

Calidad de agua del humedal laguna del Tragadero de la provincia de Jauja - Junín

Water quality of the laguna del Tragadero wetland in the province of Jauja - Junin

Recibido: mayo 06 de 2024 | Revisado: mayo 30 de 2024 | Aceptado: junio 12 de 2024

EMILIA MISARI-CHUQUIPOMA¹

RAÚL D. CÓNDOR BEDOYA¹

JULIÁN CCASANI ALLENDE²

RAFAEL CLETO CHUQUICONDOR VILLAFUERTE²

RESUMEN

La investigación precisa como objetivo determinar la calidad de agua del Humedal laguna de Tragadero contaminado por la evacuación de aguas residuales domésticas aplicando la metodología ICA- NSF establecida por la National Sanitation Foundation of Estados Unidos (NSF). Para ello se determinaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno, los sólidos totales disueltos, la turbidez, el pH, la temperatura, los nitratos, los fosfatos y los coliformes fecales. Las muestras se recolectaron en época de estiaje y avenida para luego procesar los datos y determinar la calidad de agua del cuerpo de agua en estudio. Se concluyó, que la condición del agua se encuentra en el rango de 43,35 a 48,61 con un valor promedio de 45,98 lo que indica que no es apropiada para la vida acuática, según la categorización del ICA- NSF propuesta por Brown corresponde a calidad mala. El cuerpo de agua está siendo afectado por el vertimiento de aguas remanentes procedentes de la Planta de Tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito de Acolla, asimismo la utilización de abonos agrícolas en áreas de cultivo cercanos al humedal y la actividad de pastoreo de ganados lo que está afectando a la conservación del medio ambiente acuático.

Palabras clave: Índice de calidad de agua, parámetros físico-químicos y microbiológicos, clasificación ICA-NSF

ABSTRACT

The objective of the research is to determine the water quality of the laguna de Tragadero Wetland contaminated by domestic sewage disposal using the ICA-NSF methodology established by the National Sanitation Foundation of the United States (NSF). For this purpose, physico-chemical and microbiological parameters such as dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, total dissolved solids, turbidity, pH, temperature, nitrates, phosphates and faecal coliforms were

1 Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Perú

2 Universidad Nacional Federico Villarreal. Perú

Autor de correspondencia:
emisaric@undac.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://>

determined. The samples were collected during the summer and flood period to then process the data and determine the water quality of the water body under study. It was concluded that the water condition is in the range of 43.35 to 48.61 with an average value of 45.98 which indicates that it is not appropriate for aquatic life, according to the categorization of the ICA-NSF proposed by Brown corresponds to poor quality. The body of water is being affected by the discharge of remaining water from the Domestic Wastewater Treatment Plant of the district of Acolla, as well as the use of agricultural fertilizers in farming areas near the wetland and the activity of livestock grazing is affecting the conservation of the aquatic environment.

Keywords: Water quality index, physico-chemical and microbiological parameters, ICA-NSF classification

Introducción

Es preocupante que el humedal laguna de Tragadero ubicado en la región Junín (Jauja – Marco) experimenta problemas de contaminación y mal uso desde los años 90, con impactos negativos en la agricultura, la ganadería y el vertimiento de aguas residuales domésticas han llevado a la contaminación y a la eutrofización de las aguas en el humedal. El exceso de nutrientes como los nitratos y fosfatos, provenientes de actividades humanas puede causar un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas en el agua, lo que agota el oxígeno disponible y afecta negativamente a la vida acuática. Esta eutrofización puede tener graves consecuencias para el equilibrio del ecosistema y la salud del humedal. Además, la destrucción continúa de los hábitats en el humedal ha llevado a la extinción de especies nativas y a la pérdida de biodiversidad. Estos humedales son vitales para mantener la cadena trófica, albergar aves residentes y migratorias, regular los regímenes hidrológicos y actuar como depuradores naturales, controlando los contaminantes.

En ese sentido, fue importante hacer un estudio sobre la calidad de agua del humedal laguna de Tragadero, haciendo

uso del índice de calidad (ICA-NSF), puesto que, es una herramienta útil y práctica que permitió sintetizar una variedad de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante un modelo matemático que proporcionó información importante para comprender el estado actual del humedal y guiar las acciones necesarias para proteger y conservar este valioso ecosistema. Al respecto, López (2019) determinó el índice de calidad del agua propuesto por la National Science Foundation en la laguna de Colta con el propósito de generar información importante que aporte al conocimiento de este recurso hídrico y al monitoreo de los impactos ambientales presentados actualmente.

Este índice de calidad se determinó utilizando los parámetros: pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, variación de temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto y coliformes fecales, obteniéndose un valor de 70,7 que es clasificada como agua de calidad regular; esto precisa el estado aceptable para actividades recreativas, pero con cierto impacto en la biodiversidad del cuerpo hídrico.

Además, se ejecutó el contraste de dichos indicadores con los límites

permisibles expresados por la legislación ecuatoriana (TULSMA) para el empleo recreativo del agua y preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, la cual encaja dentro de los rangos establecidos. Por su parte, Minaya en 2017 con el objetivo de determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua de la laguna Moronacocha y compararlos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para Agua, específicamente en la categoría IV, que se refiere a la conservación del ambiente acuático, regulados por el estado peruano.

Según las conclusiones del estudio, la laguna Moronacocha, en general, es homogénea y se encuentra en buenas condiciones de agua de acuerdo con los ECAs establecidos, excepto en los puntos cercanos a las descargas de aguas residuales. Esto indica que la calidad del agua en la laguna es aceptable, pero se identifica un posible riesgo asociado a los sólidos totales suspendidos, ya que altas concentraciones de este parámetro podrían causar colmatación en la laguna. Es importante destacar que esta información se basa en los resultados de un estudio específico y se refiere a las condiciones de la laguna Moronacocha en un período de tiempo determinado.

