



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

COMPORTAMIENTO ESPACIO TEMPORAL DE ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO ILAVE

PRESENTADA POR:

LUZ MARINA TEVES PONCE

PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PUNO, PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AGRÍCOLA

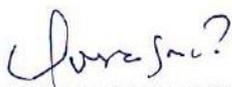
TESIS
COMPORTAMIENTO ESPACIO TEMPORAL DE ÍNDICE DE CALIDAD
DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO ILAVE



PRESENTADA POR:
LUZ MARINA TEVES PONCE
PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

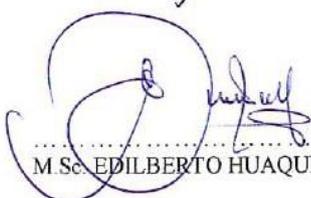
PRESIDENTE


.....
Dr. JOSÉ JUSTINIANO VERA SANTAMARIA

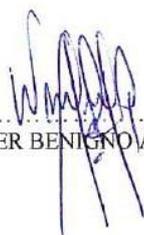
PRIMER MIEMBRO


.....
Dr. TEÓFILO DONAIRES FLORES

SEGUNDO MIEMBRO


.....
M.Sc. EDILBERTO HUAQUISTO RAMOS

ASESOR DE TESIS


.....
Dr. WALTHER BENIGNO APARICIO ARAGON

Puno, 04 de abril del 2022

ÁREA: Ciencias de la Ingeniería
TEMA: Calidad del agua en ríos
LÍNEA: Ordenamiento territorial y medio ambiente



DEDICATORIA

En primer lugar, agradecer a Dios por darme la oportunidad de vivir, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente para culminar esta meta en mi vida. A mis padres, Ernesto y Aurelia por ser el pilar fundamental en toda mi formación profesional. A mis hermanos Tatiana y Marco, por su constante apoyo, a todos ellos gracias por su incondicional apoyo en todo momento.



AGRADECIMIENTOS

Agradecer infinitamente a Dios, por darme fuerza, el valor y la voluntad para llegar hasta este momento y por haber encontrado en mi camino a aquellas personas que han sido mi apoyo durante todo el tiempo de ejecución de este trabajo de investigación.

A la Maestría en Ciencias de la Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional del Altiplano por haberme dado la oportunidad de formar parte de ella. A mi asesor de tesis Ph.D. Walther Benigno Aparicio Aragón brindarme su apoyo y asesoramiento para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Al presidente de mis Jurados Dr. José Justiniano Vera Santamaría, Dr. Teófilo Donaires Flores y M.Sc. Edilberto Huaquisto Ramos por su apoyo y consejos para el desarrollo de esta Tesis.

A mis grandes amigos, Ing. Carmen Natalia Marón Mamani, Lic. Richard Wilberth Apaza Arpasi, por ser los amigos que siempre alumbraron mi camino y me hacían encontrarlo cada vez que sentía que lo perdía, por su apoyo incondicional, por su tolerancia, respeto y amistad hacia mi persona infinitamente gracias.

A todos aquellos amigos que no recordé al momento de escribir esto, que de manera directa o indirecta siempre estuvieron presentes en el proceso de mi realización como profesional.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
ÍNDICE DE ACRONIMOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico	3
1.1.1. Calidad de agua	3
1.1.2. Contaminación del agua	4
1.1.3. Contaminación química	5
1.1.4. Análisis espacio – temporal de la calidad del agua	6
1.1.5. Características físicas del agua	6
1.1.6. Las características químicas del agua.	8
1.1.7. Índice de calidad de Agua (ICA)	10
1.1.8. Índice canadiense de calidad de las aguas (ICA-PE)	12
1.2. Antecedentes	15
1.2.1. A nivel internacional	15
1.2.2. A nivel nacional	20
1.2.3. A nivel regional	21



CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1.	Identificación del problema	23
2.2.	Enunciados del problema	25
2.2.1.	Problema general	25
2.2.2.	Problemas específicos	25
2.3.	Justificación	26
2.4.	Objetivos	26
2.4.1.	Objetivo general	26
2.4.2.	Objetivos específicos	26
2.5.	Hipótesis	27
2.5.1.	Hipótesis general	27
2.5.2.	Hipótesis específicas	27

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	Lugar de estudio	28
3.2.	Población	28
3.3.	Muestra	28
3.4.	Métodos de investigación	30
3.4.1.	Tipos de Investigación	30
3.4.2.	Diseño de Investigación	31
3.5.	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	31
3.5.1.	Evaluación de la variación de los parámetros físico químicos en el espacio – temporal de los parámetros seleccionados.	31
3.5.2.	Evaluación de los Índices de calidad de agua de Río ICA-PE.	32



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la variación de los parámetros físico-químico en el espacio temporal en las aguas de la cuenca del río Ilave.	36
4.1.1. Parámetros de: campo, físico-químico-inorgánicos y microbiológicos evaluados con Cat. 3-D1	36
4.1.2. Parámetros de: campo, físico-químico-inorgánicos y microbiológicos evaluados con Cat. 4-E2	41
4.1.3. Parámetros de: campo, físico-químico-inorgánicos y microbiológicos evaluados con Cat. 1-A1	44
4.2. Resultados de la calidad del agua en la cuenca del río Ilave, mediante índice de calidad de agua (ICA-PE)	53
4.3. Análisis estadístico	55
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS.	68



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Alteración de sistemas acuáticos que son generados por la misma contaminación	5
2. Escala de análisis de la Calificación ICA- PE	14
3. Red de estaciones de monitoreo de la calidad del agua superficial del rio Ilave y sus tributarios	29
4. Relación de Informes de monitoreos	31
5. Clasificación de los cuerpos de agua en la Unidad Hidrográfica Ilave	35
6. Resultados ICA-PE- Cuenca Ilave – Cat. 3-D1	54
7. Resultados ICA-PE- Cuenca Ilave – Cat. 1-A2	54
8. Resultados ICA-PE- Cuenca Ilave – Cat. 4-E2	55
9. Correlación lineal de Pearson los parámetros físico químicos de la cuenca del río Ilave y sus tributarios	56
10. Coeficientes y el valor de P	57
11. Resumen del modelo	57
12. Análisis de Varianza	58



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Esquema de la red de estaciones de monitoreo de calidad del agua del rio Ilave y sus tributarios	30
2. Variación de Coliformes Termotolerantes – epoca húmeda	38
3. Variación de coliformes termotolerantes – epoca seca	38
4. Variación de pH – epoca húmeda	39
5. Variación de pH – epoca seca	40
6. Variación de Manganeso – epoca húmeda	41
7. Variación de Manganeso – epoca seca	41
8. Coliformes Termotolerantes – epoca húmeda	42
9. Variación de Coliformes Termotolerantes – epoca seca	43
10. Variación de pH – epoca húmeda	44
11. Variación de pH – época seca	44
12. Variación de Coliformes Termotolerantes – epoca húmeda	45
13. Variación de Coliformes Termotolerantes – epoca seca	46
14. Variación de Demanda bioquímica de oxígeno – época húmeda	47
15. Variación de Demanda bioquímica de oxígeno – época seca	47
16. Variación de arsénico – época húmeda	49
17. Variación de arsénico– época seca	49
18. Variación de hierro – época húmeda	50
19. Variación de hierro– época seca	51
20. Variación de manganeso – época húmeda	52



21. Variación de manganeso – época seca

53

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Estándares de calidad ambiental para agua (ECA) según el D.S. N° 004-2017-MINAM.	68
2. Estándares de calidad ambiental para agua (ECA) según el D.S. N° 004-2017-MINAM.	71
3. Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua en la cuenca Ilave para la categoría ECA 1-A2	77
4. Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua en la cuenca Ilave para la categoría ECA 3-D1	79
5. Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua en la cuenca Ilave para la categoría ECA 4-E2	80
6. Resultados de los parámetros físico químico y microbiológico evaluados en cada estación para la categoría ECA 1-A2 durante seis años	81
7. Resultados de los parámetros físico químico y microbiológico evaluados en cada estación para la categoría ECA 3-D1 durante seis años	84
8. Resultados de los parámetros físico químico y microbiológico evaluados en cada estación para la categoría ECA 4-E2 durante seis años.	85
9. cuadro de cálculos detallados del ICA-PE para los puntos de monitoreo para la categoría ECA 1-A2	87
10. cuadro de cálculos detallados del ICA-PE para los puntos de monitoreo para la categoría ECA 3-D1	88
11. cuadro de cálculos detallados del ICA-PE para los puntos de monitoreo para la categoría ECA 4-E2	89
12. Matriz de correlación	90



ÍNDICE DE ACRONIMOS

AAA	Autoridad Autónoma del Agua
ANA	Autoridad Nacional del Agua
Cat.	Categoría
CO	Monóxido de carbono
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DMA	Directiva Marco del Agua
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ECA	Estándares de Calidad de Agua
ICA-PE	Índice de Calidad de Agua Perú
IGCA	Índice Global de Calidad de Agua
ICAg	Índice de Calidad General
NMP	Número más probable
OECD	Organización de Cooperación Desarrollo Económico
STD	Solidos Disueltos Totales

RESUMEN

La disponibilidad de agua es imprescindible para la salud humana y el ecosistema. Este estudio tuvo como objetivo principal ver el comportamiento espacio temporal de la calidad del agua del río Ilave, mediante el empleo del Índice de Calidad de Agua -Perú, puntualmente del ICA-PE, para la investigación presente se ha trabajado con 10 puntos de monitoreo (Rchil., Rcond., Rmall., R. Grand3., R.chic., R.huen1., R.Huen., RIlav0., RIlav3., RIlav4), en dos épocas del año: épocas de estiaje y época húmeda, se analizaron 14 parámetros que comprende el periodo 2015 – 2020. Para parámetros físico-químico y biológicos (pH, conductividad eléctrica, fosforo, DBO, arsenico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, plomo, zinc y coliformes termotolerantes), se ha tomado la categorización de cuerpos de agua emitida por la ANA, y los ECA, aprobada por D.S. N° 004-2017-MINAM. Los resultados del ICA-PE muestran para la categoría 3-D1 “bueno”, para la categoría 4-E2 es “bueno” y para la categoría 1-A2 también es “bueno”, exceptuando en el punto R. Cond., de la misma categoría es “regular”, esto debido a los vertimientos de aguas residuales que influye negativamente en la calidad del agua. se concluye que la calidad del agua en toda la cuenca del río Ilave es “buena”. También podemos indicar que la calidad del agua cambió significativamente a lo largo del río Ilave, y en aguas de corriente arriba y corriente abajo fue mejor que el que está en el medio. Además, la calidad del agua mostró una clara variación estacional en época húmeda y época seca

Palabras clave: Calidad de agua, índice de calidad de agua, monitoreo, parámetros físico químicos.



ABSTRACT

The availability of water is essential for human health and the ecosystem. The main objective of this study was to see the temporal space behavior of the water quality of the Ilave river, through the use of the Water Quality Index -Peru, specifically from the ICA-PE, for the present investigation, 10 monitoring points have been worked on (Rchil., Rcond., Rmall., R. Grand3., R.chic., R.huen1., R.Huen., RIlav0., RIlav3., RIlav4), at two times of the year: dry season and dry season. humid, 14 parameters that comprise the period 2015 - 2020 were analyzed. The physical-chemical and biological parameters (pH, electrical conductivity, phosphorus, BOD, arsenic, cadmium, copper, chromium, iron, manganese, mercury, lead, zinc and thermotolerant coliforms), the categorization of water bodies issued by the ANA has been taken, and the ECAs, approved by DS No. 004-2017-MINAM. The ICA-PE results show for category 3-D1 "good", for category 4-E2 it is "good" and for category 1-A2 it is also "good", except in point R. Cond., of the same category is "regular", this due to the dumping of residual waters that negatively influences the quality of the water. It is concluded that quality water in Ilave river basin is "good". We can also indicate that the water quality changed significantly along the Ilave River, and the upstream and downstream waters were better than the one between both currents. In addition, the quality of the water showed a clear seasonal variation in the wet and dry seasons.

Keywords: Monitoring, physical-chemical parameters, water quality, water quality index.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Ilave es una de los afluentes principales del Lago Titicaca y con un gran potencial de recursos hídricos, esto debido a la existencia de las sub cuencas en la zona Alta de Ilave el río Chichillape, el río Llusta (río Ilusta bajo), el río Ayupalca, el río Conduriri y el río de Aguas Calientes, que desemboca directamente en el cauce del río Ilave. Mirando el nivel freático, hay 3244 fuentes agua en la cuenca del río Ilave, así como 1836 manantiales, 1300 quebradas, 67 ríos, 27 pantanos y 14 lagunas (ANA, 2009).

A sí mismo, la cuenca del río Ilave está compuesta por dos subcuencas principales, el río Aguas Calientes y el río Huenque, que en conjunto forman el río Ilave y luego confluyen con el Lago Titicaca, durante la estación húmeda, despliega una carga de grandes cantidades de materiales de diversas variedades, en cambio en época de estiaje el agua empieza a empozar en las zonas plana, incluso en el interior de los quebradas (Pari, 2015).

De otra parte, la cuenca del río Ilave recibe el aporte de varias corrientes, así como aguas residuales municipales he industriales y botaderos de residuos sólidos no autorizados de los diferentes sectores de la población, estas aguas son empleados para riego agrícola generalmente en la parte baja de la cuenca y para uso de bebida de animales en la parte media y alta de la cuenca (MINAGRI & ANA, 2017).

Los ríos son corrientes de aguas naturales que están sometidas a las alteraciones del calentamiento global y así como las características de la cuenca, así como la calidad de sus aguas, cambian naturalmente, a lo largo de su curso y con el tiempo, debido a la mezcla de componentes ambientales. También podemos indicar que las actividades humanas alteran, manera irreversible, las propiedades físicas, químicas y las biológicas del agua (L. Torres, 2016).

Sus principales comienzos de contaminación de estos sistemas es por escorrentía urbana e industrial, así como por la escorrentía de retorno generada por las actividades agrícolas (Graniel & Carrillo, 2006).

Pero, una de las desventajas de la calidad del agua es su carácter multidimensional de la “pureza del agua”. La explicación de los datos logrados en el monitoreo de agua puede ser un trabajo difícil y en muchos momentos de complicado entendimiento para el público en general (Valdes *et al.*, 2011).

Por otro lado, las variaciones de sus propiedades físicas y químicas de calidad de agua, están afectados por los elementos antropogénicos y la interrelación combinada de numerosos cambios naturales tales como erosión natural, los entornos geológicas y otros (ANA, 2016).

Estudios anteriores reportan el aspecto de compuestos orgánicos constantes, de baja de toxicidad y elevadas concentraciones, materia orgánica y nutrientes, aguda en la cuenca del río Ilave y varios de sus afluentes (Guzmán *et al.*, 2011).

También podemos indicar que, estas ilustraciones no ofrecen una perspectiva global del agua, la realidad y tampoco evalúan los cambios en todo el trayecto las concentraciones de lo primordial de los contaminantes, ni su diversificación temporal, especialmente en los tiempos de lluvia y sequía. La meta del actual trabajo fue valorar los cambios en el espacio y el tiempo de los contaminantes presentes en el agua del río Ilave, en la provincia de El Collao. El estudio propone además el empleo de un índice global de la calidad del agua (IGCA), basado en el índice desarrollado por el Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) para el río Alberta (Guzmán, 2011). En cuanto al índice se calculó a partir de la determinación de subíndices independientes que se agrupan a contaminantes relacionados.

El IGCA propuesto es el resultado de los promedios de seis subíndices, para lo cual se incluyeron los 23 parámetros evaluados en el presente estudio.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico

1.1.1. Calidad de agua

El agua es considerada un recurso renovable a través del ciclo hidrológico he importante ya que está se encuentra en todas sus actividades del ser humano, por lo tanto, su misión debe ser un tema de mucha importancia para asegurar el recurso hídrica y así iniciar el desarrollo del país (Guzman *et al.*, 2011).

Según ANA (2009) los recursos hídricos representan un factor muy importante para proveer a las necesidades de las personas, tales como agricultura, ganadería, minería, energía, ecología y otros factores, por lo que es importante hacer un uso sostenible, racional y óptimo de este recurso en un enfoque holístico, evaluando su disponibilidad, calidad y uso

El consumo de agua aumenta día a día y su suministro se ve seriamente amenazado por contaminantes de origen humano. Por lo tanto, es necesario administrar adecuadamente este recurso y monitorear constantemente su calidad (Valcárcel *et al.*, 2012) esto es una obligación muy importante para poder disponer los dispositivos de gestión y de medida que ayuden de manera objetiva y eficiente al resguardo y uso razonable del agua. La cantidad de recurso hídrico que hay en el planeta solo el 0,5 % está apto para su uso del ser humano (Wu *et al.*, 2020). Por consiguiente, solo el 2,85 por ciento representa agua dulce, 97 por ciento se encuentra en los océanos y la mayor parte está en los casquetes polares y el 0,25 por

ciento está en la atmosfera, por lo que solo el 0,53 por ciento del agua dulce disponible para los seres humanos se encuentra (Vizcaíno, 1987).

Flores (1997) define la calidad del agua como su idoneidad para los usos beneficios para los que ha sido utilizada en el pasado, es decir, para consumo humano y animal, para riego, recreación y mantenimiento de la vida saludable de la vida acuática.

1.1.2. Contaminación del agua

Martínez *et al.* (2011) puntualiza que la contaminación del agua debe entenderse como un percepción recíproco asociada a las propiedades físicas, químicas y biológicas que obstaculizan su uso según a los estudios a las que vayan destinadas. En el medio ambiente el agua no es puro en su estado sólido, debido a que va juntando otras sustancias en todo su recorrido como el agua de lluvia, que al precipitar tiene contacto directo con la tierra, hasta que llega al mar, esto es el ciclo del agua. Durante todo este camino el agua va diluyendo gases, minerales y a si va incorporándose partículas en suspensión de medio inorgánico y orgánico, etc. Posteriormente, el agua es manipulada por el hombre para uso poblacional y para uso agrícola, industrial y recreativo, adulterando de forma indirecta, es por eso que el agua se encuentra contaminado.

Para Durán (2019) la pureza del agua puede ser alterada por las consecuencias de los quehaceres humanos o naturales que pueden modificar las propiedades físico-química o biológica del agua, ya que deterioran el valor ecológico y limitan su uso del agua. Estas variaciones se denominan contaminación del agua, y un contaminante es la causa que induce esa alteración.

La contaminación del agua puede ser causada por: contaminación atmosférica, que modifica la pureza del agua de lluvia y, por tanto, como el escurrimiento de agua de lluvia; los efluentes de aguas residuales de origen municipal, rellenos sanitarios defectuosos; los derrames accidentales de materiales peligrosos y la infiltración de lixiviados en el agua. La importancia de cada fuente de contaminación sobre un cuerpo de agua determinado depende de cada tipo de descarga y las características propias de cada cuerpo receptor, entre otros factores. En el cuadro 6.1 se mencionan algunos efectos generados por la contaminación del recurso hídrico.

Tabla 1

Alteración de sistemas acuáticos que son generados por la misma contaminación

Componente	Causas	Efecto
Calidad del agua	<p>-Naturales:</p> <p>Formaciones geológicas, afloramientos de aguas subterráneas con altas concentraciones de contaminantes.</p>	<p>-La disminución de oxígeno disuelto</p> <p>-El incremento de DBO5 y DQO</p> <p>- Aumento de solidos suspendidos y la turbidez y color.</p> <p>- Cambio del pH.</p> <p>- Aumento de nutrientes</p> <p>- Aumento en contaminantes</p> <p>- Aumento en la toxicidad</p> <p>- Aumento de los patógenos</p> <p>- Aumento de la temperatura</p> <p>- Aumento de la evaporación</p> <p>-Proceso de la eutrofización</p>
Ecología	<p>- Antropogénicas:</p> <p>Vertimiento de aguas residuales con altas concentraciones de contaminantes físicos, químicos y biológicos, así como la inadecuada disposición de residuos sólidos.</p>	<p>-Variación de las comunidades biológicas</p> <p>- Reducción de cadenas tróficas.</p> <p>-Desaparición de las especies endémicas y nativas</p> <p>- Introducción de las especies exóticas</p> <p>- Alteración red trófica y flujo de energía.</p> <p>- Sobreexplotación de las especies</p> <p>- Aumento de plagas vegetales (malezas acuáticas) y animales</p> <p>- Entorpecimiento de los ciclos migratorios</p> <p>- Parasitismos heredados o transmitidos</p> <p>- Disminución de los sanitarios</p>

1.1.3. Contaminación química

Canciano (2017) describe que las contaminaciones químicas de aguas superficiales es considerada un problema y como más grave en el medio ambiente que están enfrentando en muchos países. Esto a causa de agentes contaminantes diversos, por esta razón el nitrógeno, el fosforo, los metales pesados, las sales, los pesticidas, como

también productos químicos tóxicos urbanos, petróleo, incluso ciertos isotopos radioactivos, sedimentos y depósitos atmosféricos, nutrientes metales pesados y sales, así como los contaminantes orgánicos, tales como plaguicidas, son identificados como uno de los principales contaminantes.

