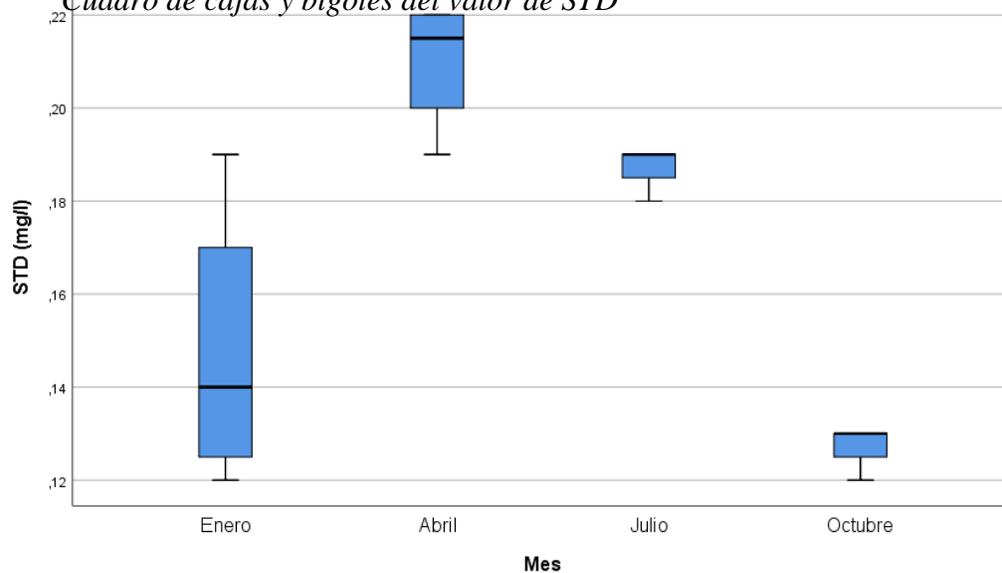
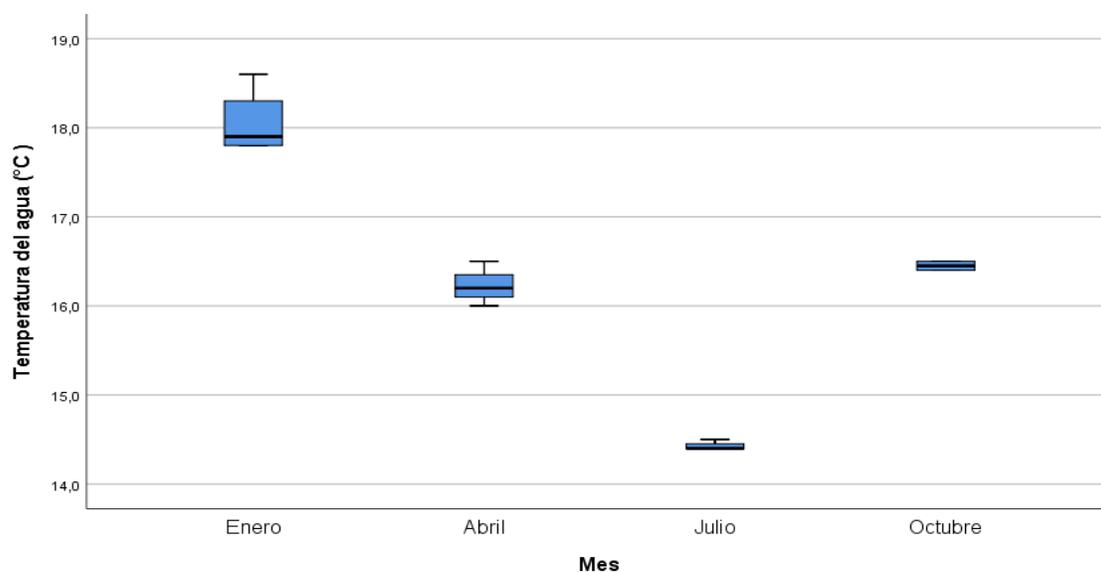


Figura 45

Diagrama de cajas y bigotes de la temperatura del agua por meses.

Nota. Fuente :Elaboración propia



5.1.5. *Análisis de componentes principales de los parámetros de ICA*

Para conocer el porcentaje de correlación, además de contribución de cada variable al índice