La calidad del agua puede sufrir alteraciones en el transcurso del tiempo y es necesario realizar monitoreos continuos para evaluar su estado actual. Además, es relevante que las autoridades locales y los responsables de la gestión ambiental tomen en cuenta estos hallazgos para implementar medidas adecuadas de protección y conservación de la laguna. Asimismo, Huamán, et al. (2021) evaluaron la calidad del agua de la laguna

Marvilla, a través de la comparación con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y la correspondiente determinación del índice de calidad de agua del Perú (ICA-PE) propuestos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Analizó la data anual de 2019-2020 y obtuvieron promedios en los parámetros de pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales de 8,8, 4644,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 3413,9 ppm, respectivamente. Además, realizó un muestreo de nueve parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, de los cuales cinco no cumplen con lo establecido en la categoría 4 del ECA para agua (nitratos, fósforo total, amoníaco total, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes termotolerantes).

Asimismo, con los datos del muestreo obtuvo un valor de 46,3 en el ICA-PE. Luego concluyó que la calidad de agua de la laguna Marvilla es regular, es decir, se encuentra ocasionalmente amenazada o dañada. Del mismo modo, Alarcón et al. (2017) con la finalidad de determinar la calidad del agua a través de la aplicación del Índice de Calidad del Agua establecido por la National Sanitation Foundation de Estados Unidos, determinaron los parámetros fisicoquímicos, como OD, DBO₅, SDT, turbidez, pH, temperatura, nitratos, y fosfatos totales, así como los coliformes fecales. Las muestras provienen de las cuatro estaciones de muestreo determinadas con el GPS en la laguna, para luego procesar los datos para calcular el Índice de Calidad del Agua de la laguna estudiada, dando el valor de 62, que correspondió a calidad media, por lo que se llegó a la conclusión de que el agua de la laguna estaba afectado, durante el período de estiaje por el aporte de aguas contaminadas, y

el uso de fertilizantes en áreas cercanas, también las actividades de pastoreo de ganado e instalación de letrinas, lo que afectan considerablemente a la conservación del ambiente acuático y su aprovechamiento.

A partir de la observación del deterioro del ecosistema acuático, resulta imprescindible considerar los niveles de contaminación del factor hídrico porque es fundamental para la vida de la flora y fauna silvestre, que forman parte de las cadenas tróficas de la vida silvestre, asimismo reconocidas por albergar una importante y significativa diversidad biológica en el humedal laguna de Tragadero, que en la actualidad viene contaminándose por el vertimiento de las aguas residuales domiciliarias generadas de las poblaciones aledañas, es por ello que me propuse en estudiar a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, que afectan la calidad de las aguas del Humedal.

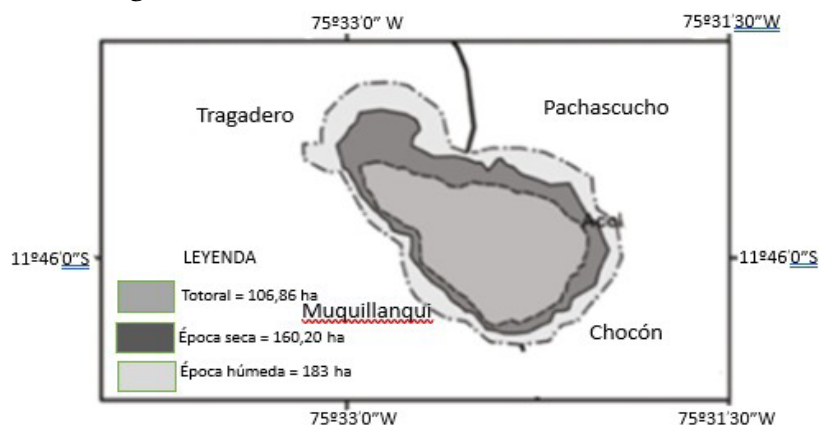
El objetivo de la investigación fue determinar la calidad de agua del humedal laguna de Tragadero contaminado por el vertimiento de aguas residuales domesticas aplicando la metodología ICA- NSF, en la provincia de Jauja-2022.

Método

El estudio se llevó a cabo en el humedal laguna de Tragadero (Figura 1) que abarca una extensión de 160,20 hectáreas en época de estiaje y 183 hectáreas en época de avenida y teniendo en cuenta sus coordenadas geográficas (Tabla 1). Se han seleccionado cuatro puntos de muestreo (Figura 2) teniendo en cuenta ciertas características específicas del humedal.

La población para la presente investigación fue 1 903 500 m³ de agua del humedal laguna de Tragadero. Esto representa la cantidad total de agua que se consideró en el estudio. El tamaño de la muestra fue de 50 litros de agua, en cuanto, al tipo de muestreo, se utilizó un enfoque de muestreo no probabilístico o intencional. Los instrumentos que se utilizaron para la recopilación de datos fueron las Fichas de recolección de datos, que contenían información sobre los parámetros a medir, los procedimientos de muestreo y otros detalles relevantes para la investigación. Además, se utilizó la Cadena de Custodia, que es un procedimiento para rastrear y documentar el manejo, transporte y almacenamiento de muestras para garantizar su integridad y trazabilidad.

Figura 1
Humedal laguna de Tragadero



Nota. Área de estudio en época de estiaje y avenida

Evaluación de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos

Selección de los puntos de muestreo

La toma de muestras se realizó en puntos que ofrecían facilidad de acceso, seguridad, representatividad y un flujo permanente de agua. Las muestras se recolectaron en dos épocas diferentes: en época de estiaje en el mes de setiembre de 2022 y en época de avenida en el mes de febrero de 2023, siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales de la ANA (Autoridad Nacional de Agua)

del año 2017, para los análisis de los siguientes parámetros físicoquímicos y microbiológico: OD, CF, pH, DBO₅, NO₃⁻, PO₄³⁻, T °, TUR y SDT. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores establecidos en la categoría 4: Conservación del medio acuático, subcategoría E1: Lagunas y lagos del D.S. 004-2017-MINAM, Estándar de Calidad Ambiental para el Agua. (Ministerio del Ambiente, 2017), es una estrategia importante en el logro de información valiosa sobre la inestabilidad de la calidad del agua a lo largo del tiempo y en diferentes condiciones hidrológicas. (Figura 2).