Peluso *et al.* (2020) describe que la composición química de las aguas superficiales se ve afectada por las condiciones climáticas (precipitaciones y la temperatura), aportes atmosféricos, la biota acuática (fauna y flora), las actividades humanas y las características de la cuenca, tales como la geomorfología, geología y suelos.

Ocampo *et al.* (2013) menciona que, desde el nacimiento de la era química, masas de agua superficiales han sido fuertemente impactados en todo el mundo por muchos productos químicos tóxicos antropogénicos. Estos productos tóxicos, a través de la escorrentía y la filtración, cambian la composición química, disminuye la calidad y altera el ecosistema al afectar a los organismos acuáticos de cuerpos de agua.

1.1.4. Análisis espacio – temporal de la calidad del agua

Para Chavez (2015) el análisis espacio- temporal de la calidad del agua de un río tiene por objeto mostrar los parámetros del agua a lo largo de su cauce y su comportamiento, hacia un periodo terminante y a la vez ver su evolución en el tiempo para cada una de las estaciones del río. El análisis permite igualar los tramos del río donde se presenten las condiciones más perjudiciales para cada parámetro y poder ver el periodo en que ocurre la mayor alteración.

1.1.5. Características físicas del agua

Según Wu *et al.* (2020) estos son llamados así para que puedan impresionar los sentidos del ser humano como (vista, olfato, etc.), también tienen una influencia directa en la condición estética y la receptividad del agua. Los siguientes son importantes:

1.1.5.1. Oxígeno Disuelto

Según Hernández (2016) la presencia de oxígeno es importante en el agua y también procede especialmente del aire. Los niveles bajos o nulos de oxígeno en el agua pueden indicar una fuerte contaminación, debido al alto contenido de materia orgánica y/o la alta actividad microbiana; esto puede ser considerado un

indicador de contaminación. La representación de parámetros del agua cruda requiere de presión, la temperatura, así como la mineralización del agua. El agua superficial no contaminada, es la corriente como en los ríos; que siempre están llenos de oxígeno y/o a veces sobresaturadas, el contenido de oxígeno depende de las aireaciones de las vegetales verdes que se encuentran en el agua, esto depende de la hora del día (mañana o tarde) y de la temperatura.

A sí mismo la CMLT (2014) la aireación del agua es debido a la solubilización del oxígeno atmosférico así como la generación de la fotosíntesis, principalmente en las algas. También se puede demostrar que el oxígeno formado durante el día se consume parcialmente durante la noche, y si las algas consumen oxígeno para su metabolismo después de que mueren, la descomposición de la biomasa también consume el oxígeno. Así como los residuos orgánicos producidos por el hombre, el ganado, etc. Y otros materiales son vertidos en cuerpos de agua y descompuestos por bacterias aeróbicas, que también consumen oxígeno en el proceso. Cuando se elimina este exceso de desechos, se produce la proliferación de bacterias que agotan el oxígeno y acaban con los peces u otros seres vivos.

1.1.5.2. Conductividad eléctrica

Rogora *et al.* (2019), demuestra que el agua en estado puro tiene una conductividad eléctrica muy baja en comparación con el agua natural, así como también tiene iones en solución y su conductividad es mayor, la cual también es proporcional a la cantidad y características del agua de estos electrolitos. Por esta razón, los valores de conductividad se utilizan como un indicador aproximado de la concentración de soluto. Así mismo, un cambio de temperatura cambia la conductividad de las medidas y deben tomarse a partir de 20°C (1,7 y 8) y esto varía con los indicadores de salinidad y cantidad de sal.

1.1.5.3. Sólidos Totales Disueltos

Martínez *et al.* (2011), define el contenido de sólidos totales disueltos en el agua, este instrumento mide específicamente el total de residuos sólidos sin filtrar, como sales y residuos orgánicos a través de una membrana de poro de 2,0 µm. Los sólidos disueltos totales afectan la calidad de un cuerpo de agua. El

promedio total de sólidos disueltos de los ríos del mundo se estima en alrededor de 120 ppm (MacHado *et al.*, 2016). En el caso de los lagos, los valores de sólidos disueltos totales revelan una gran variación.

1.1.5.4. Temperatura

Guzmán *et al.* (2011) definen como un parámetro físico muy importantes del agua, y esto influye en el retardo o la aceleración de la actividad biológica, así como la absorción de oxígeno, precipitación de compuestos, floculación, sedimentación y filtración, la alineación de depósitos, la limpieza y en los métodos de mezcla y los Variados factores, esto hace que cambie la temperatura del agua continuamente. Estos cuerpos aeróbicos dependen de la existencia de oxígeno en el agua, al aumentar la temperatura, menor es la disolución de los gases y es mayor es la celeridad biológica. Por este motivo, al ver un aumento de la temperatura reducirá la cantidad de oxígeno y también acrecentará la actividad bacteriana y a si puede llegar a originar la situación séptica con el problema de los malos olores y sabores presentes. Al aumentar la temperatura también aumenta los peligros de corrosión en las tuberías y con el desnivel de la temperatura, la densidad del agua extiende considerablemente y pronto disminuye la sedimentabilidad del flocs y la rapidez de reacción química.

Dehkordi (2017) define que el comportamiento de la variación de temperatura es a consecuencia de la altura sobre el nivel del mar que uno se encuentra así mismo depende de la época de muestreo, presentándose variaciones de temperaturas más altas y bajas en periodos de sequía y en el periodo húmedo.

1.1.6. Las características químicas del agua.

1.1.6.1. pH

Quattrini *et al.* (2012) definen los niveles de carbonatos y bicarbonatos que están presentes en los cuerpos de agua potable, que producen habitualmente el deterioro y la dilución de piedras calizas en las cuencas que tienen presencia de carbonatos. sabiendo que la piedra caliza no es muy soluble en agua pura, la disolución esta originada por la presencia del dióxido de carbono que es disuelto en el agua como el CO₂ atmosférico o CO₂ generado en sedimentos ricos en materia orgánica. El dióxido de carbono reacciona con el agua para producir

unas pequeñas cantidades de ácido carbónico, que a su vez disuelve las rocas de carbonato en la cuenca, aumentando así la alcalinidad del agua.

Peng *et al.* (2021) menciona que la medida tradicional de la acidez o la alcalinidad de las soluciones acuosas es la unidad de pH. la definición de pH de una solución es equivalente al logaritmo negativo de la concentración de los iones hidronio (H_3O^+) en la solución acuosa.

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

1.1.6.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Peluso *et al.* (2020) describen como la cantidad de oxígeno demandado para la oxidación de la materia orgánica biodegradable contenidas en la modelo de agua y puesto que el resultado de la acción de oxidación bioquímica aeróbica o anaerobias.

1.1.6.3. Demanda química de oxígeno (DQO)

Peluso *et al.* (2020) definen que la demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente la presencia de la materia orgánica en las aguas dulces y en las aguas residuales. En bastantes procesos de las aguas residuales es permitido constituir una correlación entre DBO y DQO. Esto es de gran interés debido a que el DBO necesita 5 días para ser concluyente y la DQO solo necesita tres horas para ser determinada. Luego de ser calculada la correlación entre los dos parámetros, las mediciones de DQO se pueden utilizar para el movimiento y el control de las plantas de tratamiento.

1.1.6.4. Fosfato total

Pu *et al.* (2021) y Peluso *et al.* (2020) indican que es frecuente encontrar los fosfatos en el agua. Son los nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento de la vida acuática. Su expresión está asociada con la eutrofización de los cuerpos de agua, con el crecimiento de algas indeseables en presas y lagos, con la acumulación de grandes cantidades de sedimentos.

Quevedo *et al.* (2018) dicen que es un nutriente esencial para el crecimiento de algas, contenido normalmente en las aguas residuales municipales. Proviene básicamente de los detergentes, excrementos, orina y residuos de alimentos.

1.1.6.5. Nitrógeno

Lavelle *et al.* (2019) definen como un nutriente importante para el crecimiento de protistas y plantas. El nitrógeno presente en el agua incluye el nitrógeno de aminoácidos, aminos, proteínas y otros. Las formas de nitrógeno en aguas residuales son las de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos y nitratos. Unas son representaciones inter convertibles bioquímicamente y elementos del ciclo del nitrógeno.

1.1.7. Índice de calidad de Agua (ICA)

El Índice de Calidad del Agua (ICA), se deduce por la aplicación de algunos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, es calificado como el indicador que establece el deterioro de los cuerpos de agua en términos de calidad (Wu *et al.*, 2020).

para determinar su grado de contaminación es realizar un monitoreo en el cuerpo de agua, esto nos permite obtener una inmensa cantidad de datos de varios parámetros, que hace difícil detectar patrones de contaminación. (Haque *et al.*, 2020) y (Said & Khan, 2021), son los fundadores en el intento de formar una metodología agrupada para el cálculo del ICA.

Posteriormente con trabajos de mayor envergadura, la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF por sus siglas en inglés), realizó un estudio para evaluar el ICA con base en nueve parámetros (Said & Khan, 2021), presenta un trabajo con trece parámetros y (Souza *et al.*, 2021), realiza otro similar con once parámetros (León, 1992). Un índice de calidad de agua, consiste básicamente en una simple expresión de una combinación más o menos compleja de varios parámetros, utilizados para medir la calidad del agua. El índice puede ser representarse por un número, por un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color. Su ventaja es que la información se puede interpretar más fácilmente que una lista de valores numéricos. Consecuentemente, un índice de calidad de agua es una herramienta comunicativa para transmitir información (Zapata *et al.*, 2006).

MINAGRI & ANA (2017) indica que la evaluación en el Perú, 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 y como estén las categorías del cuerpo de agua esto determina el cumplimiento y/o incumplimiento, disminuyendo únicamente las características críticas y su agrupación. Sin embargo, esta estimación es imprecisa a la hora de plasmar la calidad de agua, esta posee una característica de: excelente, buena, regular, mala o muy mala.

Los índices de calidad de agua, forman instrumentos matemáticos que constituyen investigación de varios parámetros y así permitir convertir grandes cantidades de datos obtenidos en una escala de control de la calidad del agua.

De acuerdo con la Organización de Cooperación de Desarrollo Económico, los indicadores ambientales tienen dos situaciones principales:

1. Disminuye el número de mediciones y los parámetros que regularmente se requieran para hacer una representación correcta de una situación y
2. Reducir el proceso de información de los resultados obtenidos.

En este sentido, los ICA's organiza una herramienta fundamental para la gestión de la calidad del agua, que nos permite simplemente evidenciar informes de calidad del agua a las agencias interesadas y/o al público y esto ayuda a equilibrar y comparar las condiciones del agua resultante y sus propiedades en el espacio y tiempo, es una estimación del agua con un nivel de 0-100, por tanto 0 (cero) es mala calidad y 100 es excelente. Por eso esta relación ha obtenido un uso general desde su creación y está disponible para varios países. Otros índices han sido perfeccionados y usados en distintas investigaciones para catalogar la disposición de las aguas para sus diferentes usos, cada uno de ellos tiene sus propiedades propias y habitualmente se alcanzan buenos resultados en las líneas en que se adquirieron (Durán, 2019), (Graniel & Carrillo, 2006), (Chavez, 2015).

Teniendo en cuenta los índices con más frecuencia manejados es el presentado por la Canadian Council of Ministers of the Environment, más conocido como CCME_WQI (por las iniciales en inglés), debido a que formula una apreciación más extensa del agua en una fase de tiempo terminante siempre con cuidado los números de medidas que sobresalen un estándar de referencia, el número de datos que no

cumplen con el citado estándar y la magnitud de progreso (CCME, 2017). También se muestra que esta inventiva se define por su flexibilidad en relación a la variedad de parámetros empleados.

1.1.8. Índice canadiense de calidad de las aguas (ICA-PE)

Balmaseda & García (2014) uno de los indicadores más utilizados es el propuesto por el Consejo de Ministros de Medio Ambiente de Canadá, conocido como CCME_WQI (siglas en inglés), que fue desarrollado para simplificar la comunicación de datos sobre la calidad del agua. Es una herramienta para la creación de resúmenes de datos de calidad útil tanto para técnicos y políticos, como para el público interesado en este conocimiento. No es un sustituto de los análisis detallados de la calidad de las aguas (CCME, 2001). Este indicador se basa en la identificación de tres factores que representan rango, frecuencia y amplitud. Rango (F1) define el porcentaje de variables cuyos valores están fuera del rango deseado para el uso evaluado en relación con la suma de las variables en consideración. La frecuencia (F2) se halla por la relación entre la cantidad de valores fuera de los niveles deseables respecto al total de datos de las variables estudiadas. Mientras la amplitud es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la magnitud de los excesos de cada dato fuera de rango al compararlo con su umbral (CCME, 2017).

F1- Alcance: Esto representa todos los parámetros de calidad que no cumplen con los valores indicados en las normas, estándares ambientales de calidad del agua (ECA-Agua) vigentes, en relación con todos los parámetros calculados.

$$F1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}}$$

F2- Frecuencia: esto constituye la suma de información que incumplen la normativa ambiental del agua (ECA-Agua) referente al total de datos, de los parámetros que se van a valorar (datos que corresponden a los resultados de un mínimo de cuatro monitoreos).

$$F2 = \frac{\text{Número de los parámetros que NO cumplen el ECA Agua de los Datos Evaluados}}{\text{Número Total de Datos Evaluados}}$$

Dónde:

Datos: Resultados de los monitoreos

F3- Amplitud: Es la proporción de la desviación que consta en los datos, expresada por la suma sistematizada de excedentes, podemos indicar los excesos de datos respecto al número total de datos.

$$F3 = \left(\frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$$

En en el cual, la suma Normalizada de Excedentes (nse):

$$\text{nse} = \text{Suma Normalizada de los Excedentes} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente}_i}{\text{Total de datos}}$$

EXCEDENTE, esto sucede para cada parámetro, que representa la diferencia entre el valor de ECA y el valor de datos en comparación con el valor de ECA-Agua.

Caso 1: Es decir el valor de concentración del parámetro supera el valor establecido en el ECA-Agua, el cálculo del exceso se realiza de la siguiente manera:

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

Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro sea inferior al valor establecido en el ECA-Agua, no cumplirá con la condición allí indicada, como ejemplo: el Oxígeno disuelto (>4), pH (>6.5, <8.5), el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

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

Una vez obtenidos los valores de los factores (F1, F2, y F3) se calcula el Índice de Calidad de Agua: como cambio del rango de 0 a 100, 100 es un valor representativo para la calidad ICA excelente y 0 valores representan un ICA de mala calidad, la diferencia se hace con el valor dado como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de tres (03) factores, F1, F2 y F3, dado expresado por la siguiente ecuación:

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

Núñez (2017) para desarrollar los cálculos del índice de calidad del agua, se utilizó la investigación de Microsoft Excel, con un macro donde se encuadró los Datos y los procedimientos matemáticas para su preparación de los factores (F1, F2 y F3) y también se obtuvo el valor del índice de calidad de agua, CCMEWQI, esto es computado y como deducción se obtuvo el valor del índice que se muestra como un número adimensional entendido entre 1- 100, lo que admite crear escalas en cinco rangos, que son los niveles de sensibilidad que califican y expresa la etapa de la calidad del agua como: Mala, Regular, Favorable, Buena y Excelente (Ver Cuadro N°1.2).

Tabla 2

Escala de análisis de la Calificación ICA- PE

CCME_WQI	Evaluación	Definición
95-100	Excelente	Indica que la calidad de la fuente de agua se conserva a pesar de estar amenazada o destruida. Sus condiciones están muy cerca de los niveles naturales o deseados.
80-94	Buena	Indica que la calidad del recurso hídrico se separa un poco de la calidad natural del agua. Así mismo las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
65-79	Favorable	Esto nos indica que la calidad del recurso hídrico natural en ocasiones es amenazada o dañada. A menudo la calidad del agua se aparta de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
45-64	Regular	Esto indica que la calidad de la fuente de agua no cumple con los objetivos de calidad, las condiciones deseables son continuamente amenazadas o destruidas. Manejo de solicitudes de usos múltiples.
0-44	Mala	Esto nos indica que la calidad de agua no cumple con las metas de calidad, casi constantemente está amenazada o dañada. Todos los usos requieren previo tratamiento.

Fuente: (Pari, 2015).

1.2. Antecedentes

Como condiciones al estudio de Evaluación Espacio- Temporal de calidad del Agua en la cuenca del río Ilave, a continuación, se presentan los estudios existentes sobre la calidad del agua en la cuenca del río Ilave y sus afluentes:

1.2.1. A nivel internacional

Wu *et al.* (2020) en el estudio de la “Evaluación de la calidad del agua Superficial mediante el índice de la calidad del Agua en el río Beiyun China” menciona que el índice de calidad del agua (WQI), se utilizó para analizar la calidad del agua en el río Beiyun. Entre enero del 2017 y octubre del 2018. Recolectados de 16 sitios a lo largo de la cuenca, nitrógeno amoniacal, fosforo total, aceite, fenol volátil, sulfuro, plomo, cobre, zinc y arsénico, se utilizaron para calcular el WQI. Los valores promedios de WQI del río Beiyun en invierno, primavera, verano y otoño fueron: 88,15; 71,70; 78,92 y 90,12 lo que explica que la calidad del agua fue buena en general, y la calidad del agua de aguas arriba y aguas abajo fue mejor que la del intermedio.

Teshome (2020) efectuó el estudio del “Índice de calidad del agua estacional e idoneidad del cuerpo de agua para los usos designados en la cuenca oriental del lago Hawassa”. Este estudio tuvo como objetivo determinar el Índice de calidad y examinar su idoneidad para diferentes usos del agua. Se recolectaron muestras de agua en las estaciones seca y lluviosa para capturar la influencia de la variación estacional. Los indicadores de calidad del agua (pH, conductividad eléctrica (CE), temperatura, sólidos disueltos totales (TDS), turbidez, sólidos suspendidos totales (TSS), nitrato, fosfato y amoníaco) se analizaron en el laboratorio y se empleó el método del índice aritmético ponderado. para determinar el índice de calidad. El índice de calidad del agua (WQI) mostró un valor más alto de 870,3 y 1,313 para las temporadas seca y lluviosa, lo que indica que el agua no es apta para el uso humano y el estado del cuerpo de agua es hipereutrófico. Otro estudio relacionado con actividades de pequeña minería artesanal fue reportado por Pari-Huaquisto *et al.*, (2020).