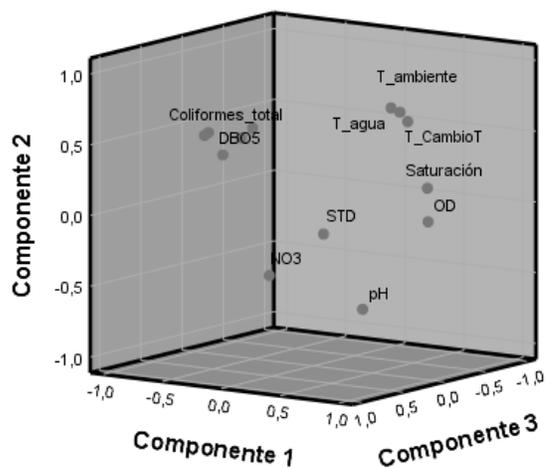
Figura 46

Tabla 78*Componentes principales de los parámetros de ICA*

	Componente			
	1	2	3	4
Oxígeno Disuelto (mg/l)	0,977	0,007	0,004	-0,066
Porcentaje de saturación de OD	0,958	0,239	-0,015	0,000
Coliformes fecales (UFC/100ml)	-0,874	0,439	0,068	0,071
Coliformes totales (UFC/100ml)	-0,830	0,466	0,082	0,153
DBO5 (mg/l)	-0,864	0,272	-0,140	0,185
pH	0,669	-0,591	0,357	0,071
NO3 (mg/l)	-0,007	-0,397	0,520	0,678
PO4 (mg/l)	-0,199	0,565	0,586	0,161
Turbidez (UNT)	-0,331	0,575	0,260	-0,437
STD (mg/l)	-0,390	-0,317	-0,682	0,355
Temperatura del agua (°C)	0,608	0,763	-0,075	0,103
Temperatura ambiente (°C)	0,635	0,725	-0,143	0,202
Cambio de temperatura (°C)	0,645	0,648	-0,224	0,319

En el cuadro anterior se puede observar que el primer componente esta correlacionado fuertemente con el oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno, con ambos positivamente. Mientras que correlacionado negativamente con coliformes totales, fecales y DBO5.

El segundo componente está correlacionado positivamente con los valores de temperatura en más de un 70% en cada caso, lo mismo se evidencia en la figura anterior.

El tercer componente está correlacionado con NO_3 y PO_4 .

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. Durante el periodo de estudio, la laguna de Huaypo experimentó alteraciones de los diferentes factores físicos, químicos y biológicos que incidieron en el deterioro de la calidad del recurso hídrico y la aceleración cultural del proceso de eutrofización, demostrándose un paulatino deterioro.
- 6.2. El análisis multivariado propuesto en la metodología de Brown (ICA), a través de variables físicas, químicas y biológicas, se logró establecer que las aguas de la laguna de Huaypo son consideradas como aguas buenas o aceptables, puesto que sus valores fluctúan entre 72.83 Y 78.62 para todas las épocas de muestreo y estaciones. A excepción de la estación de muestreo 4 que en la época de secas presenta un valor equivalente a 67.83 y es considerada como regular o mediana.
- 6.3. El análisis del Índice del Estado trófico propuesto por Carlson (TSI), indica que la Laguna de Huaypo se encuentra en un PROCESO DE MESOTROFÍA A EUTROFIA puesto que los valores de la transparencia (1m a 0,5m indican mesotrofía y eutrofia); fósforo total (96-192 mg/m³ indican eutrofia); clorofila α (2,6 a 6,4 indican mesotrofía)

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Si se pretende implantar esta metodología como alternativa de evaluación y para tomar medida de manejo de las aguas superficiales, se sugiere establecer un sistema de recolección de datos más eficiente, en el cual se pueda obtener datos para la mayoría de los constituyentes de manera consistente y más frecuente.
- 7.2. En fin, se entiende que esta metodología es muy útil para representar la calidad del agua en forma simplificada y se sugiere su aplicación para la evaluación de otros cuerpos de agua. Así se podrá demostrar una validación de la misma, lo que nos podría llevar a utilizar el ICA como el parámetro agregado para la evaluación de la calidad del agua.
- 7.3. Entre las limitaciones encontradas sobre el proceso desarrollado, es que los valores de ICA obtenidos son puntuales por lo que el resultado no se debe aplicar como un enfoque para todos los cuerpos de agua.
- 7.4. Para optimizar la conservación de la Laguna de Huaypo, es necesario contar con el compromiso de las autoridades competentes y la participación activa de todos los actores sociales involucrados en la región, puesto que en gran medida ellos son los responsables de los problemas del deterioro de la calidad de las aguas y de los procesos de eutrofización, y por otra parte ellos son los directos beneficiarios de los recursos naturales de la región y los directos afectados de los daños ambientales. Los Gobiernos locales y

nacionales a través de gestiones oportunas, deben facilitar y asignar los recursos económicos necesarios para la protección del ambiente.

- 7.5. Es de suma importancia que todas las personas involucradas tengan pleno conocimiento de los beneficios e insustentabilidades ambientales que se presentan en los diferentes ecosistemas acuáticos. Para ello, la Educación Ambiental debe ser de carácter transversal a todo nivel, desde el pre-escolar hasta la educación superior, tanto a nivel local, regional, nacional. Poner en marcha de un programa de Educación ambiental que estimule a la población a mejorar en cuanto a sus prácticas ambientales se refiere.
- 7.6. Implementar el plan de monitoreo que permita identificar las causas principales de la eutrofización y establecer mecanismos de control eficientes de carácter preventivo y correctivo, tales como la depuración de las aguas residuales, reciclado de los desechos sólidos, disminución significativa del uso de agroquímicos
- 7.7. Reducir la contaminación de la Laguna de Huaypo, con la participación de los diferentes sectores sociales, estableciendo convenios locales, nacionales e internacionales, con organismos defensores del ambiente. Gestionar la declaración de la Laguna de Huaypo como sitio RAMSAR (Zona establecida como humedal de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas).