Figura 2

Puntos de muestreo



Nota. Puntos de muestreo

Tabla 1

Ubicación geográfica de los puntos de muestreo

Estaciones de muestreo	Identificación	Ubicación		
		Sur	Oeste	Altitud
P-1	Pachascucho	11° 45.669'	075° 32.558'	3495.7 m
P-2	Tragadero	11° 45.613'	075° 33.025'	3489.8 m
P-3	Muquillanqui	11° 46.204'	075° 32.521'	3474.1 m
P-4	Chocón	11° 46.056'	075° 31.935'	3487.9 m

Figura 3
Procedimiento

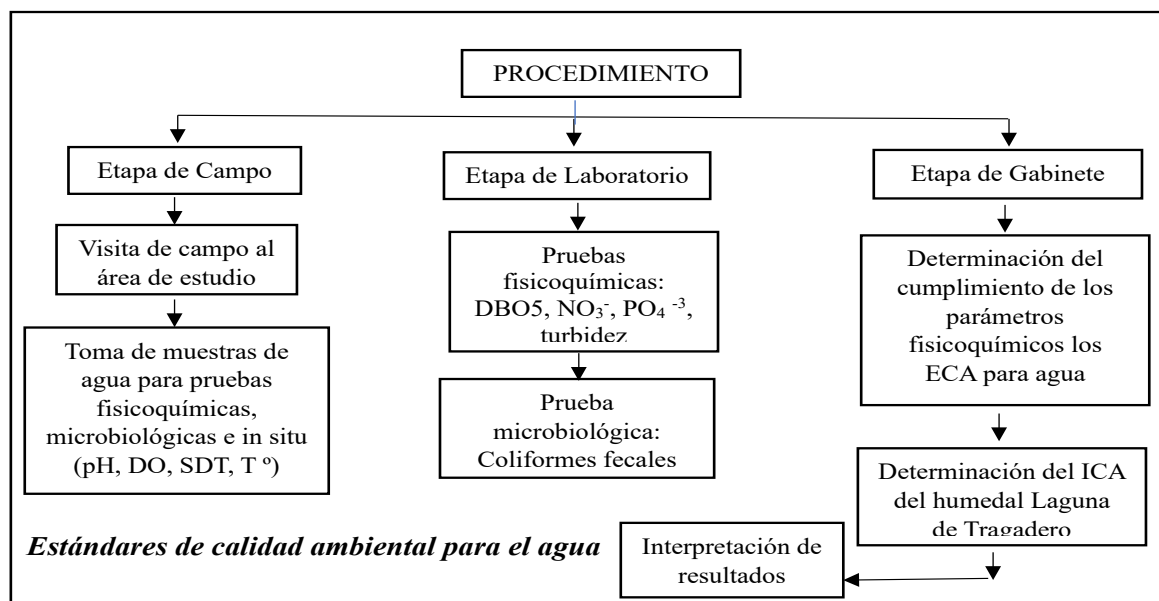


Tabla 2
Categoría 4: Conservación del medio acuático

Parámetros	Unidad	E1: Lagunas y lagos
DBO5	mg O2/L	5
Fosfatos	mg/L	0.035
Nitratos	mg/L	13
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5
pH	-	6.5 - 9.0
SDT	mg/L	500
Temperatura	°C	Δ 3
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000
Turbidez	NTU	-

Medición y determinación de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos

Se realizaron mediciones in situ utilizando un multiparámetro marca HANNA, para medir el valor del pH, temperatura, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto. Estos parámetros proporcionaron información importante sobre la calidad de agua en el humedal

laguna de Tragadero. Además, las muestras fueron enviadas al laboratorio WORD CLEAN, acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL-DA, para realizar análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^{3-}), turbidez (TUR) y coliformes fecales (CF). Estos análisis son fundamentales para evaluar la calidad del agua y comparar los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental

(ECA) establecidos para la categoría 4: Conservación del ambiente acuático, subcategoría E1: lagunas y lagos.

Determinación del índice de calidad de agua según la metodología NSF (ICA-NSF)

Para determinar la calidad del agua se tuvieron en cuenta nueve parámetros y sus correspondientes factores de ponderación (Tabla 3), teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$ICA-NSF = \sum_{i=1}^{i=n} (Sub_i * W_i)$$

Tabla 3

Factores de ponderación para el cálculo del ICA-NSF

Parámetro	Peso relativo (Wi)
OD	0.17
Coliformes fecales	0.15
pH	0.12
DBO ₅	0.10
Nitratos	0.10
Fosfatos	0.10
Temperatura	0.10
Turbidez	0.08
SDT	0.08

Clasificación del índice de calidad de agua

Tabla 4

Clasificación del ICA-NSF propuesto por Brown

Calidad de agua	Color	Valor
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Resultados

Resultados de las muestras de los parámetros fisicoquímicos y microbiológico

Tabla 5

Análisis de las muestras en época de estiaje

Recolección de muestra	Muestras	pH	DBO ₅ mg O ₂ /L	SDT mg/L	TUR NTU	CF NMP/100mL	NO ₃ ⁻ mg/L	PO ₄ ⁻³ mg/L	OD mg/L	%	Temperatura °C Amb.	Agua	Variación T °C
Primer Muestreo	P-1	8.56	39.50	136.00	13.00	480.00	2.80	0.20	1.09	19.20	19.00	18.38	0.62
	P-2	8.85	20.90	173.00	19.00	201.00	3.00	0.73	1.13	20.60	20.00	19.57	0.43
	P-3	7.84	55.00	160.00	12.00	175.00	0.60	0.80	0.46	9.80	24.00	23.15	0.85
	P-4	8.54	68.50	140.00	11.50	260.00	0.70	0.40	1.08	20.80	25.00	24.72	28.00
Promedio		8.70	45.98	144.75	13.88	279.00	1.80	0.53	0.94	17.60	22.00	21.45	0.55

Nota. Se presentan los análisis del primer muestreo, tomados en época de estiaje (setiembre 2022). Los resultados de este muestreo son fundamentales para comprender el estado actual de la calidad del agua.