Zotou *et al.* (2020) presenta el estudio “Evaluación de la calidad del agua de una masa de agua lacustre en el Mediterráneo basada en diferentes metodologías de

índice de calidad del agua (WQI)”. El objetivo final del estudio de funcionar como un primer paso en la investigación de la aplicabilidad de los WQI examinados en cuerpos de agua lacustres mediterráneos. Se examinaron los siguientes WQI: Prati pollution Index, Bhargava Index, WQI de Oregon, second Genius Index, Weighted Arithmetic Index, Council of Ministers of the Environment of Canada (CCME) y el Consortium National Sanitation Foundation (NSF) WQI, utilizando parámetros fisicoquímicos. medido en el lago artificial mensualmente desde junio de 2004 a mayo de 2005. Los resultados mostraron que, sobre la base de su respuesta comparativa, los índices examinados se agrupan en tres categorías. Específicamente, Los índices NSF y Bhargava clasificaron la masa de agua examinada en clases de calidad más alta, Prati y Dinius en media, mientras que CCME y Oregon lo clasificaron en clases de calidad más baja. Se demostró que las WQI son extremadamente útiles en la evaluación de la calidad del agua. Se encontró que la mayoría de ellos eran adecuados para representar las condiciones y tendencias de la calidad del agua en un cuerpo de agua lacustre en el Mediterráneo y, por lo tanto, presentan un alto potencial para ser adoptados a nivel de la Unión Europea y ayudar en la implementación de la Directiva Marco del Agua (DMA)

Durán (2019) en el estudio “de la evaluación de calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos, 2016” Se investigaron los parámetros físicas, químicas y microbiológicas de diversos ríos de Colombia y se determinó el índice de calidad de agua (IQA) de los ríos estudiados. Se encontraron altos niveles de turbiedad y sólidos disueltos totales (SDT) sugiriendo que el agua de los ríos de Colombia no posee condiciones óptimas para la reproducción y crecimiento de diversos organismos acuáticos. Además, también se encontraron altos niveles de coliformes fecales, asociado con la existencia de vertimientos de aguas residuales, indicando que gran parte del agua de los ríos de Colombia, no es apta para consumo humano. Además, el índice de BMWP/Col. correspondió a aguas ligeramente contaminadas y el Índice de calidad de agua (IQA) sugirió un recurso hídrico altamente contaminado, existiendo congruencia entre los dos índices anteriormente mencionados y algunas variables fisicoquímicas y biológicas, que presentaron valores superiores a los permisibles establecidos por la normatividad colombiana.

Montoya & Acosta (2011) en el estudio “evolución de la calidad del agua en el río negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ica, el bmwp/col y el aspt” La meta de este trabajo es confrontar los resultados obtenidos en el estudio del río Negro llevados en el 2002 con los del 2007, usando el BMWP/Col, el ASPT, el índice de diversidad (H') y el índice ICA, para dar el cambio del sistema en el tiempo, ver el nivel de contaminación en que se localizan los diferentes recorridos del río y conocer la evolución de la estructura de macro invertebrados acuáticos a lo largo del recorrido del río relacionado a la contaminación. Los parametros fisicoquímicas demuestran una mejora de las condiciones de calidad del agua durante el segundo muestreo, en cada una de las campañas a lo largo de su recorrido, esto es evidencia de la capacidad de recuperación de las aguas del río. Las variables con mayor realce fueron la turbiedad, los sólidos totales, los nutrientes, la temperatura del agua y el oxígeno disuelto, sin embargo, no se vio relación con los índices biológicos y químicos evaluados. El ICA presento diferencias significativas en el gradiente horizontal, observando una disminución de la calidad y de la biodiversidad de macroinvertebrados, aunque se evidencia un mejoramiento de las condiciones del río entre el 2002 y el 2007.

Sutadian *et al.* (2016) presenta el estudio que tiene como objetivo hacer una contribución significativa al desarrollo de futuros WQI de río mediante la revisión de 30 WQI existentes en los cuatro pasos necesarios para desarrollar un WQI. Estos pasos son la selección de parámetros, la generación de índices, la ponderación de parámetros y la agregación para calcular el valor del índice final. De los 30 WQI evaluados, 7 fueron identificados como los más importantes por su mayor uso y fueron analizados en detalle. Cabe señalar que un factor importante que influye en el uso generalizado de WQI es el apoyo de los gobiernos y las autoridades para implementar WQI como una herramienta clave para evaluar la condición de los ríos. Debido a la gran subjetividad e incertidumbre involucrada en las etapas de desarrollo e implementación de WQI, le recomendamos que busque el asesoramiento de expertos locales en calidad del agua, especialmente durante los tres primeros pasos (mediante técnicas como el método Delphi). También se debe tener en cuenta que los análisis de incertidumbre y sensibilidad rara vez se realizan para reducir la incertidumbre y, por lo tanto, se recomienda dicho análisis para estudios futuros.

Perrin *et al.* (2018) de este estudio fue verificar si estos índices son apropiados para ríos discontinuos en climas áridos y semiáridos. Una revisión de la literatura permitió comparar 25 indicadores de calidad del agua para distinguir su capacidad para evaluar las variaciones espaciales (entre y dentro de la cuenca) y temporales (condiciones de flujo) (altas y bajas) en la calidad del agua de tres ríos mediterráneos discontinuos: el río Vène (Francia) y el río Oued Fès Sebou (Marruecos). El análisis de conglomerados jerárquicos identificó grupos de WQI con un comportamiento similar y marcó los 6 indicadores más distintivos. Independientemente de las condiciones hidrológicas de los dos sitios, los índices ME-MCATUHE y NCS, desarrollados para Marruecos y Grecia, y los índices CCMEWQI y BCWQI, desarrollados para zonas no áridas o semiáridas, dieron resultados satisfactorios. . evaluación de la calidad del agua.

Cristina *et al.* (2010) en el estudio “Modelación índices de calidad de agua (ica) en la cuencas de la Región Conare” maneja la técnica propuesta por el laboratorio de Calidad Ambiental del IDEAM, y mejorada para adaptarlos las condiciones de la región. En el Río Negro, se probó que los indicadores de calidad del ICA aumentaron entre 0.49 a 0.90, clasificando la calidad del agua de la cuenca en mala, moderada y buena. Las tasas más bajas se encontraron luego de las descargas de aguas residuales de los municipios de Guarne, Marinilla, El Santuario, La Ceja y El Carmen de Viboral, afluentes del Río Negro. Para el índice General de calidad ICAg, los valores oscilan entre 0.39 y 0.82 y de igual manera clasifican la calidad del agua del Río en mala, moderada y buena definida en varios puntos de calidad ligeramente inferior debido al caudal. Para las cuencas distintas a Río Negro se realiza el cálculo de criterios de calidad físico-química únicamente, las cuencas van desde 0.589 y 0.980, clasificando la calidad en categorías de media, buena y excelente, lo que sugiere que son fuentes caracterizadas por un importante rebote natural y por encima del cual la presión es menor que la que se presenta en el Río Negro.

Torres (2009) en su estudio del “Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico, 2009” El índice de calidad de agua a considerado once constituyentes como : coliformes fecales, pH, DBO₅ días, el oxígeno disuelto, los nitratos, el fósforo total, el nitrógeno de amonio, los sedimentos suspendidos, mercurio, plomo y la temperatura, los cuales fueron determinados mediante la evaluación de un grupo de expertos en la calidad de agua. Se realizaron varios

análisis, incluyendo dos análisis provisionales, de las estaciones ubicadas en el Río Grande de Añasco. El análisis muestra cómo se produce los cambios en la calidad del agua a lo largo del tiempo, lo que permite inferir pautas para la degradación o recuperación del río donde se ubican estas estaciones. Se concluyó que ambas estaciones poseen un ICA en estado de alerta. Usando los datos de calidad de agua y las características físicas de la cuenca entre las dos estaciones del USGS, se llevó a cabo un análisis espacial en el cual se determinó el ICA según la variación de los constituyentes a lo largo del tramo de río entre ambas estaciones. Esta prueba sirvió para especificar cómo la aportación de cada tributario afecta la calidad del agua. También se efectuó una evaluación del ICA en varias cuencas de Puerto Rico para un mismo año y, de esta forma, poder visualizar la variación de la calidad del agua a través de las cuencas en Puerto Rico. Se espera que este ICA desarrollado se pueda utilizar en el futuro como herramienta para informar al público la calidad del agua en los ríos de Puerto Rico y para establecer prácticas de manejo adecuadas en las diferentes cuencas de la Isla.

Chavez (2015) en su estudio de la “Evaluación espacial y Temporal del Índice de calidad del agua del río Cazonos en Coatzintla, Ver” en México, con el objetivo de Evaluar espacial y temporalmente el índice de calidad del agua tomando como base los parámetros físico-químicos y bacteriológicos del río cazonos dentro de los límites del municipio de Coatzintla, Ver., durante el periodo comprendido de abril de 2013 a marzo 2014. Se obtuvieron resultados que indicaron que Los anteriores estudios en comparación con este estudio reflejaron una disminución del índice de calidad, concluyendo que se ha presentado un deterioro en el recurso hídrico en los últimos años. Los parámetros con mayor influencia sobre el índice de calidad del agua del río son los sólidos disueltos totales, la turbiedad y los coliformes fecales. De acuerdo con el índice de Brown-NSF indica “Calidad Media”

En su estudio de “Variación espacio-temporal de la calidad del agua del Golfo de Morrosquillo. Durante el año 2013” los niveles más altos de semáforos fecales se registraron en octubre durante la estación húmeda y en marzo durante la estación seca, debido al aumento de las precipitaciones y al aumento del caudal de los ríos y arroyos, a la bahía de Morrosquillo. Sin embargo, al integrar la valoración de variables fisicoquímicas y microbiológicas, a través del índice de calidad del agua, se determinó que las condiciones del cuerpo de agua se clasifican en moderadas y

buenas, relacionadas con la calidad del agua, la estación climática y la cercanía de costas. localidades como Tolú y Coveñas; destaca los cambios en la calidad debido a la escasez de saneamiento público o cambios en la entrada continental del río Sinú, y destaca la distancia de los nutrientes y las características del agua (concentraciones de sólidos suspendidos, recuentos de coliformes totales y fecales, salinidad, oxígeno disuelto, temperatura y transparencia).

Peñañiel (2014) en cuanto al estudio de “la calidad del recurso hídrico del río Tomebamba por medio del índice ICA” en Ecuador, con la meta de formar sus viables usos en los sitios definidos y conceptualizar los dilemas de control de la contaminación, que precisamente se debieron realizar. Así mismo se obtuvieron resultados que demuestran el estado del agua del río para así obtener el valor de nitrato tan alto como 0.26 y 0.33 mg/L, como nitrógeno amoniacal (3.1 mg/L), sólidos disueltos es 186 mg/L, DBO₅ es 10.12 mg/L, y el valor de pH mas alto se establece en 7.92, oxígeno disuelto que es el valor mínimo, es de 4.41 mg/L y también se obtuvieron valores sobresalientes de Coliformes fecales de 1,1E+07 NMP/100ml registrados proporcionalmente. Se encontró un valor alto de fosfato de 21.24 mg/L (PO₄) en su caudal máximo registrado en Julio, mientras que el mínimo fue de 0.34 mg/L en un caudal medio.

1.2.2. A nivel nacional

Choque *et al.* (2021) en un estudio del “índice de calidad de agua en la microcuenca altoandina del río Chumbao, Andahuaylas, apurimac, peru”. El objetivo fue identificar ICA en la subcuenca altoandina del río Chumbao, Andahuaylas, Perú. ICA Dinius se evaluo teniendo en cuenta indicadores como los niveles de oxígeno OD y DBO₅; el nivel de eutrofización (NO₃- y PO₄-); las propiedades físicas como temperatura, turbidez, color y STD; solubilidades como alcalinidad, dureza, pH, conductividad y cloruros, y parámetros microbiológicos como E. coli y coliformes totales; se muestrean dos puntos de préstamo y ocho puntos lógicos durante la temporada de inundaciones. Los resultados se realizaron por triplicado y se analizaron en el programa ANOVA, la prueba de Tukey y la correlación de Pearson en el nivel de significación 5.

Se observó que el uso sobresaliente del agua del río es para agricultura, pastoreo y la urbanización; el ICA está clasificado en tres categorías: Excelente (M1, M2, M3, M4

y M5), próximos a la cabecera de la microcuenca y los puntos lénticos (lagunas de Pampahuasi y Paccoccocha); Aceptable (M6); y Excesivamente contaminado; los puntos M7 y M8 fuera de la zona urbana aguas abajo ($p\text{-value} < 0.05$) presentan buena correlación negativa con los parámetros de estudio. En conclusión, el agua en áreas escasamente pobladas es buena.

Guerrero *et al.* (2021) en el estudio “Calidad de agua de uso agrícola en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú”. su principal meta es establecer la calidad del agua y su uso continuo para la agricultura en la cuenca media del río Jequetepeque del Perú. Se determinaron seis estaciones de muestreo. Se fijaron las características físico-químicos, los bacteriológicos y el índice RAS. Los recursos hídricos en esta zona de estudio se encontró entre de los estándares de calidad de agua D.S. N°004-2017-MINAM, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, y D1: Riego de vegetales, esto nos indica que el agua puede ser usada sin impedimentos para uso agrícola. Es importante indicar, que la referencia a la evaluación bacteriológica, que los valores promedio de coliformes termotolerantes sobrepasaron los estándares de calidad de agua a 1 000 NMP/100 ml esto debido a las aportaciones o vertimientos de origen doméstico.

Torres (2016) en su estudio “Distribución Espacio –Temporal de la contaminación del agua del río Chumbao Andahuaylas, Apurímac, Perú. 2011-2012. Se obtuvieron resultados que indicaron que la variable de oxígeno disuelto resulto el índice de calidad más bajo (5) siguiendo la variable de Fosfatos (9) y el pH el más alto con (76) al igual que DBO con valor de 64. Los índices de calidad se establecen en indicadores de contaminación para el río Chumbao, y esto en un instrumento que permite la identificación del deterioro o mejora de un cuerpo de agua. En general, el gradiente de las propiedades hidrológicas, físicas, químicas y biológicas registradas evidencian un serio deterioro ambiental del río Chumbao por contaminación.

1.2.3. A nivel regional

Ticllacuri (2014) en el estudio “Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río Rímac (riego), de enero a agosto del 2011, en tres puntos de monitoreo, 2014” se utilizan datos obtenidos por DIGESA y SEDAPAL desde 2011 para estudiar la calidad espacio- temporal del agua de riego a través de dos índices de calidad (NSF WQI-USA y CCME WQI-Canadá) y el uso de dos indicadores de calidad (NSF

WQI-USA y CCME WQI-Canadá) métodos estadísticos. También se tuvo en cuenta el análisis de componentes principales, los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECA para el agua). Con el NSF WQI la mejor (buena) calidad del agua se encontró en la parte alta del área de estudio en ambas estaciones y en la parte baja se estableció un ambiente bueno a moderado. Con el CCME WQI, las dos estaciones anteriores muestran el nivel de calidad del agua de regular a bueno; y el más bajo, entre aceptable y excelente. A lo largo del año, en época de crecimiento y en época seca, algunas de estas variables se ordenan alto y favorable, debido a que pueden derivar de dos orígenes idénticos: la primera fuente antrópica donde existe actividad minera como la ciudad descarga de fuentes vecinas. Pueblos; y segundo, de origen natural con propiedades de suelo únicas. Otras cuantificaciones muestran una mayor similitud en los meses de la estación seca. Esto se debe a las peculiaridades del río con caudales regulados en esta zona, el aporte de las minas y la pendiente de la ciudad, que sugieren un mayor impacto de los recursos hídricos superficiales durante la época de lluvias secas. Otras cuantificaciones muestran una mayor similitud en los meses de la estación seca. Esto se debe a las peculiaridades del río con caudales regulados en esta zona, el aporte de las minas y la pendiente de la ciudad, que sugieren una mayor afectación de los recursos hídricos superficiales durante la época de lluvias secas.

Pari (2015) en su estudio “de la evaluación de recursos hídricos y superficiales con fines de proyección de la cuenca del río Ilave”, realiza la evaluación espacio temporal del estado real de los recursos hídricos superficiales con el fin de generar las bases para la programación y la gestión integral, con el uso del agua para riego; para así promover su manejo eficiente, razonado y imparcial. Como resultado, el balance hídrico de la subcuenca Alto Ilave del río Chichillapi, aquí presenta escasez de agua durante los meses de octubre y noviembre; y en la subcuenca Conduriri también presenta déficit entre agosto y noviembre, para usos futuros indican escasez de agua en la subcuenca Alto Ilave del río Chichillapi durante los meses de agosto a diciembre; también en la subcuenca Medio Alto Ilave del río Llusta Baja durante el mes de octubre, así como en la subcuenca Uncallane durante los meses de mayo a diciembre, en otras subcuencas no hay escasez de recursos hídricos.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema

2.1.1. A nivel internacional

En los últimos años, el rápido desarrollo y expansión de las ciudades ha provocado daños estructurales y degradación funcional de los canales de los ríos urbanos, la producción industrial, actividades agrícolas, acuicultura y esorrentía de tormentas provocan la descarga de grandes cantidades de contaminantes tóxicos en el agua. La carga contaminante excede la capacidad de carga ambiental del agua, lo que lleva al deterioro de la calidad del agua y a la reducción de la biodiversidad acuática. La contaminación de los ríos urbanos obstaculiza gravemente el desarrollo económico y social sostenible y amenaza la salud humana. Por tanto, es urgente analizar la calidad del agua de los ríos y explorar las causas del deterioro de la calidad del agua para mejorar el entorno hídrico.

2.1.2. A nivel nacional

Los ríos son fluidos naturales que están sometidos al calentamiento global y a sus propiedades específicas de la cuenca, la disposición de sus aguas se altera a lo largo del tiempo esto debido a una mezcla de factores ambientales. Así mismo también intervienen las actividades humanas alterando a veces de manera irreversible, las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua. Y sus primeras fuentes de contaminación son sus descargas de tipo municipal e industrial, luego los flujos de retorno que son generados por las actividades agropecuarias, Un ambiente crítico de este recurso es su insuficiencia, esto debido que en la parte media de la cuenca y la

parte alta se forman las lluvias, se escarnek las riquezas del suelo y su flora, esto debido al sobrepastoreo, la deforestación, la erosión hídrica, y por ende las acciones humanas. El comportamiento del agua en la cuenca depende principalmente de las características de la vegetación, la topografía y los tipos de suelo, así como del momento de la precipitación. Una de las cuencas más decisivas del país es la del río Rímac. Las fuentes de agua del río Rímac son importantes porque se utilizan para la potabilización y el consumo humano y se consideran del grupo 1: residencial y recreativo; subtipo A2, agua que es potable por tratamiento convencional, aprobada por D.S. N° 002-2008-MINAM aplica la Norma Nacional de Calidad Ambiental del Agua, (ECA del Agua). Además de sus usos primarios para agua potable y generación de electricidad, su agua satisface las necesidades de uso agrícola de las áreas de cultivo que aún existen en el valle. En este sentido, se añade la Categoría 3a: ECA Riego de Verduras.

2.1.3. A nivel regional

La contaminación del lago Titicaca se ve afectada permanentemente por los vertidos municipales e industriales al río y de forma continua en los últimos años sobre el río Ilave. Los principales tipos de contaminación que ingresan a este río son las aguas residuales municipales, el punto más grave con altos niveles de contaminación es la laguna oxidante del condado de Ilave, que descarga aguas residuales continuamente al río Ilave sin pasar por ningún proceso. causando eutrofización, enriqueciendo fuertemente algunos nutrientes como (Fósforo y Nitrógeno) en el agua, provocando el crecimiento de algas.

El nacimiento de agua del río Ilave es muy importante porque se toma directamente para beber y se distribuye a los humanos porque se clasifica como residencial y recreativo 1; clasificación A2, agua que es potable por tratamiento normal.

La dificultad del recurso hídrico está en que si hay exceso de nutrientes se desarrolla en abundancia las plantas y otros organismos. Más adelante, cuando mueren, se pudren y llenan el agua de malos olores, dándoles un aspecto nauseabundo y disminuyendo drásticamente su calidad.

Por tanto, es urgente analizar la calidad del agua de los ríos y explorar las causas del deterioro de la calidad del agua para mejorar el entorno hídrico.

2.2. Enunciados del problema

Para la apreciación del río Ilave y sus tributarios se ha considerado evaluar a los parámetros físico, químico y biológico que son los siguientes:

- pH
- Conductividad
- Nitritos
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)
- Arsenico
- Cadmio
- Cobre
- Cromo
- Hierro
- Manganeso
- Mercurio
- Plomo
- Zinc
- Coliformes termo tolerantes

2.2.1. Problema general

- ¿Cómo es el comportamiento espacio temporal de la calidad del agua de la Cuenca del Río Ilave y sus tributarios?

2.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el comportamiento espacial del flujo de concentraciones de los diferentes parámetros de la calidad del agua en la cuenca del río Ilave, a medida que avanza en su recorrido?