VIII. REFERENCIAS

- Álvarez, A. Rubiños, J., Panta, F., Reyes, G., Alarcón, J., Hernández, E., Ramírez, C., Mejía, E., Pedrero, F., Nicolas, E., Salazar, E., (2006) Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción. *Revista Internacional Botánica Experimental IYTON* edición 75: pp. 71-83
- APHA, AWWA, WPCF. (2010). Métodos normalizados para el análisis de agua potable y residuales. Edic. Díaz de Santos S.A. Madrid – España.
- Autoridad Nacional del Agua – ANA. 2009. “Ley de los Recursos Hídricos, Ley 29338 y su Reglamento”, Ministerio de Agricultura, Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua – ANA. 2011. “protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos”, Ministerio de Agricultura, Lima, Perú.
- Ávila K. y Olivera M. (2014). Determinaron la productividad primaria promedio del lago Langui-Layo. Tesis Universitaria UNSAAC Cusco
- Barba, L. (2002). Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición (tesis de pregrado). Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- Caho, R. (2015) Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI.

- Carlson, R. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnología. Oceanogr.*
- Canter, W. (1996). *Environmental Impact Assessment*. United States: McGraw-Hill.
- Carbajal, A. Gonzales, F. (2012). Propiedades y funciones biológicas del agua. En V. y. Toxqui, Agua para la salud presente, pasado y futuro (págs. 66-68). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Castro, M, Almeida , Ferrer , y Díaz, D. (2014) *Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global*
- Cloern, E. 1999. *The relative importance of light and nutrient limitation of phytoplankton growth: a simple index of coastal ecosystem sensitivity to nutrient enrichment. Aquatic Ecology*, 33, 3-16. Cloern, J.E. 2001. Our evolving conceptual model of the Coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, 210: 223-253.
- Cole, G. (1988). *Manual de Limnología. Buenos Aires – Argentina*. Editorial Hemisferio Sur.
- Contreras, F., Castañeda, O. y García, N. (1994). *La clorofila a como base para un Índice Trófico en lagunas costeras mexicanas*. An. Inst. Cienc. Mar Mimnol. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Chapman, D. y Kimstach, V. (1996). *Selección de variable de calidad del agua. W de Biota, Sedimentos y Evaluaciones de la Calidad del Agua: Una Guía para el Uso de Biota*. En: Monitoreo de sedimentos y agua en el medio ambiente, segunda edición, edición Chapman, E y FN Spon, Londres, 59-126

- Chevarría, R. (2013). Fundamentos de Limnología. Texto consulta. UNSAAC – Cusco.
- Díaz, J.S. (2005). “Determinación de la Calidad de Agua del Río Vilcanota mediante Bioindicadores”, Seminario de Investigación, Facultad de Ciencias Biológicas- Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Díaz, A. y Sotomayor, L. (2013). “Evaluación de la eutrofización de la laguna de Conococha – Ancash” a agosto. Huaraz, Ancash, Perú.
- Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA. (2007). “Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales”, MINSA, Lima, Perú.
- Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA. (2007). “Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales”, MINSA, Lima, Perú.
- Duarte, M. C. (2001). Comportamiento dos Índices do Estado Trófico de Carlson (IET) e Modificado (IETM) em três lagoas naturais no nordeste do Brasil. Brasil: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Edmondson, W. (1959). Fresh Water Biology. Washington Seattle. U.S.A
- Fernández, N. y Solano, F. (2008). Índices de Calidad y Contaminación del Agua. Pamplona, España: Universidad de Pamplona.

García, Q. T. (2012). Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile (tesis de pregrado). Santiago de Chile: universidad de chile facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de Ingeniería Civil.

García, M.; Vargas, N. O.; Onofre, C.; Aguirre, S. & Sánchez, F. D. (2011). Marco conceptual y metodológico para las evaluaciones regionales del agua. Bogotá: IDEAM

Giacometti, J. Bersosa, F (2006) “Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi”. Tesis de pregrado. Escuela de Biología. Universidad Central de Ecuador.

Gil, L. (2004). “Bioindicadores reófilos para cursos de agua en el Cusco” Análisis y propuestas de manejo INANDES – Cusco. FEDU

Gómez, R. (2010). Modelos conceptuales de Funcionamiento de ríos y arroyos. España: Departamento de Ecología e Hidrología, Universidad de Murcia.

IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2007). Protocolo Estandarizado para Análisis de Aguas del IDEAM: Toma y preservación de muestras. Bogotá: IDEAM.

IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). Estudio nacional del agua 2014. Bogotá: IDEAM.

ILEC (2010) -Brieger, Nick; Kosta, Joanna Success with: International Legal English Certificate

- Downing , M McClain , R Twilley , JM Melack , J Elser ... - Biogeoquímica, (1999) – Springer
- El impacto de la aceleración del cambio de uso de la tierra en el ciclo N de los ecosistemas acuáticos tropicales: condiciones actuales y cambios proyectados
- Khan, F. A., y Ansari, A. A. “Eutrophication: an ecological vision”. *The botanical review*, 71(4), 2005, 449-482.
- Lannacone, J. (2004) “Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de la calidad de agua en dos ríos de Cajamarca y Amazonas, Perú”
- Latorre, R., Luna, K. (2014). “Índice de Calidad de Agua y Nivel de Metales Pesados del Río Araza, Quispicanchi – Cusco”. Tesis, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Lenntech. (2006). Agua residual y purificación del aire. Holanda: Holding B. V. Rotterdamseweg.
- Lenntech. (2006). Revista. Disponible en <http://www.lenntech.es/valorizador-deaguas-residuales.htm>. 24 Pág.
- León, L. (2003). Índice de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Linares, A., Sarmiento, L. (2003). “Índice de Calidad de Aguas del río Huaran en la microcuenca de Canchacancha- Calca”. Seminario de Investigación, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.