Tabla 6

Análisis de las muestras en época de avenida

Recolección de muestra	Muestras	pH	DBO ₅	SDT	TUR	CF	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻³	OD		Temperatura °C		Variación
			mg O ₂ /L	mg/L	NTU	NMP/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	%	Amb.	Agua	T °C
Segundo muestreo	P-1	8.55	13.10	193.00	18.00	210.00	36.00	0.60	1.07	16.30	22.00	15.00	7.00
	P-2	7.76	15.80	317.00	28.40	163.00	35.0	1.30	0.70	11.00	18.00	17.62	0.38
	P-3	7.89	12.20	376.00	20.50	120.60	39.00	1.10	0.78	12.60	21.00	18.12	2.88
	P-4	9.88	18.40	157.00	18.00	180.70	33.10	1.40	0.85	14.50	19.00	20.99	-1.99
Promedio		8.52	14.88	260.75	21.23	168.58	35.78	1.10	0.85	9.36	20.00	17.93	8.27

Nota. Se presenta los análisis del segundo muestreo, tomados en época de avenida (febrero 2023). Los resultados de este muestreo son fundamentales para comprender el estado actual de la calidad del agua.

Figura 4

Niveles de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos



Nota. Variación de los coliformes fecales



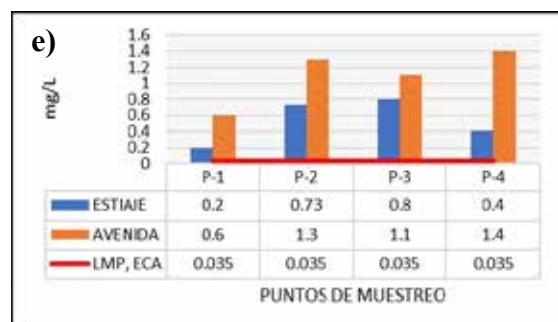
Nota. Variación del pH



Nota. Variación de la DBO



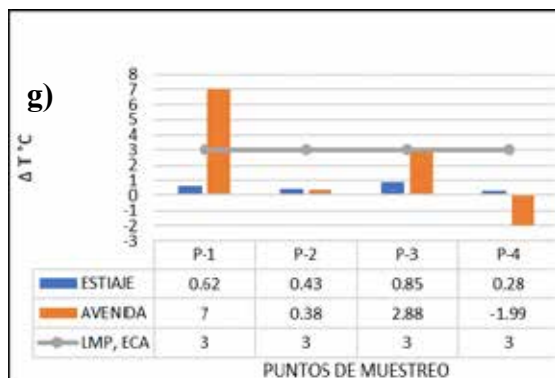
Nota. Variación de nitratos



Nota. Variación de los fosfatos



Nota. Variación de la temperatura



Nota. Variación del cambio de temperatura



Nota. Variación de los SDT



Nota. Variación de la turbidez



Nota. Variación del oxígeno disuelto

Determinación de la Calidad de Agua (ICA-NSF) en época de estiaje

Tabla 7

ICA-NFS del punto de muestreo P-1

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub _i	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	480.0	28.0	0.2	4.2
pH	-	8.6	66.0	0.1	7.9
DBO ₅	mg/L	39.5	2.0	0.1	0.2
Nitratos	mg/L	2.8	85.0	0.1	8.5
Fosfatos	mg/L	0.2	93.0	0.1	9.3
Temperatura	°C	18.4	86.0	0.1	8.6
Turbidez	NTU	13.0	72.0	0.1	5.8
SDT	mg/L	136.0	79.0	0.1	6.3
OD	%	19.2	10.0	0.2	1.7
	mg /L	1.1			
Σ (Subi * Wi)					52.5

Nota. En el P-1 se obtuvo un valor de 52,50 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 51 - 70 que corresponde a calidad **regular**.

Tabla 8

ICA-NFS del punto de muestreo P-2

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub _i	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	201.0	38.0	0.15	5.7
pH		8.85	55.0	0.12	6.6
DBO ₅	mg/L	20.9	11.0	0.1	1.1
Nitratos	mg/L	3.0	83.5	0.1	8.35
Fosfatos	mg/L	0.73	58.0	0.1	5.8
Temperatura	°C	19.57	90.0	0.1	9.0
Turbidez	NTU	19	60.0	0.08	4.8
SDT	mg/L	173	76.0	0.08	6.08
OD	%	20.6	14.0	0.17	2.38
	mg/L	1.13			
Σ (Subi * Wi)					49.81

Nota. En el P-2 se obtuvo un valor de 49.81 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 26 - 50 que corresponde a calidad **mala**.

Tabla 9

ICA-NFS del punto de muestreo P-3

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub _i	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	175.00	40.00	0.15	6.00
pH	-	7.84	88.00	0.12	10.56
DBO ₅	mg/L	55.00	2.00	0.10	0.20
Nitratos	mg/L	0.60	90.00	0.10	9.00
Fosfatos	mg/L	0.80	50.00	0.10	5.00
Temperatura	°C	23.15	84.00	0.10	8.40
Turbidez	NTU	12.00	70.00	0.08	5.60
SDT	mg/L	130.00	81.00	0.08	6.48
OD	%	9.80	15.00	0.17	2.55
	mg/L	0.46			
Σ (Subi * Wi)					53.79

Nota. En el P-3 se obtuvo un valor de 53,79 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 51 - 70 que corresponde a calidad **regular**.

Tabla 10*ICA-NFS del punto de muestreo P-4*

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub _i	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	260.00	34.00	0.15	5.10
pH		8.54	64.00	0.12	7.68
DBO ₅	mg/L	68.50	2.00	0.10	0.20
Nitratos	mg/L	0.70	94.00	0.10	9.40
Fosfatos	mg/L	0.40	71.00	0.10	7.10
Temperatura	°C	24.72	90.00	0.10	9.00
Turbidez	NTU	11.50	73.00	0.08	5.84
SDT	mg/L	140.00	77.00	0.08	6.16
OD	%	20.80	14.00	0.17	2.38
	mg /L	1.06			
Σ (Subi * Wi)					52.86

Nota. En el P-4 se obtuvo un valor de 52,86 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 51 - 70 que corresponde a calidad **regular**.