- ¿Cuál es el comportamiento temporal de la calidad del agua en el tiempo en la cuenca del río Ilave y sus principales tributarios?
- ¿Cuál será la calidad del agua de la cuenca del río Ilave y sus tributarios al ser evaluados mediante el índice de calidad de agua

2.3. Justificación

La razón de su gran valor que se tiene el conocer la calidad del agua en la cuenca del río Ilave, es que este estudio concentrará sus esfuerzos en verificar una valoración de índice de calidad de agua en toda la cuenca del río Ilave, los análisis realizados de la evolución en el espacio y el tiempo del agua del río Ilave y sus tributarios, es mediante una estimación físico química y microbiológica, esto servirá para poder conocer los datos con cierto grado de proximidad y así ver el nivel de contaminación de las aguas en la cuenca del río Ilave desde sus nacientes del río hasta su desembocadura al lago Titicaca, identificando los vertimientos poblacionales, industriales y mineros, con una finalidad de proporcionar la información a los tomadores de decisión o autoridades competentes para que puedan efectuar un control eficiente de los estándares de calidad ambiental, dados de alta de las diversas actividades que se desarrollan en el área de la cuenca del Ilave, y así tomar las medidas necesarias para mejorarla.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo general

- Evaluar el comportamiento en el espacio y el tiempo de la calidad del agua en la cuenca del río Ilave y sus tributarios

2.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la variación de los parámetros físico químico en el espacio temporal en las aguas de la cuenca del río Ilave y sus tributarios.
- Determinar la variación de los contaminantes biológicos en el espacio temporal en las aguas de la cuenca del río Ilave y sus tributarios.
- Evaluar la calidad del agua en la cuenca del río Ilave mediante índices de calidad de agua.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

- La calidad del agua de la cuenca del río Ilave tiene un comportamiento espacio temporal estable con tendencia creciente en dirección aguas abajo.

2.5.2. Hipótesis específicas

- El análisis espacial de la calidad del agua en la cuenca del río Ilave permitirá conocer su calidad a medida que avanza en su recorrido.
- El comportamiento temporal de la calidad del agua en la cuenca del río Ilave permitirá conocer su aceptabilidad en el tiempo en la calidad del agua del río Ilave.
- Los índices de calidad de agua evaluados mostrarán que las aguas del río Ilave presentan una calidad entre aceptable e inaceptable.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio

La tesis se desarrolló en el Departamento de Puno, en la Cuenca del río Ilave, evaluando el comportamiento de la calidad de agua de la cuenca Ilave en los periodos comprendidos entre los años 2015 al 2020, tomando como base de datos a los monitoreos participativos

3.2. Población

Los registros de resultados de parámetros analizados, de los monitoreos colaborativos realizados por la Autoridad Nacional del Agua, según se describe en el numeral 3.1. elaborados a la cuenca del río Ilave.

3.3. Muestra

Es una Información secundaria seleccionada de los monitoreos colaborativos realizados en seis años hidrológicos, periodo 2015 al 2020, en los puntos de monitoreo establecidas, que se muestran a continuación:

Tabla 3

Red de estaciones de monitoreo de la calidad del agua superficial del rio Ilave y sus tributarios

N °	Pto. de Monitoreo	Descripción	Coordenadas UTM- WGS84 Zona 19		Altura (msnm)
			Este	Norte	
01	Rchil	Rio Chilisaya después del puente	422981	8146795	
02	Rcond	Rio Conduriri, aguas arriba del puente conduriri	423951	8162149	
03	Rmall	Rio Malcomayo	390632	8233569	3977
04	R.Grand3	Rio Aguas caliente, antes de la confluencia del rio Ilave	422536	8207708	
05	R.chic	Rio Chichillapi, antes de la confluencia del rio Llusta	423206	8128090	3842
06	R.huen1	Rio Huenque, antes de la confluencia con el Rio Conduriri	426168	8150814	
07	R.Huen	Rio Huenque, antes de la confluencia con el rio Ilave	422563	8207671	
08	RIlav0	Rio Ilave después del centro poblado Chijichaya	426070	8213160	
09	RIlav3	Rio Ilave, aguas abajo del camal municipal	434043	8228760	
10	RIlav4	Rio Ilave, a 2Km antes del ingreso	451660	8228760	

Fuente: Elaboración SDGCRH-ANA-2017 (MINAGRI & ANA, 2017).

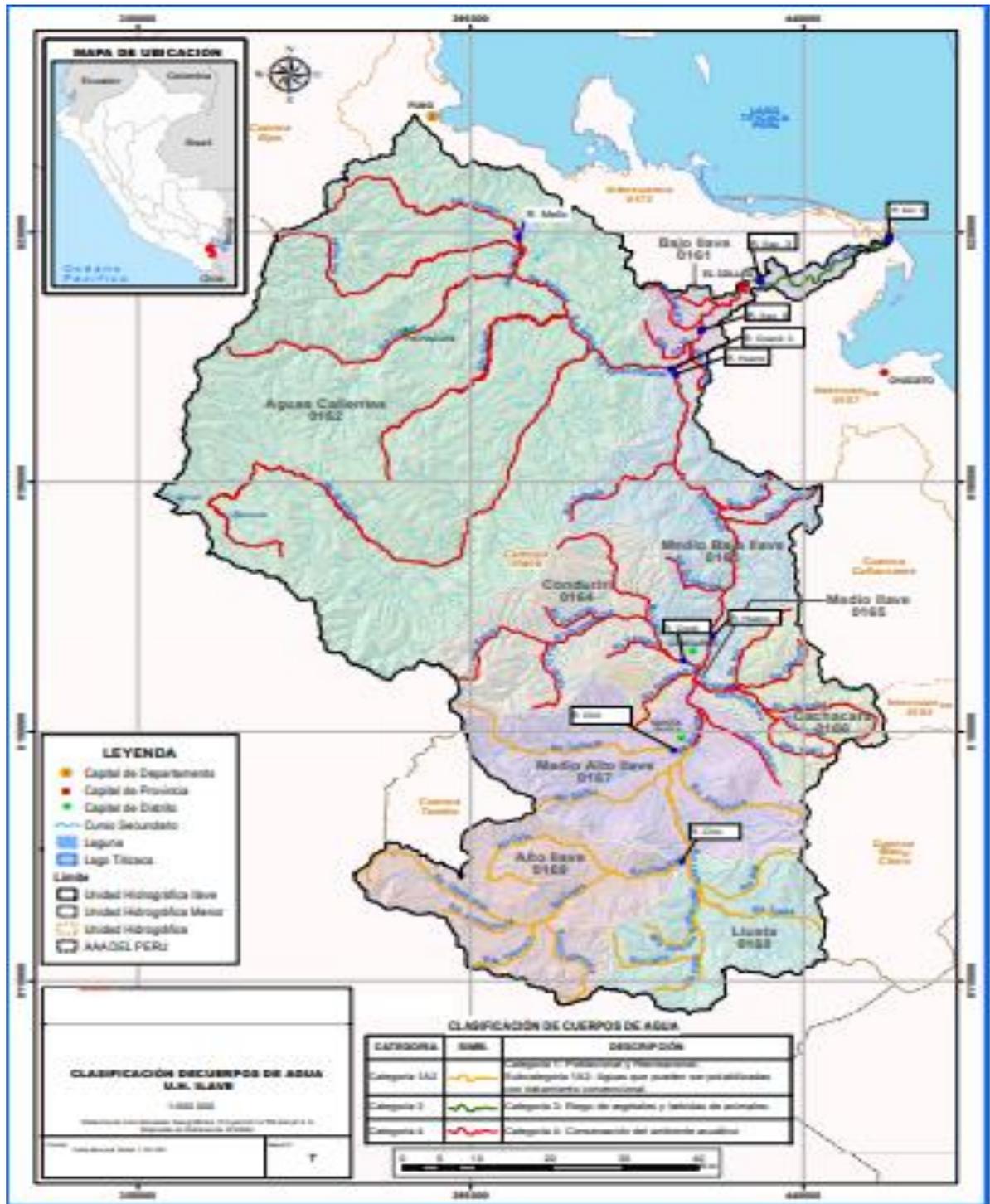


Figura 1. Esquema de la red de estaciones de monitoreo de calidad del agua del río Ilaye y sus tributarios

Fuente: Elaboración (MINAGRI & ANA, 2017)

3.4. Métodos de investigación

3.4.1. Tipos de Investigación

Aplicada

3.4.2. Diseño de Investigación

No experimental, transaccional explicativo causal

3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

Compilación de la Información: El trabajo se efectuó a partir de la compilación de información secundaria formada por la Autoridad Nacional del Agua por los trabajos ejecutados de la aplicación de los instrumentos de gestión de la calidad de los recursos hídricos como son la identificación de fuentes contaminantes en el contorno de la cuenca del río Ilave y de los monitoreos representativos de la calidad de las aguas superficiales del río Ilave (ver tabla 3.2).

Tabla 4

Relación de Informes de monitoreos

Monitoreos de calidad de agua	Fuente de información
I Monitoreo (ANA octubre, 2015)	Informe N°031-2016-ANA-AAA.SDGCRH.TIT
I Monitoreo (ANA marzo, 2016)	Informe N° 112-2016-ANA-AAA.SDGCRH.TIT.
II Monitoreo (Setiembre, 2016)	Informe N° 198-2016-ANA-AAA.SDGCRH.TIT.
I Monitoreo (ANA agosto, 2017)	Informe N° 139-2017-ANA-AAA.SDGCRH.TIT.
II Monitoreo (ANA diciembre, 2017)	Informe N° 182-2017-ANA-AAA.SDGCRH.TIT.
I Monitoreo (ANA abril, 2018)	Informe N° 052-2018-ANA-AAA.TIT-AT/HLH
II Monitoreo (ANA, 2018)	Informe N° 101-2018-ANA-AAA.TIT-AT/HLH
I Monitoreo (ANA marzo, 2019)	Informe N° 033-2019-ANA-AAA.TIT-AT/HLH
II Monitoreo Setiembre 2019	Informe N° 000-2019-ANA-AAA.TIT-AT/HLH
I Monitoreo (ANA marzo, 2020)	Informe N° 036-2020-ANA-AAA.TIT-AT/HLH
II Monitoreo (ANA octubre, 2020)	Informe N° 123-2020-ANA-AAA.TIT-AT/HLH

3.5.1. Evaluación de la variación de los parámetros físico químicos en el espacio – temporal de los parámetros seleccionados.

Para la evaluación espacial, se realizaron los resultados del monitoreo de la estación (ver tabla N° 03), en el programa Excel ver Anexo 5. Luego de los resultados calculados se procedió los índices descritos en el punto 1.1.4.

Luego, con los resultados tabulados, se procede a calcular los indicadores descritos en la sección

3.5.2. Evaluación de los Índices de calidad de agua de Río ICA-PE.

En el caso de la evaluación se realizó mediante el ICA PE, de acuerdo al punto 1.1.8 del acápite anterior, se establecen comparando los valores de cada parámetro con un punto de referencia, en este caso la Norma Nacional de Calidad Ambiental del Agua, que es la Categoría 3A: Riego de Vegetales, categoría A1 y la Categoría 3D.

analizando para cada uno de los índices la evaluación es de acuerdo a las tablas de clasificación y así poder verificar en la calidad del agua superficial del río cumple o no cumple con los requisitos de calidad de estos indicadores. Los calculos se muestran en la tabla para cada categoría de Calidad del agua aplicando el Consejo de Canadiense de Ministros del medio Ambiente ICA (CCWE WQI).

Determinando para cada índice la calificación de acuerdo a sus tablas ver Anexo 8,9 y 10 de categorización y así verificando su calidad del agua superficial del rio cumple con los requisitos de calidad de estos indicadores. La clasificación de los cuerpos de agua en el Perú

Según las normas ambientales sobre este tema, la Autoridad Nacional del Agua según Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA, aprobó la Clasificación de Aguas Continentales Superficiales, como una herramienta que contribuye a la protección y conservación de la calidad del agua, en consonancia con la Política Nacional Ambiental, y la Estrategia Nacional y de Recursos Hídricos. Plan de recursos hídricos.

La clasificación de las áreas de aguas superficiales se ha realizado en el espacio de las unidades hidrológicas del Perú, utilizando la norma nacional de calidad ambiental del agua vigente, con el fin de proteger la calidad de los recursos hídricos, en particular, especialmente para el consumo humano (para uso de las personas) y disponibilidad en las actividades productivas nacionales, de acuerdo con las directrices sobre accesibilidad de los recursos, sostenibilidad en el tiempo, conservación, protección de los recursos, legitimidad y consistencia en todo el proceso de clasificación.

La clasificación anterior se ha desarrollado a nivel “semi-detallado” (1:100.000), a través de las pautas y criterios utilizados en la organización de líneas aplicando el Sistema Pfafstetter, teniendo en cuenta los siguientes criterios: Los criterios

hidrológicos entre confluencias de ríos, con excepción de los criterios de poblaciones de puntos de recolección o áreas naturales protegidas, se pueden dividir partes de la naturaleza (ríos, arroyos) en diferentes clases.

Además, conforme al Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, en su artículo 4°, establece que la Autoridad Nacional del Agua es el organismo encargado de asignar categorías a cada cuerpo de agua natural de acuerdo a su condición natural o nivel de sustancia, de conformidad con el marco legal vigente. . En caso de que se identifiquen dos o más categorías posibles para una determinada área de un cuerpo de agua natural, la Autoridad Nacional del Agua determina la categoría aplicable, dando preferencia al uso poblacional ver anexo 1

La norma referida considera las siguientes tres (03) categorías principales:

Categoría 1

Subcategoría A1: Agua que puede ser potabilizado con desinfección.

Subcategoría A2: Agua que es potable por tratamiento normal.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales.

Subcategoría D1: Riego de vegetales

Categoría 4: La conservación del ambiente acuático.

Subcategoría E2: Ríos

La clasificación de las aguas interiores superficiales estima 1134 manantiales, ríos y arroyos principales. En cuanto a las lagunas y lagos a nivel nacional, la mayoría de ellos han sido clasificados en Categoría, a excepción de dos de ellos en la Cuenca del Mantaro. En el caso representativo, la clasificación corresponderá a la fuente de agua donde se ubican, la preferencia de la población a utilizar.

Las fuentes de agua ubicadas en cuencas intercosteras no se tienen en cuenta debido a su estacionalidad. La regla nos dice que los ríos que no están incluidos en esta clasificación alcanzan la clasificación de aguas que son afluentes; salvo análisis y cumplimiento por parte de dicha Entidad.



La cuenca del Ilave está representada por las subcuencas Alto Ilave del río Chichillapi y el río Llusta del río Illusta inferior, así como los ríos Ayupalca, Conduriri y Aguas Calientes, que desembocan directamente en el cauce del río Ilave. y otras unidades hidrológicas como cuencas, esto según la relación de pendientes, en la cuenca del Ilave existen 3244 pendientes, similar en 1836 son manantiales, 1300 son arroyos, 67 son ríos, 27 son bofedales y 14 son lagunas.

Tabla 5

Clasificación de los cuerpos de agua en la Unidad Hidrográfica Ilave

Código Curso	Nombre	Categoría	Longitud (Km)	Código UH
1611	Río Ilave	Categoría 3	31.2	016
0.611	Río Ilave	Categoría 1A2	7.59	016
1613	Río Ilave	Categoría 1A2	3.7	016
1614	Río Zapatilla	Categoría 1A2	14.35	016
1615	Río Ilave	Categoría 1A2	5.54	016
1617	Río Ilave	Categoría 1A2	0.37	016
1619	Río Ilave	Categoría 1A2	5.33	016
1621	Río Aguas Calientes	Categoría 1A2	14.66	016
1623	Río Grande	Categoría 1A2	7.64	016
1628	Río Grande	Categoría 1A2	53.14	016
1631	Río Huenque	Categoría 1A2	17.28	016
1633	Río Huenque	Categoría 1A2	9.98	016
1635	Río Huenque	Categoría 1A2	3.03	016
1637	Río Huenque	Categoría 1A2	14.52	016
1648	Río Chingune	Categoría 1A2	15.06	016
1649	Río Piaque	Categoría 1A2	19.48	016
1659	Río Huenque	Categoría 1A2	1.09	016
1673	Río Huenque	Categoría 1A2	7.79	016
1674	Río Chilisaya	Categoría 4	41.61	016
1675	Río Huenque	Categoría 4	3.77	016
1677	Río Llusta	Categoría 4	2.17	016
1679	Río Llusta	Categoría 4	18.01	016
1681	Río Llusta	Categoría 4	6.05	016
1691	Río Chichillapi	Categoría 4	12.7	016
1692	Río Chila	Categoría 4	32.32	016

Fuente: Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la variación de los parámetros físico-químico en el espacio temporal en las aguas de la cuenca del río Ilave.

En el transcurso de los monitoreos ejecutados por cada año hidrológico, por la ANA 2015-2020 mediante el programa de innovación de la Gestión de los Recursos Hídricos; se concentraron en estación húmeda entendida en los meses de enero a junio y la estación seca que abarca julio a diciembre.

4.1.1. Parámetros de: campo, físico-químico-inorgánicos y microbiológicos evaluados con Cat. 3-D1

La evaluación de resultados de los análisis de las muestras del agua superficial del río:

Ilave y sus tributarios reflejan solamente a los parámetros que exceden con los valores establecidos en la categoría 3-D1 (Riesgo de Vegetales y bebida de animales), establecido en el Art.3° Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM y en concordancia con la Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA. De acuerdo a las tablas del anexo 06 se tiene:

A. Coliformes fecales

Como se observa en las figuras 02 y 03, en los dos puntos de monitoreo del río Ilave. Los parámetros evaluados como: físico-químico, Inorgánicos y microbiológicos, si

cumplen con los estándares de Calidad Ambiental del Agua de Categoría 3-D1, excepto:

En el punto R. Ilav. 3 (2016, 2018, 2019 y 2020) se evidencia los parámetros Coliformes termo tolerantes con un valor de 7000 NMP/100ml, 17000 NMP/100ml en los dos últimos años, y el último año 1700 NMP/100ml, en la época Húmeda.

Los que no cumplen con el ECA-Agua de la categoría 3-D1, por sobrepasar el límite superior de los rangos de: 1000 NMP/100ml de coliformes termo tolerantes.

La afectación por Coliformes termotolerantes, con más de 1 000 NMP/100ml del ECA-3, como lo indica (ANA, 2018), se debe a la contaminación fecal, cuyo origen se debe de los vertidos domésticos sin tratamiento a los cuerpos receptores (ríos, quebradas) y otros de los factores. En el caso del río Ilave (R. Ilav3): (Generación de A.R. Urbano de la ciudad de Ilave) y el vertimiento del Camal Municipal de Ilave, en el punto y en RIlav4 probablemente vinculado a las actividades pecuarias de la zona (crianza de ganado vacuno y ovino), que usan como abrevadero este sector del río Ilave. Los resultados muestran que los recursos hídricos se deteriora por la escorrentía superficial y arrastres del suelo, que afectan sobre su calidad bacteriológica (Pu *et al.*, 2021).

La carga microbiana se precisa en zonas urbanas (en adelante) como los Coliformes totales se acrecientan drásticamente por la disposición de efluentes domésticos así como a la actividad pecuaria cuyos residuos como el estiércol y purines acrecientan los niveles de los coliformes (Choque *et al.*, 2021).

Ocasio (2008), indica, que en estaciones diferentes la densidad de coliformes termotolerantes se incrementa en época de lluvia. Este tipo de contaminación se halla en ambas épocas, lo cual indica que el río arrastra una concentración que acrecienta por la escorrentía pluvial.