Malpartida, M., Quispe, R. (2003). “Índice de Calidad de Agua de los principales medios lóticos en el Santuario Histórico de Machupicchu”. Tesis, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.

Margalef, R. (1983). Limnología. Ed. Omega, Barcelona, España.

Mario Castro, Juniel Almeida, Julio Ferrer, Daissy Díaz (2015) Indicadores de la calidad del agua, evolución y tendencias a nivel global.

Martel, A. B. (2004). Aspectos Físicoquímicos de la Calidad de Agua. En C. P. (CEPIS/OPS), Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría (pág. 3). Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente .

MC Th. Scholten et al. (2005) - Manejo de la eutrofización y ecotoxicología /. Ciencia medioambiental.

Michael T. Madigan , John M. Martinko, Kelly S. Bender, Daniel H. Buckley , David A. Stahl , Thomas Brock (2012) -Biology of Microorganisms (14th Edition) 14th Edición

Meybeck - Internationale Vereinigung für teoretische und..., (1996) - Taylor & Francis

Rangos globales de la calidad del agua de los ríos, variabilidades temporales y espaciales.

MINAM (2008). Estándares Nacionales de Calidad Ambiental emitidos según D.S. N° 002. Lima-Perú.

MINAM. (2015). Aprueban los estándares de nacionales de calidad ambiental para el agua. El Peruano, 569076. <http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ds-ndeg-015-2015-minam.pdf>

Moreno, D., Quintero, J., y López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia.

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2008). Estándares nacionales de calidad ambiental para agua.

Michelle Ruiz Thelma (2017) Análisis comparativo de índices de eutrofización en lagunas costeras del estado de Sonora, México,

Mitchell, S. (1991). Manual de Campo del Proyecto del Río: Una Guía para Monitorear la Calidad de Agua en el Río Bravo. Estados Unidos: Proyecto del Río NET México.

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ABANCAY, (2012), realizo el “plan de desarrollo urbano de la ciudad de Abancay 2012-2021”

Owen, D. (26 de julio de 2016). Contaminación de aguas. Obtenido de Medio Ambiente: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:7mqw_q7_S8IJ:www2.medioambiente.gov.ar/sian/chubut/trabajos/contagua.

Parra, O. (1989). La eutroficación de la laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: un caso de estudio (Vol. N° 1 Ambiente y Desarrollo).

Peña, G. (2013) “Índice de calidad de agua (ICA) y análisis cualitativo de fitoplancton del río

Prescott W., (1973) *Algae of the Western Great Lakes*. Edit, Area Brown S.A. U.S.A

Rojas, A. (2010). Recursos Hídricos e Hidrobiológicos del Sur Oriente Peruano. Fondo editorial UMNSM. Lima – Perú.

Roldán, G. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical* (Segunda Ed.). Universidad de Antioquia. Medellín - Colombia.

SENAMHI - El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – es un organismo público especializado fundado en 1969.

Silva, L. (2010). “Evaluación de los cuerpos lénticos del Parque Nacional del Manu”. Tesis, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.

Smith R, Smith T. *Ecología* 4a edición. Madrid, España. Addison Wesley. (2000).

- Tito, B. y Tueros, L. (2009) “diagnóstico ambiental de la microcuenca del río Mariño, Abancay-Apurímac” tesis para optar el grado el grado de biólogo, Facultad de Ciencias Biológicas-Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Torres, P., Cruz, C. y Patiño, P. (2009). Indices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Revista de Ingenierías Universidad de Medellín, 79-94.
- Torres, V. F. (2009). Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico (tesis magistral). Recinto universitario de Mayagüez : Ingeniería civil Universidad de Puerto Rico .
- Tucto R., (2014) “Limnología y nivel trófico de la laguna de Urcos – Cusco”. Tesis para optar el título de Biólogo. UNSAAC – Cusco.
- Valiela, I., Foreman, K., LaMontagne, M., Hersh, D., Costa, (1992). *Couplings of Watersheds and Coastal Waters: Sources and Consequences of Nutrient Enrichment in Waquoit Bay, Massachusetts. Estuaries*, 15: 4, 443-457.
- Wetzel, R. (1981). Limnología. Edic. Omega. Casanova-Barcelona.
- Wright, N. (1999). Ciencias Ambientales. *Ecología y Desarrollo Sostenible*. México: Prentice Hall.