Determinación de la calidad de Agua (ICA-NSF) en época de avenida

Tabla 11*ICA-NFS del punto de muestreo P-1*

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub _i	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	210.00	37.00	0.15	5.55
pH	-	8.55	63.00	0.12	7.56
DBO ₅	mg/L	13.10	26.00	0.10	2.60
Nitratos	mg/L	36.00	20.00	0.10	2.00
Fosfatos	mg/L	0.60	67.00	0.10	6.70
Temperatura	°C	15.00	32.00	0.10	3.20
Turbidez	NTU	18,0	64.00	0.08	5.12
SDT	mg/L	193.00	72.00	0.08	5.76
OD	%	16.30	8.50	0.17	1.45
	mg /L	1.07			
Σ (Subi * Wi)					39.94

Nota. En el P-1 se obtuvo un valor de 39.94 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 26 - 50 que corresponde a calidad **mala**.

Tabla 12

ICA-NFS del punto de muestreo P-2

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub _i	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	163.00	40.00	0.15	6.00
pH	-	7.76	90.00	0.12	10.80
DBO ₅	mg/L	15.80	19.50	0.10	1.95
Nitratos	mg/L	35.00	22.00	0.10	2.20
Fosfatos	mg/L	1.30	35.00	0.10	3.50
Temperatura	°C	17.62	89.00	0.10	8.90
Turbidez	NTU	28.40	52.00	0.08	4.16
SDT	mg/L	317.00	59.00	0.08	4.72
OD	%	0.75	7.00	0.17	1.19
	mg /L	0.69			
Σ (Subi * Wi)					43.42

Nota. En el P-2 se obtuvo un valor de 43,42 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 26 - 50 que corresponde a calidad **mala**.

Tabla 13

ICA-NFS del punto de muestreo P-3

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub _i	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	120.60	44.00	0.15	6.60
pH		7.89	88.00	0.12	10.56
DBO ₅	mg/L	12.20	29.50	0.10	2.95
Nitratos	mg/L	39.00	18.00	0.10	1.80
Fosfatos	mg/L	1.10	28.00	0.10	2.80
Temperatura	°C	18.12	68.00	0.10	6.80
Turbidez	NTU	20.50	61.00	0.08	4.88
SDT	mg/L	376.00	50.00	0.08	4.00
OD	%	12.60	7.50	0.17	1.28
	mg /L	0.78			
Σ (Subi * Wi)					41.67

Nota. En el P-3 se obtuvo un valor de 41,67 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 26 a 50 que corresponde a calidad **mala**.

Tabla 14*ICA-NSF del punto de muestreo P-4*

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub _i	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	180.70	39.00	0.15	5.85
pH	-	9.88	23.00	0.12	2.76
DBO ₅	mg/L	18.40	15.00	0.10	1.50
Nitratos	mg/L	33.10	33.00	0.10	2.50
Fosfatos	mg/L	1.40	25.00	0.10	3.30
Temperatura	°C	20.99	80.00	0.10	8.00
Turbidez	NTU	18.00	64.00	0.08	5.12
SDT	mg/L	157.00	78.00	0.08	6.24
OD	%	14.50	9.50	0.17	1.62
	mg O ₂ /L	0.85			
Σ (Subi * Wi)					36.89

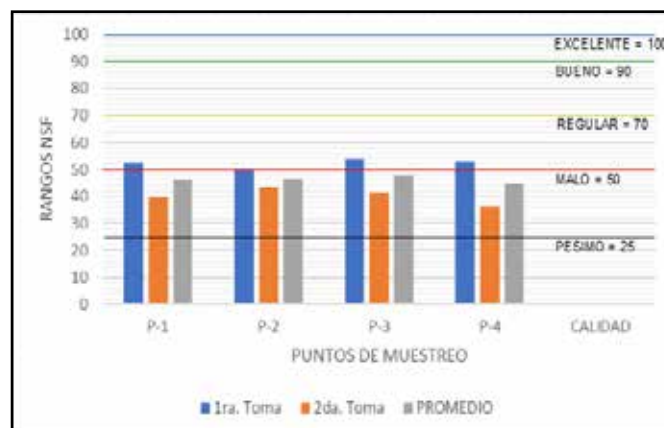
Nota. En el P-4 se obtuvo un valor de 36,89 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 26 - 50 que corresponde a calidad **mala**.

Tabla 15*ICA-NSF del Humedal Laguna de Tragadero*

Puntos de muestreo	ICA-NSF Estiaje	Calidad de agua	ICA-NSF Estiaje	Calidad de agua	Promedio	Calidad de agua
P-1	52.5	Regular	39.94	Mala	46.22	Mala
P-2	49.81	Mala	43.43	Mala	46.62	Mala
P-3	53.79	Regular	41.67	Mala	47.73	Mala
P-4	52.86	Regular	36.89	Mala	44.88	Mala
Promedio	52.24	Regular	40.86	Mala	46.36	Mala
Mínimo	48.81		36.89		43.35	
Máximo	53.79		43.43		48.61	

Figura 5

Categorización ICA-NSF para el Humedal Laguna de Tragadero



Nota. Los resultados obtenidos a partir de los estudios nos han dado un ICA-NSF total para el humedal laguna de Tragadero que está en el rango de 43,35 a 48,61 (Tabla 15) con un valor promedio de **45,98** lo que indica que tiene una calidad mala.

Discusión

Los resultados evidencian que el humedal laguna de Tragadero está siendo alterado, puesto que en varios puntos de muestreo los resultados de los parámetros analizados están por encima de los límites máximos permisibles.

La Figura 4a muestra una representación de los niveles de concentración de los coliformes fecales en una zona determinada, en la cual el punto P-1 presenta una concentración (480 NMP/100 mL). Se atribuye esta alta concentración a varios factores: Cercana al humedal hay una Planta de Tratamiento de aguas residuales domésticas que vierte su efluente en el río Yanamarca. Es probable que esta planta no esté funcionando adecuadamente o que sus procesos de tratamiento no sean suficientes para eliminar completamente los coliformes fecales presentes en las aguas residuales.