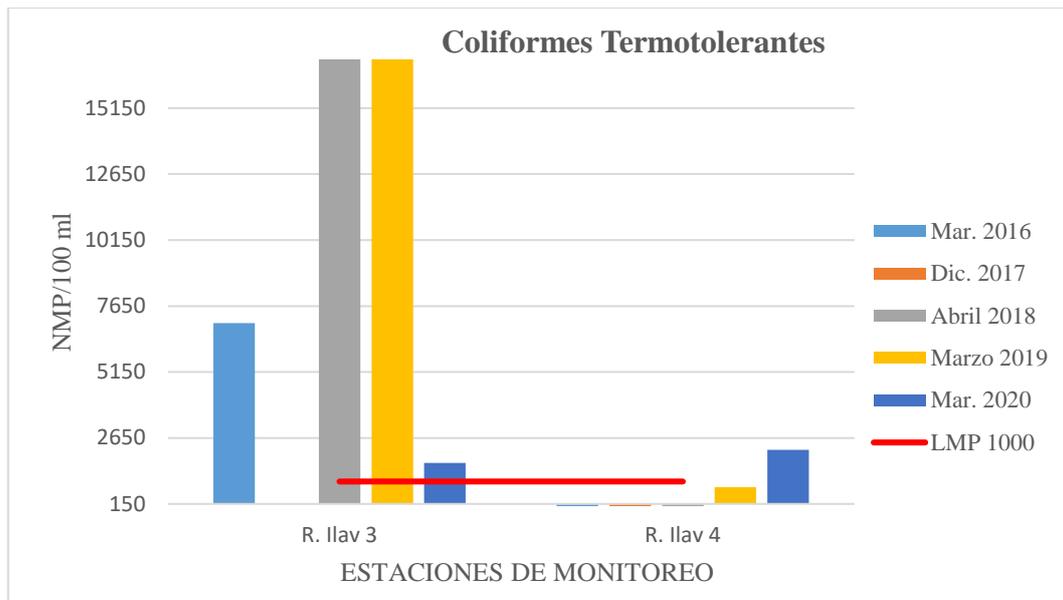


Figura 2. Variación de Coliformes Termotolerantes – época húmeda

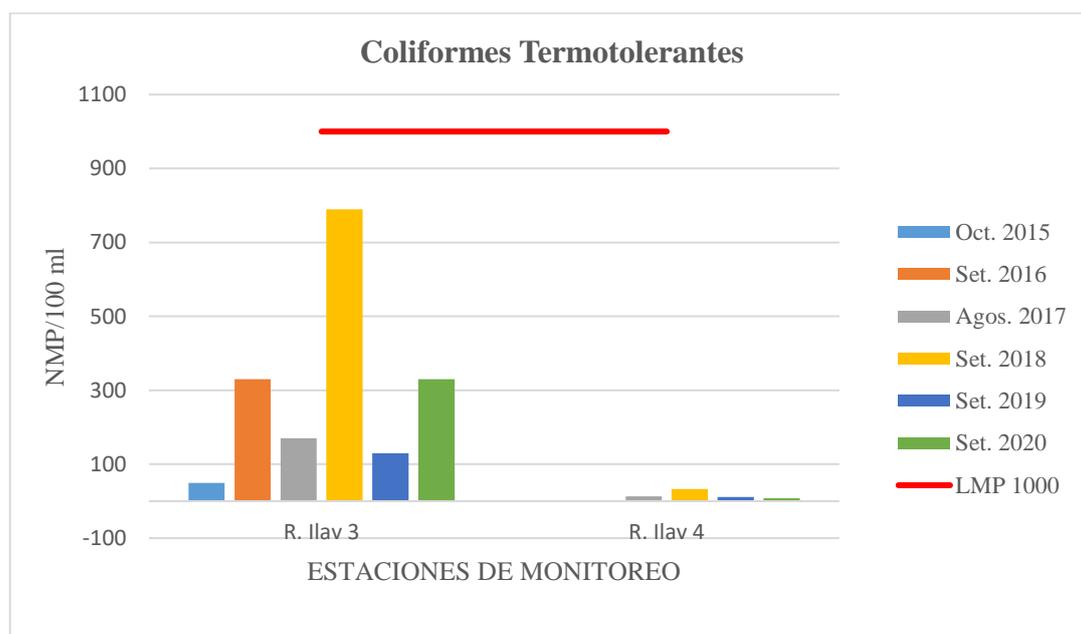


Figura 3. Variación de coliformes termotolerantes – época seca

B. pH

Como se observa en las figuras 04 y 05, en los dos puntos de monitoreo de los ríos: Ilav.3 y Ilav. 4. Los parámetros evaluados como: pH, cumplen con los estándares de la Calidad Ambiental para Agua de la Categoría 3-D1, excepto:

En la época Húmeda, en el año 2016 los dos puntos de monitoreo (8,8 y 8,9) sobrepasan los LMP; en el año 2018, el punto de monitoreo R. Ilav3 (8,9) sobrepasa

los LMP y en el año 2020, los dos puntos de monitoreo (9,6 y 8,57) sobrepasan los LMP.

En la época Seca, el pH se mantiene en la gran mayoría alcalino de los dos puntos de monitoreo, en los seis años, solo el R. Ilav.3 en los años 2016, 2017 y 2018 pasan los LMP con 8,5; 8.1 y 8.5 por último sería el punto R. Ilav4 en el año 2015 con 8,5 está dentro de los LMP de acuerdo al Decreto Supremo 004-2017-MINAM.en el año 2019 y 2020 también sobre pasan los LMP

En el seguimiento de verificados en la cuenca Ilave de los años 2011 y 2012 se a determinado un pH bajo en la jurisdicción del río Santa Rosa con un pH de 5.09 y 5.32 y en el río Chunguruni con un pH de 3.22 y 3.26, estos sitios están situados en las demarcaciones altas, nacientes de la Cuenca Ilave. Los pH(s) altos, se deben a las causas naturales de su acidificación del agua y el aire se debe a la presencia de solidos sulfurados de la corteza terrestre (MINAGRI, 2014). En los lugares de monitoreo como el rio principal constituido por el río Llusta, río Huenque e río Ilave y los importantes tributarios: río Chila, Conduriri, Chilasaya, Blanco y Grande, se registró un pH de 7.00, el cual se debe a la neutralización natural de los cuerpos de agua.

Estos resultados tienen relación con lo que sostiene (Choque *et al.*, 2021), quien encontró en el río Chumbao, Andahuaylas, Apurimac .los valores de pH (P11) donde incrementan levemente aguas abajo; esta diferenciación se debe sobre todo a la actividad antrópica y sustancias alóctonas y autóctonas que se hallan en el cauce del río.

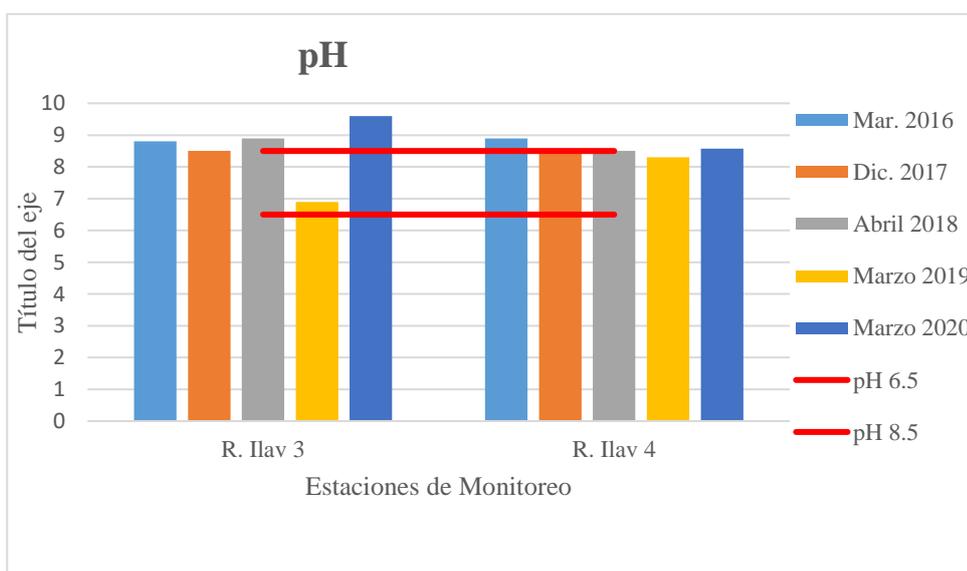


Figura 4. Variación de pH – época húmeda

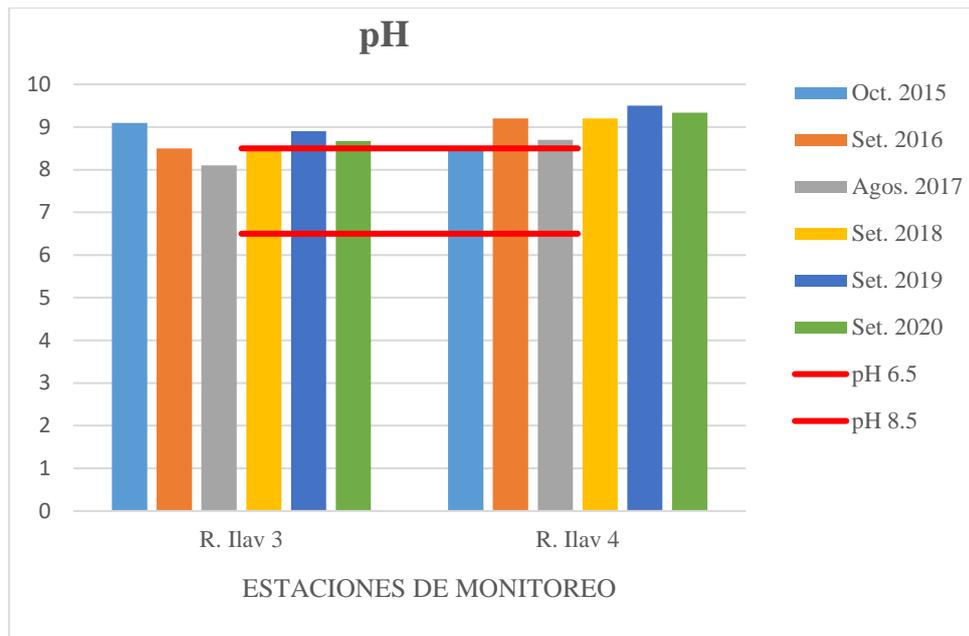


Figura 5. Variación de pH – época seca

C. Manganeso

Como se observa en las figuras 06 y 07, en los dos puntos de monitoreo de los ríos: Ilave 3 y Ilave 4. Los parámetros evaluados son: Manganeso, conforme a los estándares de Calidad Ambiental para Agua de la Categoría 3-D1, excepto:

En la época Húmeda, en el punto R. Ilav3 del año 2017, su valor obtenido es de 0.33013 mg/L, en el punto R. Ilav4 del año 2017, su valor obtenido es de 0.4686 mg/L.

En la época seca, en el punto R. Ilav3 y R. Ilav. 4 del año 2017, los valores obtenidos son 0.36013 mg/L y 0.5988 mg/L.

Los que no cumplen con el ECA-Agua de la categoría 3-D1, por sobrepasar el límite superior de los rangos de: 0.2000 mg/L de Manganeso.

(Gonzales, 2018) en la investigación que realizó sobre estudios y estimación de la calidad de agua para consumo humano y la invitación de la tecnología adecuada para su purificación a escala domiciliaria, de las fuentes de agua de Macasha, evidencia que los valores sobrepasan los ECA-Agua (Mn: 0.3445 mg/L), esto debido a la disolución de rocas y minerales de aguas superficiales.

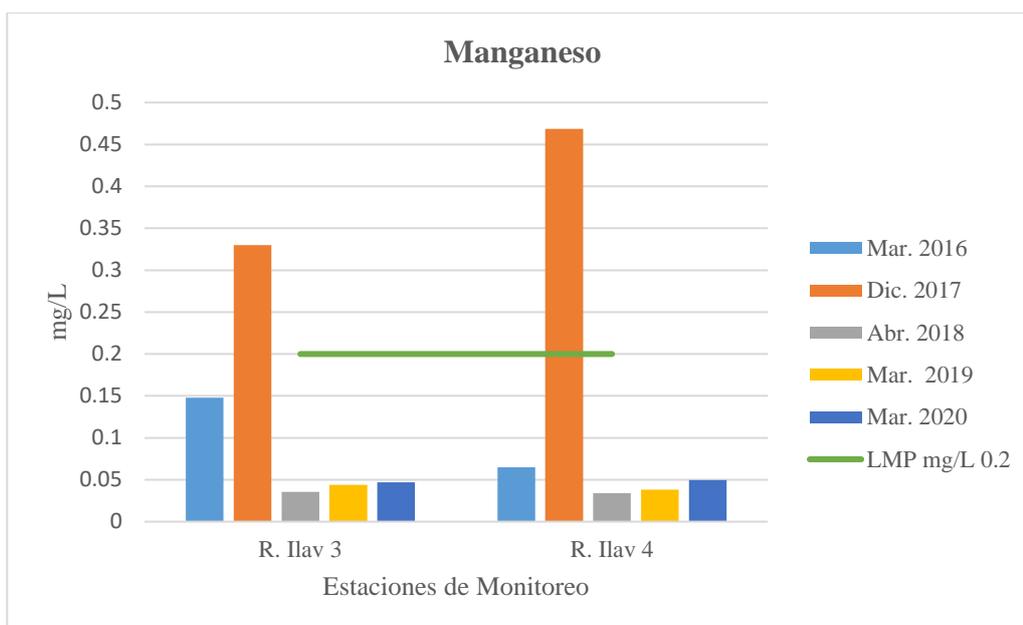


Figura 6. Variación de Manganeso – epoca húmeda

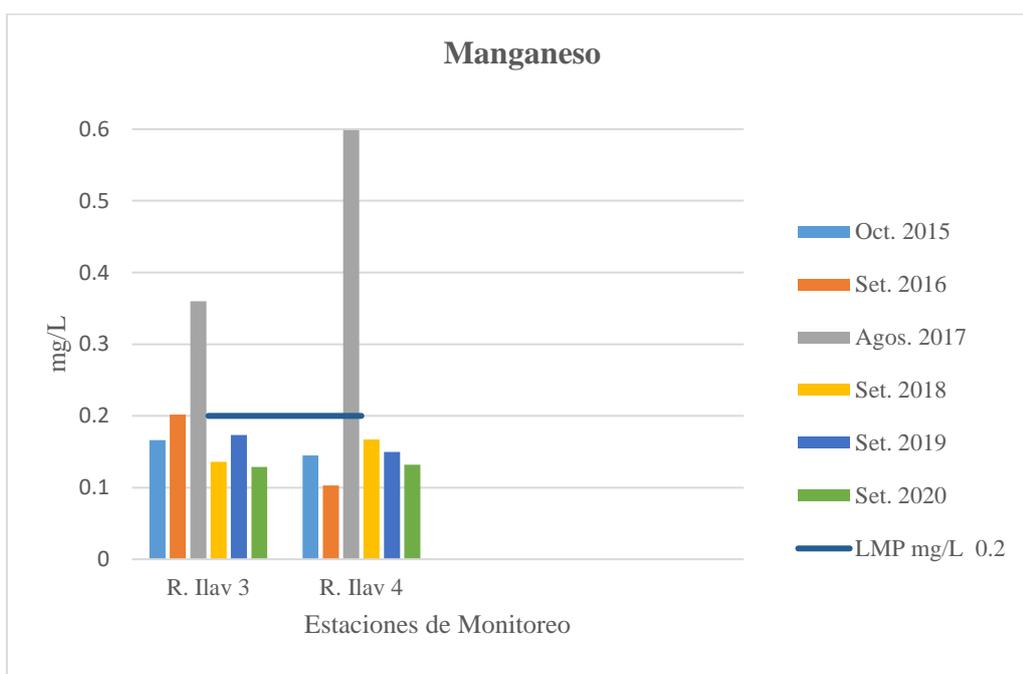


Figura 7. Variación de Manganeso – epoca seca

4.1.2. Parámetros de: campo, físico-químico-inorgánicos y microbiológicos evaluados con Cat. 4-E2

La evaluación de resultados de los análisis de las muestras del agua superficial de los ríos: Chichillape, Huenque y Chilisaya reflejan solamente a los parámetros que exceden con los valores establecidos en la categoría 4-E2 (Conservación del ambiente acuático (ríos)), establecido en el art.3° Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM y

en concordancia con la Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA. De acuerdo a las tablas del anexo 07 se tiene los siguientes resultados:

A. Coliformes Termo tolerantes

Como se observa en las figuras 08 y 09, en los tres puntos de monitoreo de los ríos: Chichillape, Huenque y Chilisaya. Los parámetros evaluados como: Coliformes Termotolerantes, cumplen con los estándares de la Calidad Ambiental para Agua de la Categoría 4 D2, excepto:

En la época seca, el punto R,Chil. Del año 2017, genero un valor de 3500 mg/L.

Los que no cumplen con el ECA-Agua de la categoría 4-E1, por sobrepasar el límite superior de los rangos de: 2000 NMP/100 ml.

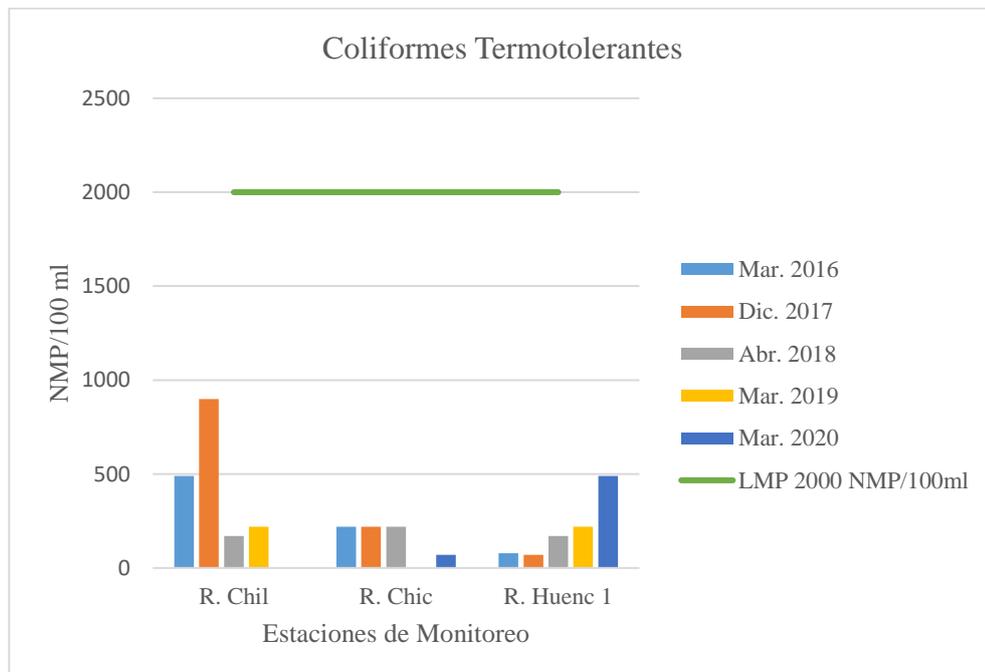


Figura 8. Coliformes Termotolerantes – época húmeda

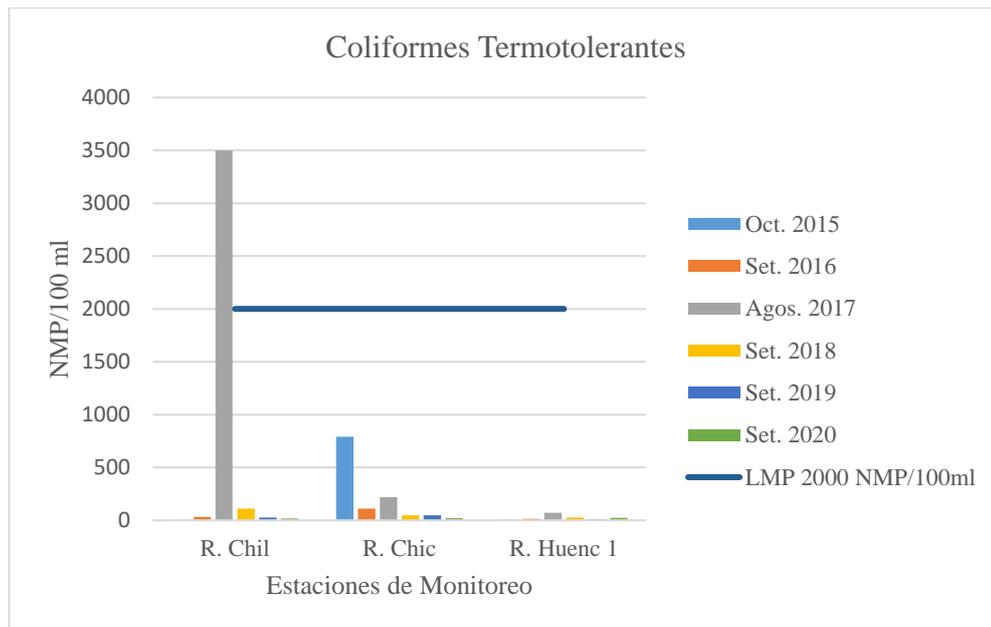


Figura 9. Variación de Coliformes Termotolerantes – época seca

B. pH

Como se observa en las figuras 10 y 11, en los tres puntos de monitoreo de los ríos: Chichillape, Huenque y Chilisaya. Los parámetros evaluados como: pH, cumplen con los estándares de la Calidad Ambiental para Agua de la Categoría 4-E2, excepto:

En la época húmeda y seca los tres puntos cumplen con los LMP.