Vollenweider R. (1981) *The OECD Cooperative Programme on eutrophication: summary report, - Canadian contribution. Inland waters directorate scientific series no. 131.*

Ministerio

IX. ANEXOS

Anexo A. Matriz de Consistencia

Título: “Comportamiento sísmico de edificaciones con sótanos, en la selva peruana-región Loreto-Perú”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGIA
<p>Problema General ¿Cómo la incorporación de una estructura de sótanos, afecta el comportamiento sísmico de las edificaciones de concreto armado, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto?</p>	<p>Objetivo General Estudiar el efecto de la incorporación de una estructura sótanos, en el comportamiento sísmico de las edificaciones de concreto armado, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto.</p>	<p>Hipótesis General La incorporación de una estructura de sótanos, mejoraría el comportamiento sísmico de las edificaciones de concreto armado, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto.</p>	<p>VI. La estructura de sótanos.</p> <p>VD. Comportamiento sísmico de las edificaciones de concreto armado, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto.</p>	<p>N° de sótanos Altura de sótanos</p> <p>Fuerza sísmica Periodos de vibración</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicativa</p> <p>Nivel de Investigación: Transversal</p> <p>Diseño de investigación: Experimental</p>
<p>Problemas específicos ¿La incorporación de una estructura de 1, 2 y 3 niveles de sótanos en las edificaciones, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto, incrementara la fuerza sísmica?</p> <p>¿La incorporación de una estructura de 1, 2 y 3 niveles de sótanos en las edificaciones, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto, disminuirá los periodos de vibración?</p> <p>¿La incorporación de una estructura de 1, 2 y 3 niveles de sótanos en las edificaciones, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto, disminuirá las fuerzas en los elementos estructurales?</p> <p>¿La incorporación de una estructura de 1, 2 y 3 niveles de sótanos en las edificaciones, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto, disminuirá los desplazamientos de la estructura?</p>	<p>Objetivos específicos Determinar la fuerza sísmica de las edificaciones, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto, con la incorporación una estructura de sótanos de 1, 2 y 3 niveles.</p> <p>Determinar los periodos de vibración de las edificaciones, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto, con la incorporación una estructura de sótanos de 1, 2 y 3 niveles.</p> <p>Determinar los esfuerzos en los elementos estructurales de las edificaciones, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto, con la incorporación de una estructura de sótanos de 1, 2 y 3 niveles.</p> <p>Determinar los desplazamientos de las edificaciones, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto, con la incorporación de una estructura de sótanos de 1, 2 y 3 niveles.</p>	<p>Hipótesis específicos La incorporación de una estructura de 1, 2 y 3 niveles de sótanos en las edificaciones, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto, incrementaría la fuerza sísmica.</p> <p>La incorporación de una estructura de 1, 2 y 3 niveles de sótanos en las edificaciones, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto, disminuiría los periodos de vibración.</p> <p>La incorporación de una estructura de 1, 2 y 3 niveles de sótanos en las edificaciones, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto, disminuiría las fuerzas en los elementos estructurales.</p> <p>La incorporación de una estructura de 1, 2 y 3 niveles de sótanos en las edificaciones, ubicadas en la Selva Peruana de la Región Loreto, disminuiría los desplazamientos de la estructura.</p>	<p>VI. La estructura de sótanos.</p> <p>VD. La fuerza sísmica.</p> <p>VI. La estructura de sótanos.</p> <p>VD. Los periodos de vibración.</p> <p>VI. La estructura de sótanos.</p> <p>VD. Las fuerzas en los elementos estructurales.</p> <p>VI. La estructura de sótanos.</p> <p>VD. Desplazamientos de la estructura.</p>	<p>N° de sótanos Altura de sótanos</p> <p>Fuerza sísmica</p> <p>N° de sótanos Altura de sótanos</p> <p>Periodos de vibración</p> <p>N° de sótanos Altura de sótanos</p> <p>Fuerza cortante Momentos flectores Fuerzas axiales</p> <p>N° de sótanos Altura de sótanos</p> <p>Desplazamientos de piso Desplazamientos de entre piso</p>	<p>Población: 29 edificios de concreto armado (Región Loreto)</p> <p>Muestra: 27 edificios.</p> <p>Nota: El trabajo implica el análisis de 48 modelos de edificios de pórticos.</p>

Anexo B. Carta de validación de instrumentos

Lima, 27 de noviembre 2020

Dr.: Ing. Ciro Rodríguez dríguez

Presente

Asunto: **VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTO.**

Es muy grato comunicarme con usted para expresarle mi saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo estudiante de la Escuela Universitaria de Postgrado en Ingeniería Civil de la UNFV, promoción 2018, requiero validar los instrumentos con los cuales recogeré la información necesaria para poder desarrollar mi investigación y con la cual optaré el grado de Doctor en Ingeniería Civil.

El título de mi proyecto de investigación es: “COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE EDIFICACIONES CON SÓTANOS, EN LA SELVA SUDAMERICANA”, y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, he considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas de investigación educativa.

El expediente de validación, que le hago llegar contiene:

Carta de presentación

Operacionalización de las variables

Matriz de consistencia

Formatos de estudio de tráfico

Expresándole mi sentimiento de respeto y consideración me despido de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente,

Amador Pinedo García
D.N.I. 05387231
Reg. CIP N° 6419

Anexo C. Ficha de validación de instrumentos

FICHA DE INGRESO DE DATOS AL PROGRAMA ETBAS V2016

Ing. Evaluador:

Tesis:

Configuración de grilla

Definición de elementos estructurales

Número de pisos

Vigas (Frame Section)

Numero de sótanos

Numero de ejes principales

Numero de ejes secundarios

Altura de 1er piso

Altura de pisos restantes

Columns (Frame Section)

Altura de 1er sótano

Altura de sótanos restantes

Propiedades del concreto preesforzado

Peso específico (γ)

Resistencia a la compresión
(f'_c)

Losas (Slab Section)

Módulo de elasticidad (E)

Módulo de corte (G)

Módulo de poisson (μ)

Espectro de respuesta

Factor de zona (Z)

Factor de uso (U)

Factor de implicación sísmica
(C)

Factor de suelo (S)

Coefficiente de reducción (R)

Factor de irregularidad en
planta

Factor de irregularidad en
altura

Datos dinámicos

Ct

Periodo fundamental

Factor de escalonamiento

Estados de carga

Carga permanente

Carga viva

Carga viva de techo

Carga de viento

Carga muerta impuesta

Obs:

Firma:

EL DIRECTOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.