El río Yanamarca recibe el efluente de la Planta de Tratamiento de aguas

residuales que desemboca en el humedal laguna de Tragadero. Como resultado, los coliformes fecales contenidos en el efluente ingresan al humedal y aumentan su concentración en el agua. Durante la época de estiaje, cuando la cantidad de agua disminuye, los vacunos (animales de sangre caliente) ingresan a la laguna para alimentarse del totoral presente en ella. Su presencia en el humedal también contribuye al incremento de los coliformes fecales debido a las heces que evacuan. Es importante destacar que la alta concentración de coliformes fecales en el agua representa un riesgo para la salud humana y la vida acuática.

La contaminación fecal del agua, es vector de transmisión y propagación de enfermedades, lo que hace necesario tomar medidas para abordar las fuentes de contaminación y mejorar la calidad del agua en el humedal y el río. Esta problemática es similar al estudio de Rodríguez et al. (2017) en el humedal de Ventanilla. Es claro que la interacción del humedal con la población humana genera una contaminación del agua

caracterizada por abundantes fuentes de nutrientes que permiten el desarrollo de comunidades bacterianas que a su vez posibilitan la supervivencia de coliformes termotolerantes; además, también mencionaron que una mayor contaminación por coliformes termotolerantes puede generar cambios en la composición, estructura y dinámica de los ecosistemas.

La Figura 4b muestra los valores de pH medidos en diferentes puntos de estudio dentro del humedal, y se observa que la mayoría de los valores se encuentran en el rango ligeramente alcalino, con un pH que varía de 7,76 a 9,88. La mayor variación significativa en el pH se registró en el punto P-4 durante la época de avenida, donde el valor fue de 9,88, lo que indica un pH básico, esta variación se debe al aumento de la descomposición como consecuencia de descargas de materia orgánica. Cuando la materia orgánica se descompone, pueden producirse reacciones químicas que afecten el pH del agua. La mayoría de los organismos acuáticos superviven en el rango de pH entre 6,5 y 8,4.

Los valores extremos, ya sean demasiado altos o bajos, pueden tener impactos negativos en la biodiversidad acuática y afectar la capacidad de supervivencia de ciertas especies. Las algas son organismos fotosintéticos fundamentales en los ecosistemas acuáticos y su capacidad de generar el proceso de fotosíntesis y producir oxígeno, esencial para mantener el equilibrio del ecosistema. Si las algas no pueden sobrevivir debido a un pH elevado, esto puede afectar negativamente a toda la cadena alimentaria y la salud en general del ecosistema acuático. Las algas no sobreviven en valores mayores de 8,5. Un pH de 7,4 es el adecuado para

el desarrollo de las plantas y animales acuáticos.

Al respecto, la investigación realizada por Rubio-Arias et al. (2016) es similar ya que señala que la fotosíntesis realizada por organismos acuáticos aumenta el consumo de CO_2 , lo que conduce a un aumento del pH. Ese estudio lo realizaron en el lago Colina en Chihuahua, México, y el aumento observado en el pH se atribuye a la fotosíntesis realizada por algas que se desarrollaron debido a la descarga excesiva de aguas residuales.

La Figura 4c muestra los resultados obtenidos de la DBO_5 en época de estiaje y avenida, registrándose niveles altos de concentración, que sobrepasan los LMP de 5 mg/L en la Categoría 4 del ECA para el agua. Esto indica que la concentración de materia orgánica en el agua es significativamente alta, lo que provoca disminución de oxígeno disponible para el ecosistema acuático. Raffo y Ruiz (2014) lo confirman en su estudio realizado, donde mencionan que las altas concentraciones de materia orgánica promueven el crecimiento de hongos y bacterias. Las sustancias orgánicas requieren oxígeno en el proceso de oxidación, al ser consumidas estas, alteran el correcto crecimiento de la flora y fauna acuática que lo necesitan. Además, han identificado otros impactos a los ecosistemas acuáticos, con alteración de la calidad del agua y un posible aumento en el pH, que causa una reducción de la vida vegetal y animal.

En la Figura 4d, se evidencia que en época de estiaje se registraron valores menores de concentración de nitratos en los cuatro puntos de muestreo, en cambio en época de avenida se registraron

mayores valores de concentración de nitratos en los cuatro puntos de muestreo que sobrepasaron los LMP de 13 mg/L en la categoría 4 del ECA para el agua. Los nitratos en los ecosistemas acuáticos pueden aumentar el crecimiento de algas y reducir los niveles de oxígeno. Estos nitratos llegaron al cuerpo de agua por escurrimiento debido que en las zonas aledañas se dedican a la agricultura donde utilizan desmesuradamente fertilizantes, lo que origina la contaminación de las aguas y la eutrofización, debido a la carga excesiva de nutrientes.

Esta problemática encontrada en la zona, es similar a los resultados obtenidos por Bolaños et al. (2017), quienes también identificaron contaminación de nitratos en cuerpos de agua procedentes de fuentes como residuos humanos, animales y escurrimiento de fertilizantes agrícolas.

En cuanto a los fosfatos, se puede observar en la Figura 4e que en época de estiaje los niveles de concentración fueron menores en los cuatro puntos de muestreo comparado con los niveles de concentración en época de avenida. Los niveles de concentración de fosfatos en época de estiaje y avenida fueron mayores en los cuatro puntos de muestreo que sobrepasó los LMP (0,035 mg/L), este aumento en la cantidad de fosfatos en el agua puede estimular la eutrofización. Los fosfatos son generados por los humanos y los animales como despojos, también provienen de los detergentes que utilizan las personas que lavan sus prendas y escurrimiento de los fertilizantes de uso agrícola.

El fosfato tiene un efecto negativo indirecto sobre la eutrofización de los

cuerpos de agua superficiales, incluido el crecimiento explosivo de algas y el consiguiente agotamiento del oxígeno disuelto. Wang, et al. (2016, citado por Jiménez, 2019) lo confirma en su estudio que, el uso indiscriminado e irracional del fosfato como fertilizante en los sistemas agrícolas no está exento de problemas ambientales. Así, el fósforo puede ser movilizado hacia otros ecosistemas a través de la erosión, escurrimiento superficial y lixiviación. En los ecosistemas receptores (especialmente los acuáticos) puede provocar contaminación de los acuíferos, lagos y estuarios aumentando el grado de eutrofización de estos.