Los que no cumplen con el ECA-Agua de la categoría 4-E1, por sobrepasar el límite superior de los rangos de: 6,5 a 8,5.

El potencial de hidrogeniones (pH), en los cuerpos de agua tributarios evaluados muestra un comportamiento con el 81% de puntos de muestreo afectados por pH básico por encima del valor máximo del rango establecido en las 3 categorías (8,5) con que se evalúan. Solamente el río Huenque (RHuen1), el río Chilisaya (RChil) y el río Conduriri (RCond) presentan valores dentro del rango aceptable. En el ámbito evaluado, se evidencia una tendencia de ligero incremento desde la parte alta hacia la parte baja.

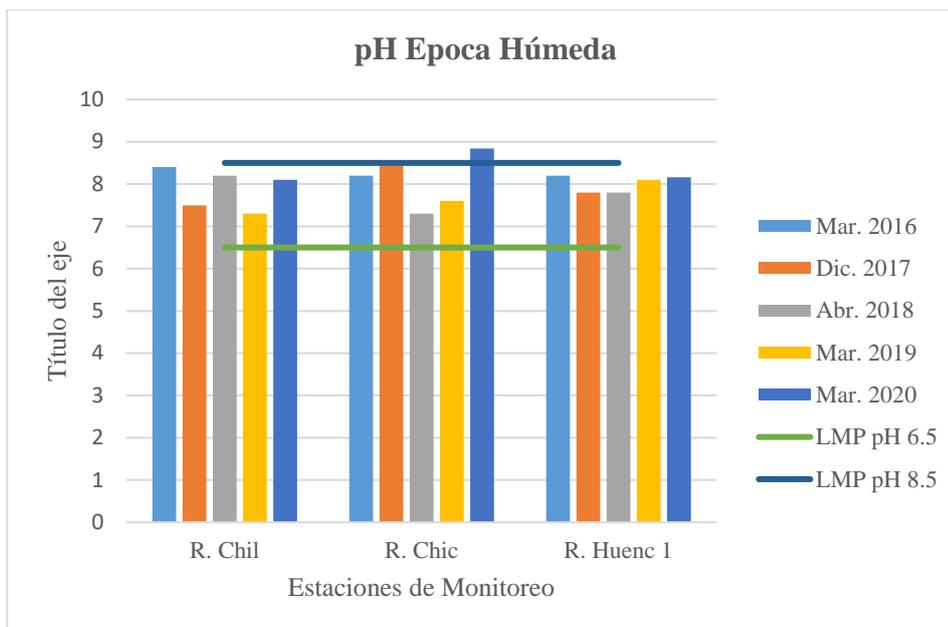


Figura 10. Variación de pH – época húmeda

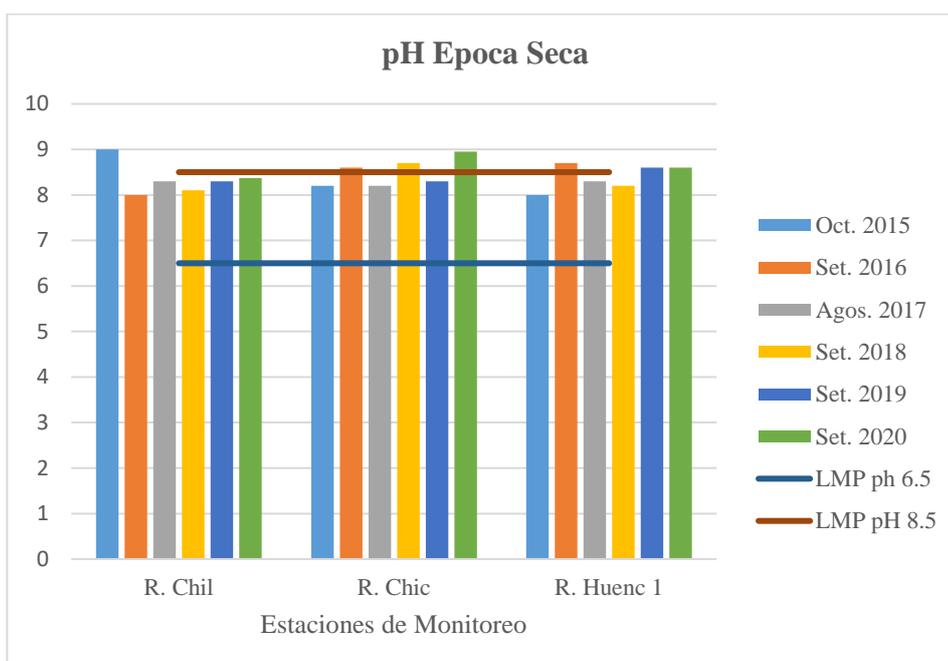


Figura 11. Variación de pH – época seca

4.1.3. Parámetros de: campo, físico-químico-inorgánicos y microbiológicos evaluados con Cat. 1-A1

La evaluación de los resultados de los análisis de las muestras del agua superficial de los ríos: Mallcomayo y Grande reflejan solamente a los parámetros que exceden con los valores establecidos en la Categoría 1-A1 (Poblacional y recreacional aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección), estableciendo en el art.3° Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua del Decreto Supremo N°

004-2017-MINAM y en concordancia con Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA.

De acuerdo a las tablas del anexo 05 se tiene los siguientes resultados:

C. Coliformes termotolerantes

Como se observa en las figuras 12 y 13, en los cinco puntos de monitoreo de los ríos: Mallcomayo y Grande. Los parámetros evaluados como: Coliformes Termotolerantes, cumplen con los estándares de la Calidad Ambiental para Agua de la Categoría 1-A1, excepto:

En la época Seca, el punto R.Cond. en el año 2017 se obtuvo un valor de 3500 NMP/100 ml. Lo que no cumplen con el ECA-Agua de la categoría 1-A1, por sobre pasar el límite superior de los rangos de: 20 NMP/100 ml.

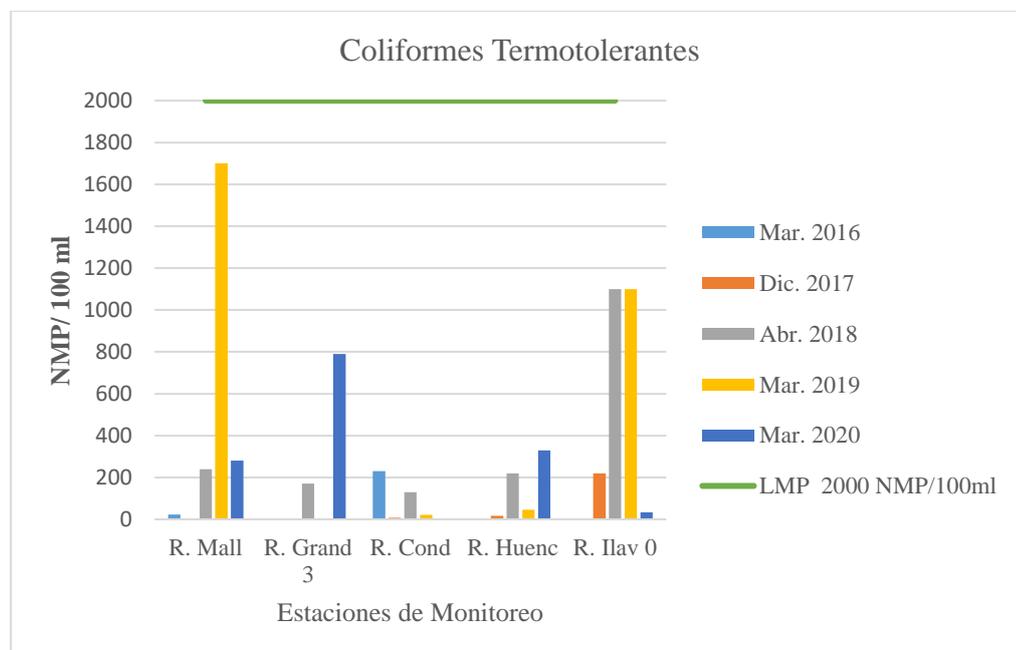


Figura 12. Variación de Coliformes Termotolerantes – época húmeda

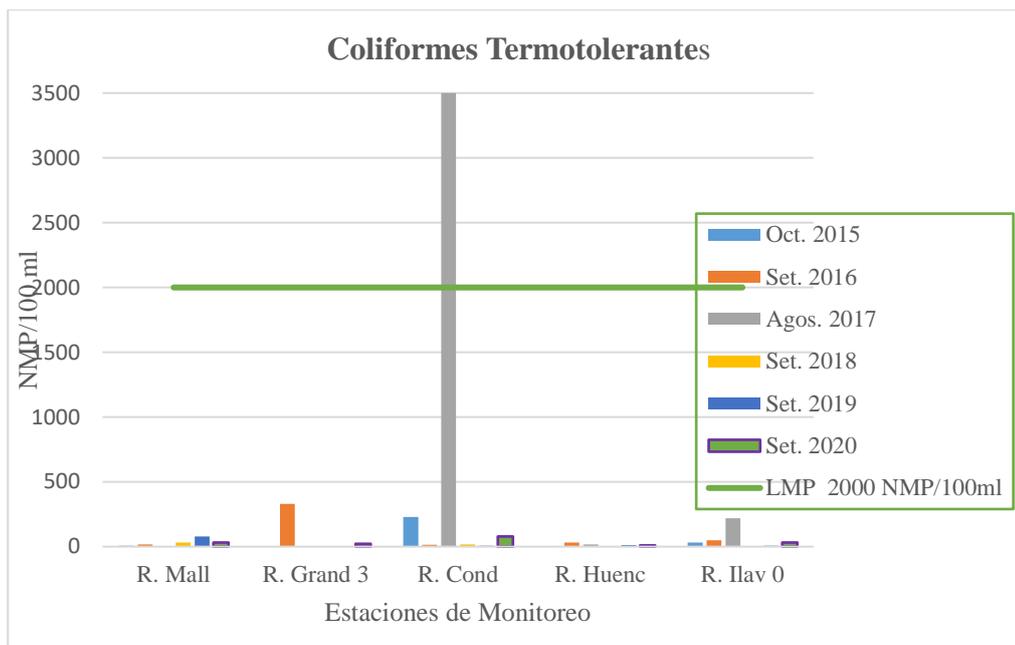


Figura 13. Variación de Coliformes Termotolerantes – época seca

D. Demanda bioquímica de oxígeno

Como se observa en las figuras 14 y 15, en los cinco puntos de monitoreo de los ríos: Mallcomayo y Grande. Los parámetros evaluados como: Demanda Bioquímica de Oxígeno, cumplen con los estándares de la Calidad Ambiental para Agua de la Categoría 1-A1, excepto:

En la época Húmeda, en el punto R. Grand. 3. del año 2019, el valor obtenido es de 6,2 mg/L

En la época Seca, en el punto R. Mall. del año 2019, el valor obtenido es de 20 mg/L

Lo que no cumplen con el ECA-Agua de la categoría 1-A1, por sobre pasar el límite superior de los rangos de: 3mg/L.

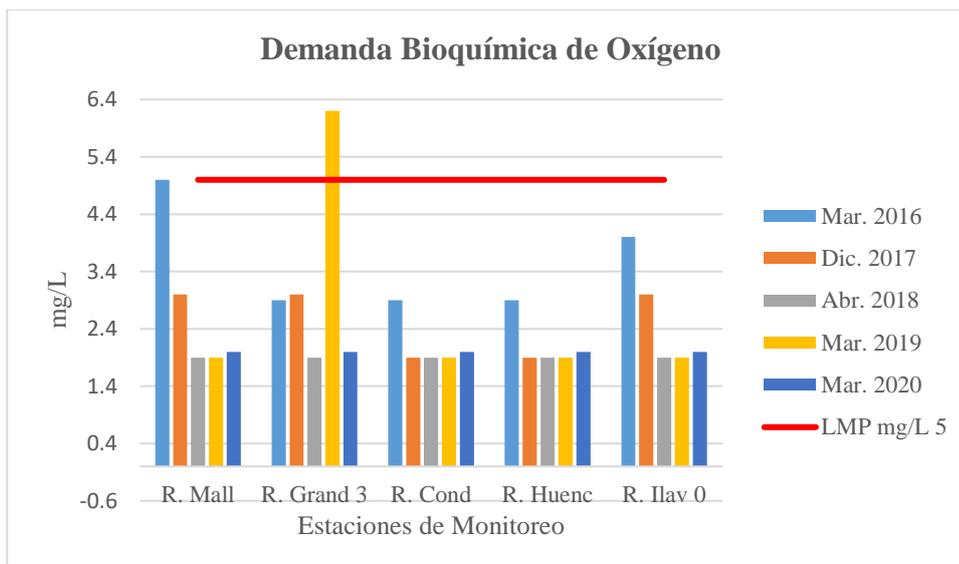


Figura 14. Variación de Demanda bioquímica de oxígeno – época húmeda

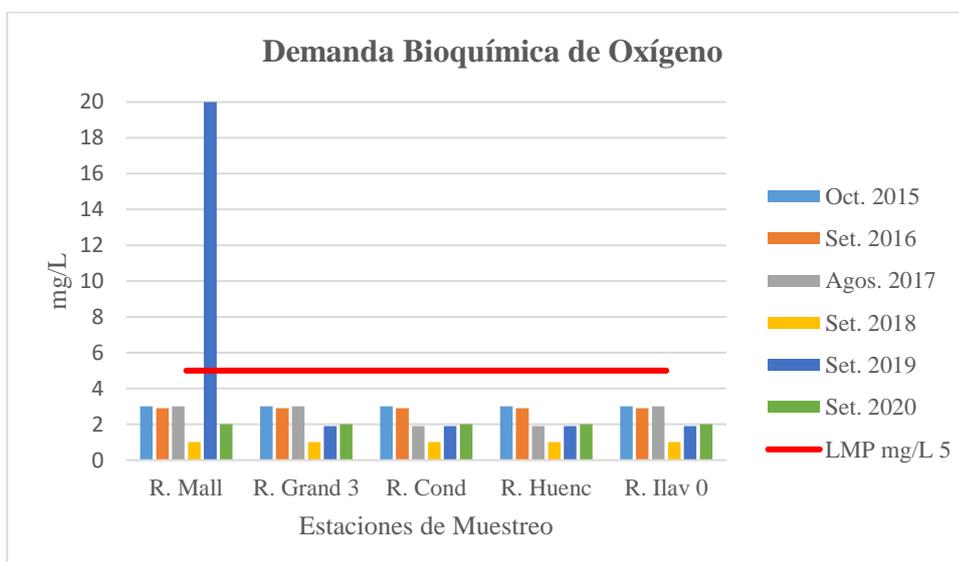


Figura 15. Variación de Demanda bioquímica de oxígeno – época seca

E. Arsénico

Como se observa en las figuras 16 y 17, en los cinco puntos de monitoreo de los ríos: Mallcomayo y Grande. Los parámetros evaluados como: Arsénico, cumplen con los estándares de la Calidad Ambiental para Agua de la Categoría 1-A1, excepto:

En la época Húmeda, los dos puntos de monitoreo R. Huenc. Y R. Ilav. 0 no cumplen los LMP.

En la época Seca, en R. Huenc. Y R. Ilav. 0 hay alto contenido de arsénico todo el año

Lo que no cumplen con el ECA-Agua de la categoría 1-A1, por sobre pasar el límite superior de los rangos de: 0.01 mg/l.

Según los cuerpos de agua evaluados en la Unidad Hidrográfica Ilave presentan afectación por Arsénico, sólo para la Categoría 1-A2 (ECA: 0,01 mg/L) en el río Huenque (R. Huen), así como el punto del río Ilave (R Ilav. 0). El arsénico es un metaloide, que puede ser tóxico. Se puede hallar en ciertos suelos de forma natural. Cuando el arsénico entra en reunión con el agua subterránea se convinan a través de disoluciones según (Valencia, 2007).

También podemos indicar que la aparición de arsénico es por una causa natural debido a la composición química geológica, debido a que sus tributarios tienden a aparecer con orígenes termales según (Lopez, 2018). En efecto el principio del arsénico procede de la mineralogía (disposición Geológica) de la misma cuenca con arsénico presente en los minerales de la corteza terrestre de principio volcánico. Esto según el estudio realizado en 2011 y 2012 en la zona del río Llusta que presento valores de 0.54 mg/L esto según (CMLT, 2014) De esta manera podemos indicar que la presencia de arsénico en el río Huenque y Río Ilave 0 es desde la zona alta de Ilave. conforme a estudios realizados por la ANA se encontró en algunas zonas de muestreo de las cuencas hidrográficas estudiadas la presencia del arsénico esto debido a su contribución litológica de la zona (ANA, 2018).

Estos resultados tienen relación con lo que sostiene (Smedley & Kinniburgh, 2002), que indican el rango de concentraciones de As que se encuentran en las aguas dulces son inferiores a 10 µg /L y, con frecuencia, inferiores a 1 µg/L. En raras ocasiones, se encuentran concentraciones mucho más altas, particularmente en las aguas subterráneas.

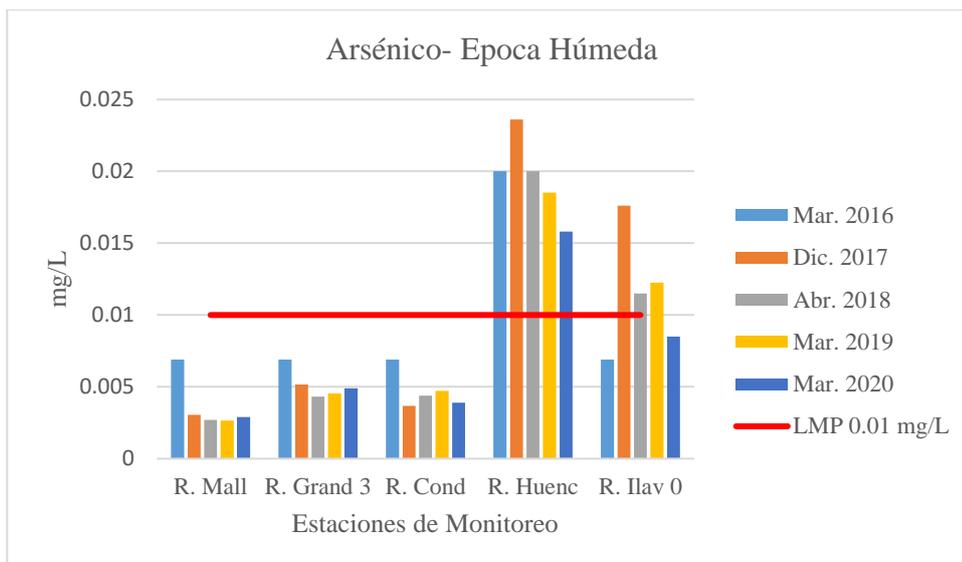


Figura 16. Variación de arsénico – época húmeda

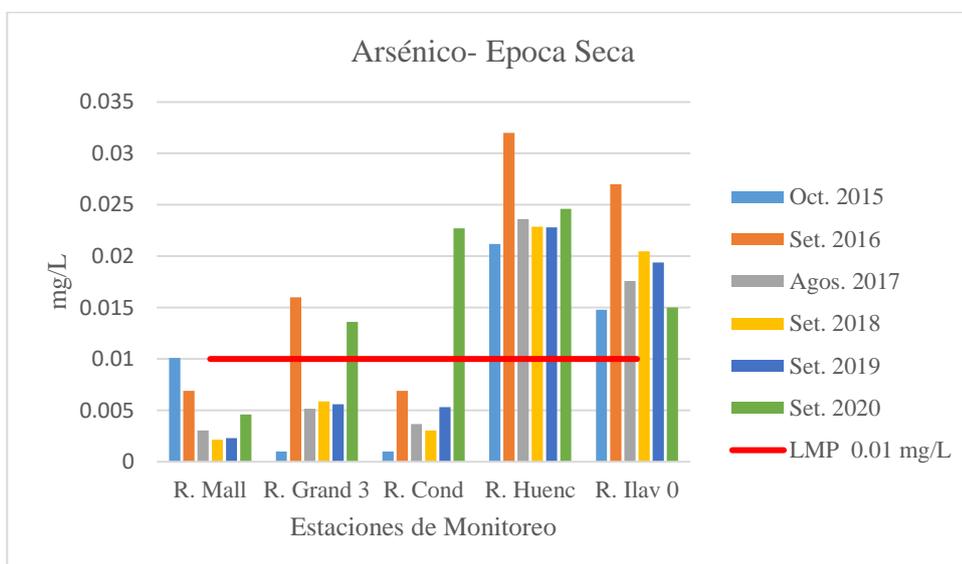


Figura 17. Variación de arsénico – época seca

F. Hierro

Como se observa en las figuras 18 y 19, en los cinco puntos de monitoreo de los ríos: Mallcomayo y Grande. Los parámetros evaluados como: Hierro, cumplen con los estándares de la Calidad Ambiental para Agua de la Categoría 1-A1, excepto:

En la época Húmeda, el punto R. Grand 3 del año 2020, se obtuvo los valores de 1.229 mg/L,

Los que no cumplen con el ECA-Agua de la categoría 1-A1, por sobre pasar el límite superior de los rangos de: 0.3 mg/l.