Señor: **DIRECTOR DE LA ESCUELA DE POST GRADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL**

ASUNTO: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

De mi especial consideración: En el trabajo de investigación "ÍNDICE DE LA CALIDAD DE AGUA Y ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA HUAYPO- CUSCO" propuesto por el doctorando Rodrigo Chevarría Del Pino en la Escuela de Post Grado de vuestra Universidad, (Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible) se consideran temas relacionados con los diferentes análisis microbiológicos.

Nuestros laboratorios de investigación en el área de Microbiología contamos con los reactivos, medios de cultivo, instrumentos y aparatos necesarios para determinar los diferentes Parámetros microbiológicos requeridos.

En la ejecución de los parámetros microbiológicos:

Se cuantificarán los grupos indicadores de: aerobios mesófilos totales (AMT), coliformes totales (CT) y coliformes fecales o termoresistentes (CF) (expresados como u.f.c./100 mL), mediante técnica de filtración por membrana, según APHA (1992), y Guía Operativa GEMS/AGUA de la UNEP/UNESCO/WWO (1994).

Las presencias totales de aerobios, se analizarán siguiendo el método standard de recuento en placa por siembra en profundidad.

Para las coliformes se utilizará la técnica de MacConkey, que estima el número más probable (NMP) de coliformes presentes en 100 mL de agua a 37°C.

Las coliformes fecales se aislarán a partir de los resultados positivos del análisis para coliformes totales informándose como presentes o ausentes y confirmándose luego la presencia de *Escherichia coli*. Por cultivo en placas de medios selectivos se analizará la presencia de *Pseudomona aeruginosa* y *Salmonella sp.*

El medio de cultivo empleado para el análisis de los coliformes fecales (CF) será el EC, aplicable al estudio de todo tipo de aguas. La temperatura de incubación de los tubos sembrados será de 44,5 °C ± 0,2 °C.

Agradeciendo por anticipado su colaboración y aporte en la presente me despido de usted, no sin antes expresarle los sentimientos de consideración y estima personal. Atentamente;

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGIA



DIRECCIÓN
BIOLOGÍA
CUSCO, PERÚ

Bigo. Euliberto Velando Durán

Señor: DIRECTOR DE LA ESCUELA DE POST GRADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL

ASUNTO: INFORME SOBRE EL TRATAMIENTO ESTADISTICO PARA EL DESARROLLO DE LA TESIS DOCTORAL

“NDICE DE LA CALIDAD DE AGUA Y ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA HUAYPO- CUSCO”

Para analizar los datos cuantitativos que se mostrarán en el presente trabajo de investigación, se deben de utilizar los paquetes estadísticos SPSS versión 22, Minitab versión 18, y el programa R, con la finalidad de mostrar los resultados estadísticos así como también las diferentes gráficas, que serán necesarios para observar las tendencias y otras características, pues los datos son mayoritariamente cuantitativas y se podrá utilizar la prueba t de Student para comparar las medias de 2 características , o el ANOVA para comparar más de dos características, el análisis factorial para observar la asociación de características homogéneas, la distribución Chi-Cuadrado para observar la variabilidad de una característica, o si los datos son cualitativas para determinar si las variables clasificados en una tabla de contingencia son independientes, homogéneas, o proceden de una misma población, si se debe realizar estimaciones, el análisis de regresión y correlación serán muy útiles, según las perspectivas que el investigador lo requiera y finalmente se procederá a realizar el análisis de componentes principales del caso multivalente .

En este trabajo de investigación se utilizarán las técnicas estadísticas las cuales se centran esencialmente en el diseño, la estimación y la interpretación de los resultados.

Agradezco la oportunidad que me brindan, y así poder absolver algunas de las inquietudes que los investigadores requieran.

Atentamente.

Cusco, 15 de Febrero del 2020


Mgt. L. Alberto Vera Chávez
Docente Principal del Departamento
Académico de Matemáticas y Estadística

Mgt. L. Alberto Vera Chávez
DOCENTE PRINCIPAL
DEPARTAMENTO

Cusco, 12 de febrero del 2020

EL DIRECTOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.

Señor: DIRECTOR DE LA ESCUELA DE POST GRADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL

ASUNTO: VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTOS

De mi especial consideración: Con la finalidad de darle el debido rigor científico al trabajo de investigación "ÍNDICE DE LA CALIDAD DE AGUA Y ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA HUAYPO-CUSCO" propuesto por el doctorando Rodrigo Chevarría Del Pino en la Escuela de Post Grado de vuestra Universidad, (Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible).

Tengo a bien de comunicarle: Que nuestros laboratorios de investigación, cuentan con los instrumentos y aparatos necesarios para determinar los diferentes parámetros físicos y Químicos, inherentes a l trabajo de investigación, relacionados con la validez y confiabilidad de los mismos.