Por otra parte, el estudio realizado por Jiménez (2000) confirma la relación entre el aumento de fosfato total en cuerpos de agua y su vinculación con el uso de detergentes y fertilizantes fosfatados. La presencia de fosfatos en el agua, como mencionamos anteriormente, puede estimular el crecimiento descontrolado de la biomasa acuática, lo que conduce a la eutrofización del cuerpo de agua, causando la disminución del oxígeno disuelto y el cambio del pH, afectando negativamente la calidad del agua y poniendo en peligro la vida acuática.

En la Figura 4f se puede observar que los valores de temperatura obtenida en los cuatro puntos de muestreo en época de estiaje son mayores a la temperatura obtenida en época de avenida; esto se debe a un aumento de la radiación solar y al aumento de la temperatura del aire que, hace que el agua superficial sea más cálida que el agua profunda, y por la permanencia en esta zona debido a su menor densidad. En cambio, en época de avenida debido al frío puede producirse un ligero cambio de temperatura, quedando el agua más

fría en la parte superior y aumentando en la profundidad hasta los 4°C. Por lo tanto, las elevadas temperaturas implican aceleración de la putrefacción, con lo que aumenta la DBO₅ y disminuye el oxígeno disuelto.

En la Figura 4h se observa mayor concentración de sólidos disueltos totales en época de avenida ello es consecuencia de las altas precipitaciones que generan fuertes procesos de escorrentía y por ende el arrastre de sedimentos; aportando al aumento considerable de la turbidez del agua. Carrillo & Urgiles (2016), lo confirma en su estudio que las altas cantidades de sólidos disueltos totales afectan la penetración de la luz en la columna del agua de la laguna. Según Giraldo (1995), estos se encuentran relacionados con la turbidez debido a la presencia de materiales en suspensión como arcillas y lodos, lo que provoca que estos dos parámetros aumenten.

Los fosfatos utilizados en la agricultura como abono, cuando no están fijados en las raíces, tallos ni hojas son arrastrados por la lluvia desde los suelos agrícolas hacia cursos de agua. Los ingresos excesivos de fosfato producen abundante crecimiento de algas y plantas en los cuerpos de agua, la abundancia de plantas acuáticas consume grandes volúmenes de oxígeno.

En cuanto a la turbidez no existe LMP para la categoría 4. En la Figura 4i se evidencia que los valores obtenidos en los cuatro puntos de muestreo en época de estiaje son menores en comparación con la época de avenida. Esto se debe a que, durante el estiaje, hay menos precipitaciones y, por lo tanto, menos escorrentía y sedimentos que sean arrastrados al cuerpo de agua desde las

zonas circundantes. En época de avenida debido a las intensas lluvias aumentan la turbidez del agua. El río Yanamarca, afluente del humedal, transporta escorrentía y sedimentos desde las áreas cercanas, concentrándolos en el río y aumentando así la turbidez del cuerpo de agua, coincidiendo con el estudio realizado por Lin et al. (2004, citado en Montoya et al., 2011) quienes refirieron que en el afluente a la planta de saneamiento o potabilización de Taiwán la turbiedad del agua se mantiene en menos del 10 UNT en condiciones atmosféricas normales, mientras que en invierno, a causa de las lluvias fuertes puede aumentar la turbiedad del agua excediendo los 100 UNT.

La época de estiaje influye en los valores de algunos de los parámetros medidos, tales como los sólidos totales disueltos y la turbidez, los cuales son relativamente bajos, siendo un cuerpo de agua léntico, y esto confirma lo descrito por Gallo-Sánchez et al. (2009) en la Ciénaga de Ayapel (Colombia), cuyo estudio demostró que las precipitaciones pueden favorecer los procesos de dilución del contenido de nutrientes y por lo tanto aumentar estos dos parámetros en dicho periodo.

En la Figura 4j se observa que, los resultados de los niveles de concentración de oxígeno disuelto en los cuatro puntos de muestreo en época de estiaje y avenida son menores al LMP establecido en ≥ 5 mg/L. Esto significa que la concentración de oxígeno en el agua es baja y puede ser insuficiente para el sustento de la vida acuática, los niveles bajos de concentración nos indican que hay menos cantidad de oxígeno disuelto, debido al aumento de la temperatura, además que se produce un

aumento de la actividad biológica debido a la alta carga orgánica, lo que provoca una disminución de este parámetro en el cuerpo de agua. Jiménez (2000), lo confirman en su estudio realizado donde menciona que este parámetro es de suma importancia porque cuando los niveles de concentración de oxígeno disuelto bajan, el agua no es apta para desarrollar la vida acuática. Asimismo, Weiner (2008) determinó que concentraciones de oxígeno disuelto en agua natural entre 6,5 y 8 mg/L son características de aguas levemente contaminadas, y cuando las concentraciones de OD están por encima de 8 mg/L son características de aguas no contaminadas.

La disminución de OD se debe también a la alta concentración de la DBO_5 ya que el OD está en función de las concentraciones de la DBO_5 . Así mismo Goyenola (2007, citado por Huamancayo, G., 2017) menciona que concentraciones de OD que estén dentro de 5 a 8 mg/L, son adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.

Respecto al ICA-NSF de los puntos de muestreo del humedal laguna de Tragadero, en época de estiaje y avenida presentan valores muy distantes a los que un cuerpo de agua debería tener. Los humedales por sus funciones ecológicas y ambientales deberían estar entre la categoría excelente y buena, sin embargo, en la investigación no se cumple.

En la Tabla 15 se muestra el ICA-NSF cuantificado para los 4 puntos de muestreo en época de estiaje y en época de avenida. El valor promedio en época de estiaje varía en un rango de 49,81 a 53,79 y el valor promedio en época de avenida varían en

un rango de 36,89 a 43,43 y a partir del análisis realizado nos da el ICA total para el humedal Laguna de Tragadero cuyo rango fluctúa entre 43,35 a 48,61 con un promedio de 45,98 lo que significa que la calidad del agua es **mala**, según la Tabla 4. Clasificación del ICA-NSF propuesto por Brown.