Según los cuerpos de agua evaluados en la Unidad Hidrográfica Ilave e encuentra afectando la calidad del agua solamente en el río Grande (RGran3) para la Categoría 1 A2 (1 mg/L), mientras que, los demás cuerpos evaluados presentan una tendencia de ligero decremento en sus concentraciones.

El hierro está presente de manera natural en acuíferos, pero los niveles de aguas superficiales pueden aumentar por disolución de rocas ferrosas. Según (Alfaro, 2017) la presencia de hierro férrico (Fe^{3+}) incrementa al aumentar la acidez, logrando grandes concentraciones directamente en suelos muy ácidos, con pH menores de 3 y en suelos ricos en ácidos húmicos y coloides preparados de formar complejos solubles con hierro. Los suelos bajo ambientes reductoras o anegados se tiene un alto contenido de hierro ferroso Fe^{2+} . En la cuenca Ilave se pudo determinar valores de Hierro, en el rio Chungurune también presento valores (10,16 mg/L en diciembre del 2011 y 13.39mg/L en agosto del 2012), en cuanto al rio Chili también presento valores de (1.51mg/L en diciembre del 2011 y 1.34 mg/L en agosto del 2012), por consiguiente sobrepasan los ECA-Cat.3 (1mg/L) para Fe, así mismo indica que el inicio de la disposición de hierro en estas zonas es debido a presencia de minerales de hierro en la zona de monitoreo, que al contacto con el agua y oxígeno son arrastrados a los efluentes motivo por el cual su presencia en estos puntos (MINAGRI, 2014).

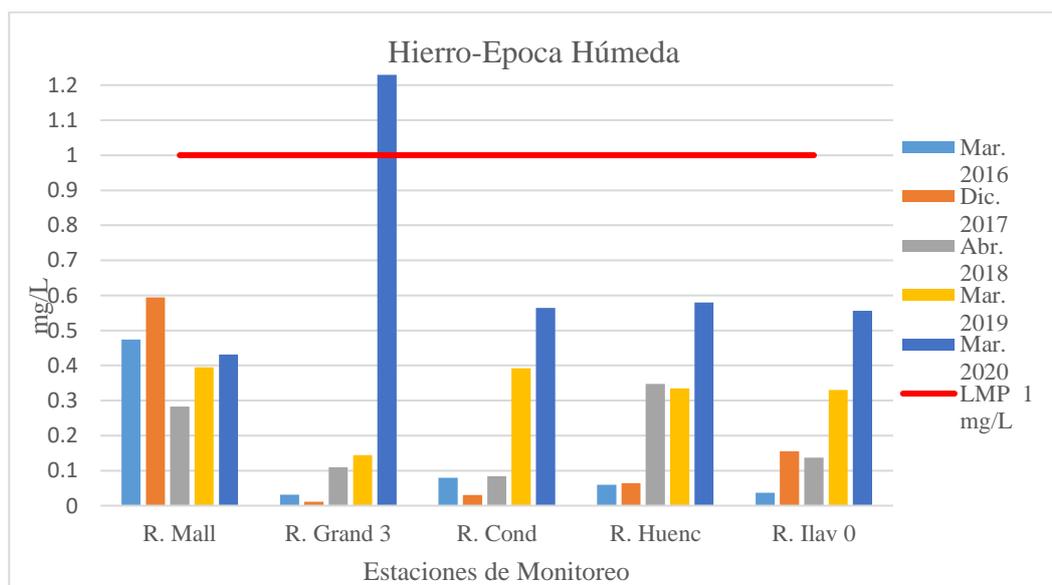


Figura 18. Variación de hierro – época húmeda

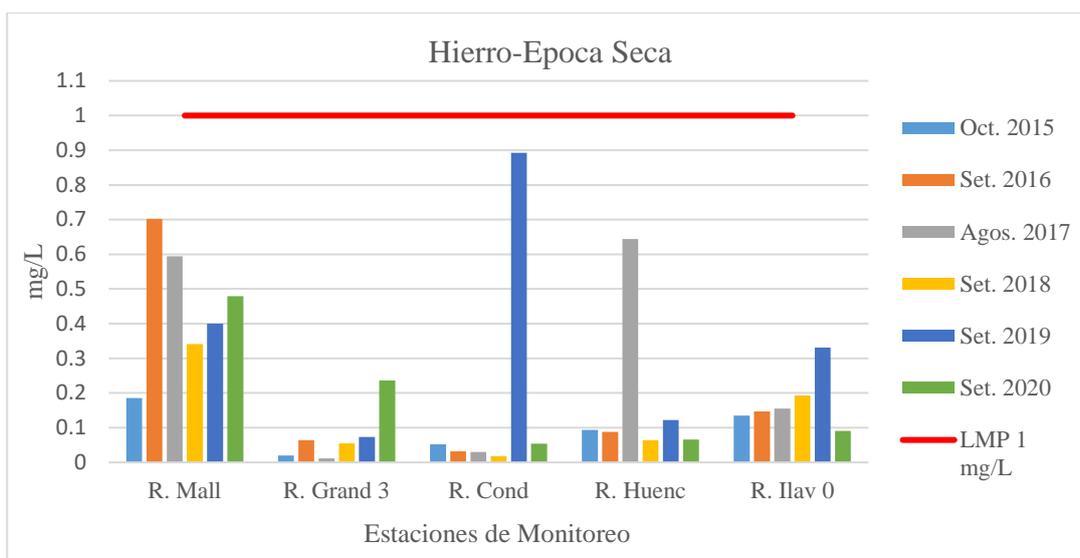


Figura 19. Variación de hierro– época seca

G. Manganeseo

Como se observa en las figuras 20 y 21, en los cinco puntos de monitoreo de los ríos: Mallcomayo, Grande, Cond., Huenc y Ilav. 0. Los parámetros evaluados como: Manganeseo, cumplen con los estándares de la Calidad Ambiental para Agua de la Categoría 1-A1, excepto:

En la época Seca, el punto R. Malc del año 2016, se obtuvo los valores de 0,441 mg/L,

Lo que no cumplen con el ECA-Agua de la categoría 1-A1, por sobre pasar el límite superior de los rangos de: 0.4 mg/L.

Según los cuerpos de agua evaluados en la Unidad Hidrográfica Ilave e encuentra afectando la calidad del agua solamente en el río Malcomayo (RMalc.) para la Categoría 1 A2 (0,4 mg/L), mientras que, los demás cuerpos evaluados presentan una tendencia de ligero decremento en sus concentraciones.

Según (Hernández, 2016) el inicio de manganeseo en aguas superficiales y subterráneas es debido a situaciones naturales así como producto de las actividades humanas. Este elemento se encuentra en el medio acuático especialmente como Mn^{2+} y Mn^{4+} la transformación entre una forma y otra se produce por reacciones de oxidación– reducción, la concentración logra depender de las condiciones redox y del pH, debido a que se vuelve más soluble en condiciones anaeróbicas y ácidas. Por

lo contrario, en condiciones aeróbicas, típico de aguas superficiales, es generalmente baja, esto se debe a que en dichas condiciones el Mn se encuentra en su forma oxidada más estable: MnO_2 la cual es altamente insoluble.

La (CMLT, 2014) en diciembre 2011 se mostraron con valores (0.25mg/L en el río Santa Rosa y 0.39mg/L en el río Chugurune) por arriba del ECA-Cat.3 (0,20mg/L). En agosto del 2012, sobresalieron los ECA-Cat.3 en (río Chugurune 0.34mg/L, río Ilave con valores de 0,28mg/L y 0,25mg/L). El Manganeseo origina de los minerales de la corteza terrestre (geología de la cuenca) de origen volcánico, y en la parte alta de la sub cuenca del río Blanco y río Santa Rosa es de mayor concentración, en la parte de la cuenca Ilave.

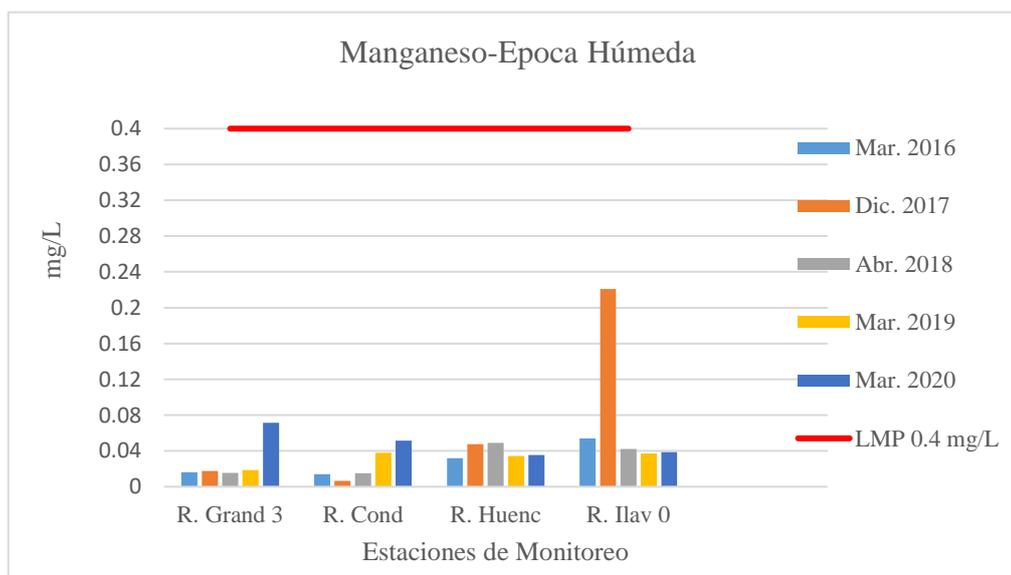


Figura 20. Variación de manganeso – época húmeda

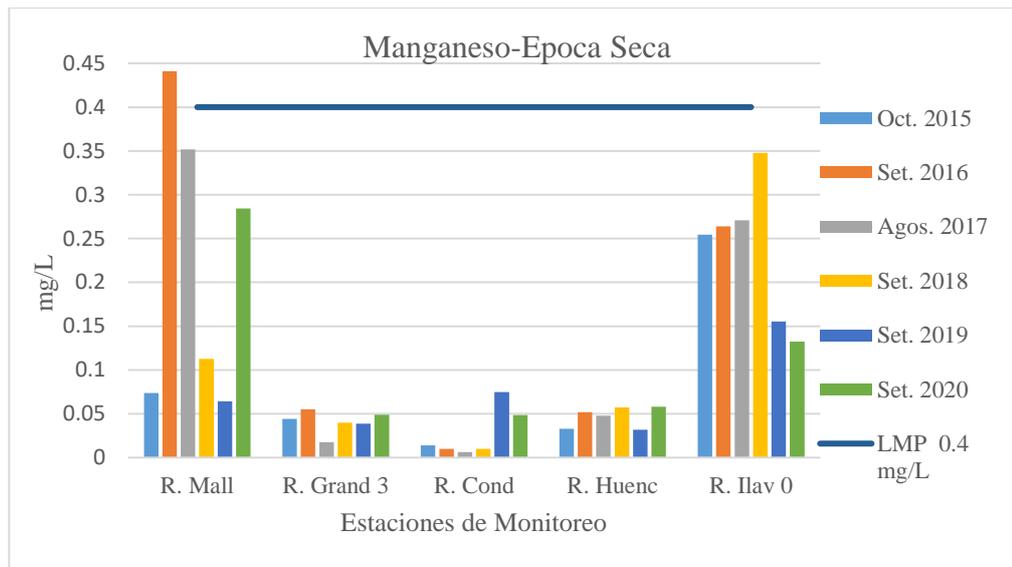


Figura 21. Variación de manganeso – época seca

4.2. Resultados de la calidad del agua en la cuenca del río Ilave, mediante índice de calidad de agua (ICA-PE)

Para la determinación del índice de calidad del agua ICA para cada sitio del área de estudio se utilizó la estrategia de trabajo de la Autoridad Nacional del Agua, dado que dicha estrategia de trabajo requiere un equilibrio entre las concentraciones obtenidas durante el monitoreo con las establecidas en la norma de calidad del agua - ECA, esto es necesario determinar el número de parámetros y concentraciones que excedan lo establecido, como primer paso para determinar el índice de calidad del agua ICA.

En consecuencia, Se utilizó la estrategia de trabajo de la Agencia, se comparó la fachada del área de estudio con el Estándar de Calidad de Agua ECA - ECA, categoría 3, por lo que constaron de dos subcategorías: D1 Riego de vegetales y D2 Bebedero de animales. Los coliformes termotolerantes, en la subcategoría D1 Riego de hortalizas, tienen dos valores, según agua para riego libre y agua para riego limitado; Dado que los coliformes termotolerantes tienen esta distinción, los resultados del índice ICA de calidad del agua ambiental deben ser precisos, por lo que se procesan tres tablas que establecen el índice ICA de calidad del agua ambiental para cada estación de monitoreo. **Ver Anexo 08, 09 y 10 las Tablas de Calidad Ambiental del agua-ICA.**

En la tabla 6, se encuentra la conclusión final de los índices de calidad ambiental del agua-ICA. las épocas, R. Ilav. 3 y R. Ilav. 4, dentro del rango 80- 94, califican la calidad de agua como “Bueno”.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene (Wu *et al.*, 2020), quien en su investigación encontró en un rango de 71.70 al 90.12 lo que explica que la calidad del agua en general fue buena en toda la cuenca del río Beyun-China.

Tabla 6

Resultados ICA-PE- Cuenca Ilave – Cat. 3-D1

Monitoreo de la Cuenca Ilave 2015-2020				
N°	Punto de Monitoreo	Cuerpo de Agua	Resultado ICA-PE	
3	R. Ilav.3	Rio Ilave 3	82.171	Bueno
4	R. Ilav. 4	Rio Ilave 4	90.76	Bueno

En la tabla 7: se encuentra el resultado final del índice de calidad de agua –ICA. Las Estaciones R. Mall., R. Grand. 3 y R. Huenc. , se encuentra en la escala 80-94, que califica la calidad de agua como “Bueno”; en la estación R. Cond. Se encuentra en el nivel 45-64, que considera la calidad de agua como “Regular” y la época R. Ilav. 0, se halla en la escala 95-100, que la propiedad de agua como “Excelente”

Tabla 7

Resultados ICA-PE- Cuenca Ilave – Cat. 1-A2

Monitoreo de la Cuenca Ilave 2015-2020				
N°	Punto de Monitoreo	Cuerpo de Agua	Resultado ICA-PE	
1	R. Mallc.	Rio Mallcomayo	83.229	Bueno
2	R. Grand. 3	Rio Grande 3	87.255	Bueno
3	R. Cond.	Rio Condorena	64.164	Regula
4	R. Huenc.	Rio Huenque	91.397	Bueno
	R. Ilav. 0	Rio Ilave 0	95.612	Excelente

En la tabla 8: se encuentra la conclusión de los índices de Calidad ambiental del agua – ICA. Las estaciones de monitoreo R. Chill., R. Chic. , R. Huenc. 1, se encuentran en el rango de 80-94, que califica la calidad de agua como “Bueno”.

Tabla 8

Resultados ICA-PE- Cuenca Ilave – Cat. 4-E2

Monitoreo de la Cuenca Ilave 2015-2020				
N°	Punto de Monitoreo	Cuerpo de Agua	Resultado ICA-PE	
1	R. Chil.	Rio Chilisaya	94.897	Bueno
2	R. Chic.	Rio Chichillapi	89.129	Bueno
3	R. Huenc. 1	Rio Huenque 1	82.171	Bueno

Se observó una investigación similar de (Teshome, 2020). Un valor de WQI más alto en ambas estaciones también indicó que el cuerpo de agua se ha convertido en un estado hipertrófico con una carga excesiva de nutrientes contaminantes. Esto, a su vez, muestra que el cuerpo de agua necesita un énfasis urgente y adecuado para la gestión por parte de los beneficiarios y las autoridades. El uso de WQI es útil para el análisis sistemático y comparativo de la calidad del agua y proporciona un indicador simple de la calidad del agua que emana de parámetros importantes. WQI también es útil para que el público y los legisladores comprendan la calidad de la masa de agua y es una herramienta importante para respaldar las medidas de gestión del agua y fortalecer la administración de la calidad del agua.

4.3. Análisis estadístico

a) Modelo de regresión lineal - Coeficiente de correlación PEARSON

En la tabla 9: se relaciona la correlación entre variables dependientes he independiente.

Tabla 9

Correlación lineal de Pearson los parámetros físico químicos de la cuenca del río Ilave y sus tributarios

	pH	Conduc.	NO ₂ ⁻	DBO	As	Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Pb	Zn	Col. Fec.
Conduc.	0.800													
NO₂⁻	0.098	0.019												
DBO	0.185	0.467	-											
			0.223											
As	-	-0.133	-	-										
	0.221		0.029	0.510										
Cd	0.317	0.452	-	0.287	-									
			0.200		0.209									
Cu	-	-0.376	-	-	-	-								
	0.346		0.177	0.310	0.258	0.338								
Cr	0.366	0.226	-	0.360	-	0.360	-							
			0.122		0.021			0.616						
Fe	-	-0.553	-	0.227	0.104	-	-	0.063						
	0.655		0.110			0.315	0.126							
Mn	0.120	0.153	0.189	0.302	-	0.180	-	0.292	0.007					
					0.220		0.164							
Hg	-	0.042	-	0.791	-	0.205	-	0.168	0.411	0.416				
	0.219		0.194		0.343		0.116							
Pb	-	-0.127	-	0.250	-	0.058	-	0.250	-	-	0.186			
	0.018		0.285		0.380		0.072		0.037	0.036				
Zn	0.029	0.143	0.141	-	0.307	0.166	0.043	0.133	-	0.506	-	-		
				0.324					0.280		0.336	0.276		
Col. Fec.	0.327	0.369	0.595	0.013	-	0.063	-	0.187	-	0.327	-	-	0.487	
					0.090		0.097		0.203		0.121	0.130		
Y	0.313	0.303	-	0.043	0.337	0.496	-	0.482	-	0.113	-	-	0.139	-
			0.055				0.829		0.040		0.141	0.081		0.199

Se puede evidenciar que las variables que tienen una correlación positiva con Y como el pH, Conductividad eléctrica, DBO, arsénico, cadmio, cromo, manganeso y zinc, son variables de gran importancia, para la variable dependiente. También podemos evidenciar gráficamente una matriz de dispersión entre las variables con mayor correlación en el ANEXO N° 11

También podemos evidenciar los resultados obtenidos de la ecuación de correlación multivariable (ajuste de modelo de regresión) que indican que los parámetros de pH, Conductividad eléctrica, nitritos, DBO, arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso y mercurio. Son las variables positivas y de mayor correlación con los resultados obtenidos de ICA PE en la cuenca Ilave.