PARÁMETROS, UNIDADES Y MÉTODOS A EVALUAR PARA EL ICA Y EL ÍNDICE DE CARLSON

Categoría 4			
E1: Lagunas y lagos			
N°	Parámetro	Unidades	Método
01	Temperatura (T°)	°C	Medición directa
02	Turbidez (STD)	(NTU)	Nefelométrico
03	Potencial de hidrogeniones (pH)	Unidades	Potenciómetro
04	Oxígeno disuelto	mg de O ₂ /l	Método Winkler
05	Demanda bioquímica de oxígeno	(DBO ₅ en mg/l)	Método Winkler
06	Demanda química de Oxígeno	(DQO) en mg/l)	Método colorimétrico
07	Conductividad	Calor /m2/ tiempo	Conductividad
08	Nitratos	NO ₃ en mg/l	Kjendal
09	Fósforo total	PO ₄ en mg/l	Método Rodier
10	Clorofila α	mg de clorofila /m ³	Espectrofotometría

Para el análisis de los diferentes parámetros Físicos y químicos del Índice de Calidad de Agua se tomarán en cuenta el **MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS PARA AGUAS Y EFLUENTES** del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente Dirección Nacional de Medio Ambiente Laboratorio. En los diferentes análisis es esencial que los datos sean confiables y comparables para lo cual debe contarse con métodos analíticos probados, estandarizados y acordes al desarrollo tecnológico nacional.

02041 Conductividad. Método conductimétrico.

10301 pH. Método electrométrico.

02074 Turbidez. Método Nefelométrico.

08202 Demanda Bioquímica de Oxígeno. Técnica de dilución.

08303 Demanda Química de Oxígeno. Método colorimétrico, reflujo cerrado

Agradeciendo por anticipado su colaboración y aporte en la presente me despido de usted, no sin antes expresarle los sentimientos de consideración y estima personal. Atentamente;



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA
Miguel Humberto Azopía Huacón
M. Sc. Miguel Humberto Azopía Huacón
DIRECTOR

Anexo D. Normativa peruana sobre aguas

NORMATIVIDAD PERUANA

El Perú es un país altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, uno de los principales impactos se manifiesta en la escasez del agua. Esto sumado al problema de la calidad del agua que enfrenta nuestro país, hace que el Estado se plantee una serie de retos; al ser este recurso un bien de primera necesidad para los seres vivos y un elemento natural indispensable en la configuración de los ecosistemas. De no tomarse decisiones claves al respecto, seguiremos con serias amenazas en la salud pública, la seguridad alimentaria, la pérdida de ecosistemas y la sostenibilidad del desarrollo económico. En ese escenario, nuestro estudio “Calidad del agua en el Perú. Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales” describe la importancia de la gestión del agua y aguas residuales, resaltando la necesidad de mejorar la coordinación intersectorial entre las entidades competentes encargadas de su gestión, empezando por el ente rector en la gestión del recurso hídrico, la Autoridad Nacional del Agua; el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; y el Ministerio del Ambiente. Por otro lado, permite visibilizar el manejo y control de los vertimientos de aguas residuales industriales, con proyección al incentivo de su reutilización y reúso para garantizar la calidad de agua en nuestro país. En ese sentido, esta publicación cuenta con una serie de capítulos, que muestran la situación de las aguas residuales tratadas, con el fin de comprender su situación a nivel nacional. También pretende dar aportes para el diseño de estrategias más detalladas y sinérgicas entre entidades del Estado y proporcionar

insumos para la elaboración de políticas relacionadas a la gestión, uso y calidad del agua a nivel nacional.

El Capítulo I otorga el marco legal general sobre recursos hídricos, bajo el enfoque de aguas residuales, señala el desafío que merece integrar, dentro de la gestión de los recursos hídricos, la etapa de vertimiento y reúso de aguas residuales. Posteriormente, **el Capítulo II**, expone la situación de recurso hídrico en nuestro país, resaltando la problemática de la calidad del agua y las principales unidades hidrográficas que son impactadas. Además, señala las principales causas de contaminación en las fuentes de agua.

En el Capítulo III se resalta la institucionalidad de la gestión de los recursos hídricos en el Perú, en la que intervienen una multiplicidad de actores para la planificación de su aprovechamiento. En este capítulo, se presentan las funciones de los sectores que actúan en la gestión de los recursos hídricos, con enfoque en las competencias de la Autoridad Nacional del Agua.

Por su parte en el Capítulo IV se resalta el abastecimiento de los recursos hídricos en nuestro país y la distribución de los mismos por unidades hidrográficas, determinadas por las demandas del recurso, sean estas de carácter productivo (industrial, minero, energético, agrícola, etc.), poblacional o primario.

En el Capítulo V, ingresamos al contexto general sobre la situación de los vertimientos de aguas residuales en nuestro país. Se analizan las condiciones para el otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y reúso de aguas residuales. Sobre esta base, se analiza la situación de la calidad de agua por departamentos (conforme a la delimitación hecha por la ANA), en

función del volumen de vertimientos y de la magnitud de contaminación sobre las fuentes de agua naturales. Este análisis está enfocado en la actividad minera y energética.