Conclusiones

Estos parámetros son fundamentales para comprender la salud y la condición de un cuerpo de agua y nos proporciona información valiosa para la gestión y la conservación de los recursos hídricos.

El effluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas del distrito de Acolla está contaminado. Según la observación visual de la característica física del agua, específicamente en lo que respecta al color verdoso y un olor fétido.

El cálculo del índice de calidad de agua es 45,98, en comparación con los valores de la Tabla 8 del ICA-NFS, propuesto por Brown, el cual indica que la calidad del agua del humedal laguna de Tragadero es MALA. Esto muestra que hay un empobrecimiento en los ecosistemas acuáticos por lo que prolifera de manera descontrolada el crecimiento de algas fitoplactónicas, produciéndose la eutrofización y la contaminación de la cadena alimenticia.

Recomendaciones

Mejorar los procesos de operación y mantenimiento periódico de la infraestructura de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Acolla, para eliminar nitratos y fosfatos antes de que los efluentes se viertan en el cuerpo de agua y para garantizar que las descargas

cumplan con los estándares ambientales.

Monitorear y gestionar los niveles de los nueve parámetros (coliformes termotolerantes, pH, turbidez, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos disueltos totales, temperatura, nitratos, fosfatos y oxígeno disuelto) en el efluente de la planta de tratamiento para minimizar los impactos ambientales.

Capacitar a los agricultores en prácticas agrícolas responsables es una estrategia valiosa para promover el desarrollo

sostenible y proteger los recursos naturales, como el humedal laguna de Tragadero. El trabajo mancomunado de colaboración entre las autoridades locales y la comunidad es fundamental para el éxito de este esfuerzo.

Monitorear anual o semestralmente la calidad del agua y llevar a cabo esfuerzos de educación y concienciación para la comunidad local y los agricultores sobre la importancia de preservar el ecosistema acuático.

Referencias

- Alarcón, B., & Ñique, M. (2016). Índice de calidad del agua según NSF del humedal laguna Los Milagros (Tingo María, Perú). *Revista Indes*, 2(2), 98-107. <https://doi.org/10.25127/indes.20142.81>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2 de marzo del 2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf
- Bolaños, J., Cordero, G., & Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela. *Tecnología en Marcha* (Costa Rica), 30(4), 15-27. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf>
- Brown, R., McClellan, N., Deininger, R., & Tozer, R. (1970). A Water Quality Index—Do We Dare. *Water Sewage Works*, 117, 339- 343.
- Carrillo, M., & Urgilés, P. (2016). *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig* [Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio UC. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23518/1/tesis.pdf>
- Coello, J. et al. (2013) Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocha-Parque Nacional Sangay-Ecuador
- Gallo, L., Aguirre, N., Palacio, J., & Ramírez, J. (2009). Zooplancton (Rotífera Y Microcrustácea) y su relación con los cambios del nivel del agua en la Ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. *Caldasia*, 31, 339-353. <http://www.scielo.org>.

- co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-52322009000200009
- Giraldo, G. (1995). *Manual de análisis de aguas*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55218/manualdeanalisisdeaguas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huamán, S., Lucen, M., Paredes, M., & Changanaqui, D. (2021). Evaluación de la calidad del agua de la laguna Maravilla en los Pantanos de Villa (Lima, Perú). *South Sustainability* (Lima), 1(2), 1- 8. <https://revista.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/download/779/747/>
- Huamancayo, G. (2017). *Parámetros físicoquímicos del agua de la laguna de los Milagros del distrito de Pueblo Nuevo*. Universidad Nacional Agraria De La Selva. <https://portal.unas.edu.pe/sites/default/files/epirnr/PARAMETROS%20FISICOQUIMICOS%20DEL%20AGUA%20DE%20LA%20LAGUNA%20DE%20LOS%20MILAGROS%20DEL%20DISTRITO%20DE%20PUEBLO%20NUEVO.pdf>
- Jiménez, A. (2000). Determinación de los parámetros físicoquímicos de calidad de las aguas. *Revista interdisciplinar de gestión ambiental*, 2(23), 12-19. <https://docplayer.es/8378661-Determinacion-de-los-parametros-fisico-quimicos-de-calidad-de-las-aguas.html>
- Jiménez, I. (2019). *Estruvita: Fuente de fósforo reciclada obtenida a partir de residuos urbanos y agroindustriales* [Tesis de posgrado, Universidad de Sevilla]. Repositorio US. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/99846/TFM-1421-JIMENEZ%20GARCIA.pdf?sequence=1>
- López, K. (2019). *Determinación del índice de calidad del agua en la laguna de Colta mediante la valoración de parámetros físicoquímicos y microbiológicos* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional UCE. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18202>. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18202/1/T-UCE-0012-FIG-097.pdf>
- Minaya, R. (2017). *Parámetros Físicos, Químicos, Microbiológicos, para determinar la calidad del agua en la Laguna Moronacocha, época de transición creciente-vaciante. Iquitos. Perú. 2016* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana]. Repositorio de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4690>
- Ministerio del Ambiente. (7 de junio de 2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua*. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>

- Montoya, C., Loaiza, C., Torres, P., Cruz, C., & Escobar, J. (2011). Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. *Revista ELA*, (16), 137-148. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S179412372011000200011&script=sci_arttext#:~:text=La%20turbiedad%20de%20la%20fuente,desempe%C3%B1o%20de%20las%20unidades%20de
- Raffo-Lecca, E., & Ruiz-Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data (Lima)*, 17(1), 71-80. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Rodríguez, R., et al. (2017). Evaluación Microbiológica de un cuerpo de agua del ACR Humedales de Ventanilla (Callao, Perú) y su importancia para la salud pública local. *Ecología Aplicada*, 16(1), 15–21. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v16n1/a03v16n1.pdf>
- Rubio, H., Ochoa, J., Ortiz, R., Quintana, R., Saucedo, R., & Villalba, M. (2017). *Investigación y Ciencia (México)*, 25(70), 13-22 <https://www.redalyc.org/pdf/674/67451351002.pdf>
- Weiner E. (2012). Applications of environmental aquatic chemistry, a guide. <https://doi.org/10.1201/b12963>