En el Capítulo VI se destaca la importancia de la recuperación y el reúso de las aguas residuales; medidas que contribuyen al control de la contaminación del agua y abastecimiento seguro de la misma. Se verifican los aspectos administrativos y la tendencia en la política del reúso de aguas residuales por el sector industrial, desde el aspecto cuantitativo y cualitativo.

Finalmente, en el Capítulo VII, ponemos énfasis en las recomendaciones de fortalecimiento de gestión integrada en nuestro país, considerando el tratamiento, uso, vertimiento y reúso de aguas residuales. Puntualizando en la optimización en el uso y la gestión eficiente y responsable de las aguas residuales. Esperamos que el presente estudio sea un aporte significativo para organizar una agenda de Gobierno con puntos clave para fortalecer la gestión integrada del recurso hídrico, que tome en cuenta todo el proceso, desde el inicio de la gestión y uso hasta la disposición final de las aguas residuales, priorizando temas como el tratamiento, reciclaje y reúso. Asimismo, esperamos que su lectura sea de utilidad para una serie de actores, como instituciones públicas con competencia en la gestión del recurso hídrico, tomadores de decisiones y, en general, todo ciudadano.

MINAM aprobó Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Lima, 30 de diciembre de 2015.- Mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, publicado el 19 de diciembre de 2015, en el diario oficial El Peruano, el Ministerio del Ambiente (MINAM), en coordinación con todos los sectores gubernamentales, en un proceso iniciado el año 2012 y luego de la pre publicación del proyecto y de la consulta pública respectiva, aprobó los

Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA de Agua); así como las disposiciones para su aplicación. Ello fue resultado luego de un riguroso proceso técnico y científico que permitió analizar la situación de los estándares aprobados hace siete años (2008), a la luz de las normas técnicas emitidas por los órganos especializados en esa materia y con el claro objetivo de proteger la salud de las personas y el ambiente. Por ello, el MINAM considera importante compartir la

1. El Estándar de Calidad Ambiental es legalmente *“la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente”*. De manera específica y conforme se señala líneas adelante, el ECA de agua es una unidad de medida para determinar el uso que puede darse a un cuerpo de agua en función a la calidad que presenta, ya sea por sus valores naturales o por la carga contaminante a la que pueda estar expuesta. Un ECA no es un valor de medición para una emisión o efluente. Así, en el caso de una autorización de vertimiento, esta autoriza el vertimiento de manera tal que no se exceda el ECA, que está predeterminado en función del uso del agua.

Dicho de otra manera, los ECA para agua están orientados a proteger el ambiente y la salud y establecen objetivos de calidad que deben ser cumplidos por los diversos titulares de actividades económicas de diversos sectores, y contienen parámetros para determinar el uso que puede darse a un cuerpo de agua.

2. En el Perú, desde la Ley de Aguas (Decreto Ley N° 17752 de 1969) y luego con la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338 del año 2009); se señala que los ECA de Agua deben fijarse en función a las categorías determinadas en relación con el uso que se le va a dar al cuerpo natural de agua como se detalla a continuación:

Categoría	Descripción	Subcategoría	Descripción
Categoría 1-A	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	A1	Agua que puede ser potabilizada con desinfección
		A2	Agua que puede ser potabilizada con tratamiento convencional
		A3	Agua que puede ser potabilizada con tratamiento avanzado
Categoría 1-B	Aguas superficiales destinadas a recreación	B1	Contacto primario
		B2	Contacto secundario
Categoría 2: Actividades de extracción y cultivo marino costeras y continentales	Agua de mar	C1	Extracción y cultivo de moluscos bivalvos
		C2	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas
		C3	Otras actividades
	Agua continental	C4	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	Parámetros para riego de vegetales	D1	Riego de cultivos de tallo alto y bajo
	Parámetros para bebida de animales	D2	Bebida de animales
Categoría 4	Conservación del Ambiente Acuático	E1	Lagunas y lagos
		E2: Ríos	Ríos de costa y sierra
			Ríos de selva
		E3: Ecosistemas marino costeras	Estuarios
Marinos			

3. Es decir, en cada categoría de ECA de Agua se debe establecer un valor en relación al uso que se le pretende dar al cuerpo natural correspondiente. Por ejemplo, si se quiere destinar un cuerpo de agua a la producción de agua para consumo humano deben considerarse los valores establecidos en la Categoría 1. En cambio, si se quiere destinar un cuerpo de agua para riego deben considerarse los valores establecidos en la Categoría 3.

4. Es importante señalar esto porque puede generarse confusión usando categorías de consumo humano directo cuando el uso pre-determinado y categorizado por la autoridad competente es de riego de vegetales, como se señalará más adelante.

5. Asimismo, es importante destacar que los ECA de Agua del Perú se han establecido considerando referentes internacionales. Por ello, la regulación peruana ha empleado, para las aguas destinadas a la producción de agua potable (Categoría 1), preferentemente las actualizaciones de la Organización Mundial para la Salud (OMS); en el caso de aguas para riego de vegetales y bebidas de animales (Categoría 3) se han adoptado las correspondientes a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); así como a la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (EPA). Es necesario precisar además que, estas guías internacionales se actualizan continuamente en función a estudios periódicos de toxicidad. El D.S. N° 015-2015-MINAM que actualiza los ECAs para Agua ha considerado las guías más recientes.