En la siguiente imagen se ilustra la ecuación de regresión obtenida:

$$Y = -619.4 + 65.82\text{pH} - 0.09605\text{Conductividad} + 1118\text{Nitritos} + 68.37\text{DBO} \\ + 2585\text{arsenico} + 221578\text{cadmio} + 591.4\text{cobre} - 13300\text{cromo} \\ - 34.44\text{hierro} + 84.74\text{manganeso} - 135304\text{mercurio}$$

Tabla 10

Coefficientes y el valor de P

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-619.4	*	*	*	
pH	65.82	*	*	*	84.14
Conductividad	-0.09605	*	*	*	255.61
Nitritos	1118	*	*	*	12.65
DBO	68.37	*	*	*	402.45
Arsenico	2585	*	*	*	99.64
Cadmio	221578	*	*	*	30.37
Cobre	591.4	*	*	*	25.53
Cromo	-13300	*	*	*	19.80
Hierro	-34.44	*	*	*	8.27
Manganeso	84.74	*	*	*	4.21
Mercurio	-135304	*	*	*	82.93

Tabla 11

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
*	100.00%	*	*

Tabla 12

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	11	755.834	68.712	*	*
pH	1	51.341	51.341	*	*
Conductividad	1	60.354	60.354	*	*
Nitritos	1	19.318	19.318	*	*
DBO	1	56.406	56.406	*	*
Arsenico	1	55.258	55.258	*	*
Cadmio	1	75.141	75.141	*	*
Cobre	1	1.602	1.602	*	*
Cromo	1	73.192	73.192	*	*
Hierro	1	32.726	32.726	*	*
Manganeso	1	81.731	81.731	*	*
Mercurio	1	74.576	74.576	*	*
Error	0	0.000	*		
Total	11	755.834			

Nota: Elaboración propia con el programa de minitab

De acuerdo a las Tablas 8, 9, y 10, Los datos de la ecuación de regresión se ajustan bien esto nos revela que la variable independiente designada decreta la variable dependiente puede revelar la alteración en la variable dependiente con un coeficiente de correlación de Pearson al 100%. También podemos indicar que el predictor que tiene un p-valor bajo, lo que nos indica un complemento significativo al modelo pues que los cambios en el valor del predictor están relacionados con la variación en la variable de respuesta.

CONCLUSIONES

La calidad del agua superficial en el área de la cuenca del Ilave según criterios físico-químicos en diez puntos de muestreo y en dos temporadas (temporada seca y temporada de inundaciones) de los años 2015 al 2020 registran valores relativamente normales; sin embargo, se observaron valores ligeramente altos en parámetros como pH, As y Mn. Según los parámetros biológicos también cumplen con los estándares exceptuando en los puntos del R. Ilav. 3 y R. Ilav. 4 los Coliforme termo tolerantes sobre pasa los LMP en los seis años tomados en cuenta.

Según la metodología el método de ICA-PE puede ser más efectiva debido a que tiene una ventaja cuando necesitamos comparar si la calidad del agua se ve afectada por las diversas actividades realizadas en la cuenca. En general podemos indicar que la calidad del agua en la cuenca del río Ilave es "buena" durante los seis años y en sus tres categorías según la clasificación ICA-PE. Exceptuando en la categoría 1-A2, en el punto R. Cond. Obteniendo "regular", La calidad del agua cambió significativamente a lo largo del río Ilave, y la calidad del agua corriente arriba y corriente abajo fue en general mejor que el que está en el medio. Además, la calidad del agua mostró una clara variación estacional con la mejor calidad del agua en época húmeda y época seca.

El resultado demostró que la tierra agrícola y la tierra residencial rural tenían efectos adversos sobre la calidad del agua, mientras que la proporción de tierra urbana tenía una correlación positiva con la calidad del agua. Debe notarse el impacto de las actividades de vida de los residentes rurales en la calidad del agua. Según los resultados de la investigación, la mejora de la tasa de recolección de aguas residuales y la capacidad de tratamiento y la cantidad adecuada de fertilizante son la base de la mejora de la calidad del agua. Creemos que nuestra investigación aporta sugerencias efectivas para la gobernanza y protección del río Ilave.

RECOMENDACIONES

Como parte de los procedimientos de monitoreo de la calidad del agua superficial, se deben considerar las mediciones de flujo para brindar información para la interpretación de los resultados de los parámetros físicos y químicos.

Actualización de estadísticas de fuentes de contaminación de aguas superficiales en toda la cuenca del Ilave, integración de información con autoridades de licenciamiento de descargas e intercambios de información con industrias de certificación ambiental, según el ámbito de actividad.

Llevar a cabo más investigaciones en otras cuencas, donde se disponga de información de los monitores de calidad del agua, para identificar patrones de variabilidad y ajustar por el número de plantas muestreadas por año y no limitarlas a dos etapas de “Institucionalización”

Se recomienda, junto con el monitoreo de la calidad de agua, el modelamiento de dispersión de contaminantes de los desechos industriales y domésticos en toda la Cuenca de Ilave.

Aunque actualmente se están utilizando varias herramientas para evaluar la calidad del agua, se debe realizar más investigación e inversión en esta área para generar suficiente información para determinar la diferencia entre las variaciones de contaminación a lo largo del tiempo, estacional y antropogénica o una combinación de las dos y tomar mejores decisiones sobre la gestión de nuestros recursos hídricos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, O. (2017). *Evaluación del sistema de tratamiento para la remoción de hierro y manganeso en agua de abastecimiento de la colonia Guadalupe, municipio de Tejutla departamento de Chalatenango*.
<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/13518/1/13101638.pdf>
- ANA. (2009). *Evaluacion de los Recursos Hidricos en la Cuenca Ilave* (M. de Agricultura (ed.)). 2009.
- ANA. (2016). *Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hidricos superficiales.pdf* (p. 92). 2009.
- ANA. (2018). *Informe de tecnico de monitoreo UH ILave cut: 219906-2018*.
- ANA abril. (2018). *Informe tecnco de monitoreo UH Ilave cut: 121714-2018*.
- ANA agosto. (2017). *Informe Tecnico de monitore UH Ilave cut: 178563-2017*.
- ANA diciembre. (2017). *Informe Tecnico de monitoreo UH Ilave cut: 217415-2017*.
- ANA marzo. (2016). *Informe tecnico de monitoreo UH Ilave cut: 151182-2016*.
- ANA marzo. (2019). *Informe tecnco de monitoreo UH Ilave cut: 101010-2019*.
- ANA marzo. (2020). *Informe tecnico de monitoreo UH Ilave cut 54176-2020*.
- ANA octubre. (2015). *Informe Tecnico de monitoreo UH Ilave marzo cut: 68549-2015*.
- ANA octubre. (2020). *Informe tecnico de monitoreo UH Ilave*.
- Balmaseda, C., & García, Y. (2014). Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 11–16.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000300002&lng=pt&nrm=iso&tlng=es
- Canciano, J. (2017). *Muestreo pasivo de contaminantes atmosféricos. Uso en Cuba*
Passive sampling of atmospheric contaminants. Use in Cuba. 18(2), 113–121.
- CCME. (2017). CCME Water Quality Index user's manual 2017 Update. *Canadian*

- Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*, 1–5.
[http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI User's Manual \(en\).pdf](http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI%20User's%20Manual%20(en).pdf)
- Chavez, L. N. (2015). *Evaluación Espacial y Temporal del Índice de Calidad del Agua en Coatzacoatlán*, Ver. [Universidad Veracruzana].
<http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/41932>
- Choque, D., Ligarda, C. A., Solano, A. M., Ramos, B. S., Quispe, Y., Choque, Y., & Kari, A. (2021). Water quality index in the high-Andean micro-basin of the Chumbao River, Andahuaylas, Apurímac, Peru. In *Tecnología y Ciencias del Agua* (Vol. 12, Issue 1). <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-01-02>
- CMLT. (2014). Estado de la calidad Ambiental de la Cuenca del lago Titicaca ambito Peruano. *D.S.N° 075-2013-Pcm*, 162. <https://www.minam.gob.pe/puno/wp-content/uploads/sites/55/2014/02/ESTUDIO-DEL-ESTADO-DE-LA-CALIDAD-AMBIENTAL-CUENCA-DEL-TITICACA..pdf>
- Cristina, J., Gallego, C., David, J., Ruiz, E., & Elena, A. (2010). Modelación índices de calidad de agua (ica) Modelation of water quality index (wqi) in region Cornare basins. *Revista Gestión y Ambiente*, 13(2), 7–24. <https://doi.org/0124-177X> ISSN electrónico: 2357-5905
- Dehkordi, D. K. (2017). Effect of Water Quality and Temperature on the Efficiency of Two Kinds of Hydrophilic Polymers in Soil. *Water Environment Research*, 90(6), 490–497. <https://doi.org/10.2175/106143017x14839994523389>
- Durán, G. (2019). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos. *Dinámica Ambiental*, 1, 83–102. <https://doi.org/10.18041/2590-6704/ambiental.1.2016.4593>
- Flores, J. (1997). *Evaluación de la Calidad del Agua del Río San Juan, en el Estado de Nuevo León* [Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/7699/1/1020118308.PDF>
- Gonzales, R. (2018). “Análisis Y Evaluación De La Calidad De Agua Para Consumo Humano Y Propuesta De La Tecnología Apropiaada Para Su Desinfección a Escala Domiciliaria, De Las Fuentes De Agua De Macashca, Huaraz, Ancash - 2016 - 2018.” *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*, 1–141.

<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3556>

- Graniel, C. E., & Carrillo, C. M. E. (2006). Calidad del agua del río Zanatenco en el estado de Chiapas. *Ingeniería*, 10(3), 35–42. <https://doi.org/http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen10/calidad.pdf>
- Guerrero-Padilla, A. M., & Cabrera-Carranza, C. F. (2021). Calidad de agua de uso agrícola en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 12(5), 304–349. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-05-07>
- Guzman, G., Thalasso, F., Ramírez, M., Rodríguez, S., Guerrero, A., & Avelar, F. (2011). *Evaluación espacio temporal de la calidad del agua del rio san Pedro en el mestado de aguas calientes, Mexico*. 27(2), 89–102. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000200001
- Guzmán, Gilda. (2011). *Estudio sobre los niveles de contaminación de los cuerpos superficiales y subterráneos relacionados con el cause del Río San Pedro* [Universidad Autónoma de Aguas Calientes]. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/123456789/848>
- Guzmán, Guilda, Thalasso, F., Ramírez, M., Rodríguez, S., González, J., Guerrero, A., & Barrera, F. (2011). Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el estado de Aguascalientes, México Guilda. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 27(2), 115–127. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.490>
- Haque, M. M., Niloy, N. M., Nayna, O. K., Fatema, K. J., Quraishi, S. B., Park, J. H., Kim, K. W., & Tareq, S. M. (2020). file:///E:/TESIS/ARTICULOS MAS ADICIONALES/Estimación del índice de calidad del agua basada en sensores remotos utilizando enfoques basados en datos un estudio de caso del río Kali en Uttar Pradesh India.pdf. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(34), 42582–42599. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10060-3>
- Hernández, C. (2016). *Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y propuesta de alternativas tendientes a su mejora , en la Comunidad de 4 Millas de Matina , Limón .* 130.
- Lavelle, A. M., Bury, N. R., O’Shea, F. T., & Chadwick, M. A. (2019). Influence of urban

- river restoration on nitrogen dynamics at the sediment-water interface. *PLoS ONE*, 14(3), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212690>
- Lopez, S. (2018). *Evaluación de la calidad de agua respecto a metales pesados presentes en el río Tambo Provincia de Islay 2016-2018*.
- MacHado, C. S., Alves, R. I. S., Fregonesi, B. M., Tonani, K. A. A., Martinis, B. S., Sierra, J., Nadal, M., Domingo, J. L., & Segura-Muñoz, S. (2016). Chemical Contamination of Water and Sediments in the Pardo River, São Paulo, Brazil. *Procedia Engineering*, 162, 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.046>
- Martínez, F., Castellanos, O., & Rodríguez, A. (2011). *El Tratamiento De Las Aguas Residuales Municipales En Las Comunidades Rurales De México*. 139–150.
- MINAGRI, & ANA. (2017). *Metodología para la determinacion del Indice de Calidad de agua de los recursos hidricos superficiales en el peru (ICA-PE)*. 44. <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/2440>
- Montoya, Y., & Acosta, Y. (2011). Evolución de la calidad dle agua en el río Negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el BMWP/COL Y EL ASPT. *Caldasia*, 33(1), 193–210. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/36386>
- Núñez, W. (2017). Universidad Nacional Agraria De La Selva. *Facultad De Zootecnia*, 96. http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1625/TS_HRP_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ocampo, W., Osorio, C., Piamba, C., Schuhmacher, M., & Domingo, J. L. (2013). Water quality analysis in rivers with non-parametric probability distributions and fuzzy inference systems: Application to the Cauca River, Colombia. *Environment International*, 52, 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.11.007>
- Ocasio, F. (2008). *Evaluacion De La Calidad Del Agua Y Posibles Fuentes De Contaminacion En Un Segmento Del Rio Piedras*. 241.
- Pari-Huaquisto, D. C., Alfaro-Alejo, R., Pílares-Hualpa, I., & Belizario, G. (2020). Seasonal variation of heavy metals in surface water of the Ananea river

- contaminated by artisanal mining, Peru. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 614, 12167. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012167>
- Pari, F. (2015). *Evaluación de los Recursos Hidricos superficiales con Fines de Planeamiento de la cuenca del rio Ilave* [Universidad Nacional del Altiplano Puno]. https://doi.org/RNAP_b4ea8d75b3764b5f8aee1b2126ef15f1
- Peluso, J., Aronzon, C. M., Ríos de Molina, M. del C., Rojas, D. E., Cristos, D., & Pérez Coll, C. S. (2020). Integrated analysis of the quality of water bodies from the lower Paraná River basin with different productive uses by physicochemical and biological indicators. *Environmental Pollution*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114434>
- Peñañiel, A. G. (2014). *Evaluacion de la Calidad del aguadel rio Tomebamba mediante el indice ICA del Instituto Mexicano de Tecnologia del agua* [Universidad de cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20919>
- Peng, C., Huang, Y., Yan, X., Jiang, L., Wu, X., Zhang, W., & Wang, X. (2021). Effect of overlying water pH, temperature, and hydraulic disturbance on heavy metal and nutrient release from drinking water reservoir sediments. *Water Environment Research*, 93(10), 2135–2148. <https://doi.org/10.1002/wer.1587>
- Perrin, J. L., Salles, C., Bancon-Montigny, C., Raïs, N., Chahinian, N., Dowse, L., Rodier, C., & Tournoud, M. G. (2018). Comparison of index systems for rating water quality in intermittent rivers. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(2). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6396-2>
- Pu, J., Wang, S., Ni, Z., Wu, Y., Liu, X., Wu, T., & Wu, H. (2021). Implications of phosphorus partitioning at the suspended particle-water interface for lake eutrophication in China's largest freshwater lake, Poyang Lake. *Chemosphere*, 263, 128334. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128334>
- Quattrini, S., Pampaloni, B., & Brandi, L. (2012). Natural mineral waters: chemical characteristics and health effects. *Hippel's Briefe von 1775 Bis 1785*, 13(3), 173–180. <https://doi.org/10.1515/9783110819700.306>
- Quevedo, C. M. G. de, Piveli, R. P., & Paganini, W. da S. (2018). Influence of the

- detergent formulation on the concentration of phosphorus in the sewage inflows to the WWTPs: the Brazilian experience. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 39(10), 1260–1270. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1327556>
- Rogora, M., Somaschini, L., Marchetto, A., Mosello, R., Tartari, G. A., & Paro, L. (2019). Science of the Total Environment Decadal trends in water chemistry of Alpine lakes in calcareous catchments driven by climate change. *Science of the Total Environment*, xxxx, 135180. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135180>
- Said, S., & Khan, S. A. (2021). Remote sensing-based water quality index estimation using data-driven approaches: a case study of the Kali River in Uttar Pradesh, India. *Environment, Development and Sustainability*, 23(12), 18252–18277. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01437-6>
- Setiembre, A. (2016). *Informe Tecnico de monitoreo UH Ilave cut: 206157-2016*.
- Smedley, P. L., & Kinniburgh, D. G. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5), 517–568. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00018-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00018-5)
- Souza, A., Carneiro, L. A., Junior, da S., Pereira, O., Carvalho, L., & Pinheiro, S. (2021). Assessment of water quality using principal component analysis: a case study of the Marrecas stream basin in Brazil. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 42(27), 4286–4295. <https://doi.org/10.1080/09593330.2020.1754922>
- Sutadian, A. D., Muttill, N., Yilmaz, A. G., & Perera, B. J. C. (2016). Development of river water quality indices—a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(1), 1–29. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-5050-0>
- Teshome, F. B. (2020). Seasonal water quality index and suitability of the water body to designated uses at the eastern catchment of Lake Hawassa. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(1), 279–290. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06794-4>
- Ticllacuri, Z., & Castillo, I. (2014). *Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Torres, F. (2009). *Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en*

Puerto Rico. 219.

- Torres, L. (2016). *Distribucion Espacio-temporal de la contaminacion del agua del rio Chumbao Andahuaylas, Apurimac, Peru. 2011-2012* [Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/4930>
- Valcárcel, Y., Martínez, F., González-alonso, S., Segura, Y., Catalá, M., Molina, R., & Montero-rubio, J. C. (2012). *Drugs of abuse in surface and tap waters of the Tagus River basin : Heterogeneous photo-Fenton process is effective in their degradation*. 41, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.12.006>
- Valdes, J., Samboni, N. E., & Carvajal, Y. (2011). Desarrollo de un indicador de la calidad del agua usando estadística aplicada, caso de estudio: Subcuenca Zanjón Oscuro. *Tecnológicas*, 26, 165. <https://doi.org/10.22430/22565337.60>
- Valencia, J. (2007). *Estudio estadístico de la calidad de las aguas en la cuenca hidrográfica del río ebro*.
- Wu, H., Yang, W., Yao, R., Zhao, Y., Zhao, Y., Zhang, Y., Yuan, Q., & Lin, A. (2020). Evaluating surface water quality using water quality index in Beiyun River, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(28), 35449–35458. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09682-4>
- Zapata, V., Zárate, M., Aguilera, J., Zelaya, A., Barrios, E., Laupheimer, S., Aravena, G., Garrido, C., & Taub, T. (2006). Indicadores de calidad en la gestion del personal. *Revista Chilena de Radiologia*, 12(4), 157–160. <https://doi.org/10.4067/s0717-93082006000400004>
- Zotou, I., Tsihrintzis, V. A., & Gikas, G. D. (2020). Water quality evaluation of a lacustrine water body in the Mediterranean based on different water quality index (WQI) methodologies. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 55(5), 537–548. <https://doi.org/10.1080/10934529.2019.1710956>

ANEXOS

Anexo 1 Estándares de calidad ambiental para agua (ECA) según el D.S. N° 004-2017-MINAM.

10	NORMAS LEGALES
<p>Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias</p> <p>DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM</p> <p>EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA.</p> <p>CONSIDERANDO:</p> <p>Que, al numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;</p> <p>Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28511, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;</p> <p>Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;</p> <p>Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP); y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, las que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;</p> <p>Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;</p> <p>Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;</p> <p>Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;</p> <p>Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;</p> <p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;</p> <p>Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;</p> <p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 073-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,</p>	<p>publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2006-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;</p> <p>De conformidad con lo dispuesto en el numeral II del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 28158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;</p> <p>DECRETA:</p> <p>Artículo 1.- Objeto de la norma</p> <p>La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.</p> <p>Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua</p> <p>Apruébanse los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.</p> <p>Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua</p> <p>Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:</p> <p>3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional</p> <p>a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable</p> <p>Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:</p> <ul style="list-style-type: none">- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección <p>Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.</p> <ul style="list-style-type: none">- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional <p>Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.</p> <ul style="list-style-type: none">- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado <p>Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como preoxidación, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.</p> <p>b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación</p> <p>Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente.</p>

- B1. Contacto primario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el agua acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

- B2. Contacto secundario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con boates, lanchas o similares.

3.2 Categoría 3: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (E): ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabrillas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (E): erizos y estrella de mar) y tunicados.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

a) Subcategoría D1: Riego de vegetales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (E): hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (E): habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (E): árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (E): trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (E): algodón); y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (E): maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de aguas superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de aguas líticas, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de aguas líticas, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Tílica, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas mándricas.

c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos

- Estuarios

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Preclárese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotérmicas, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reúso.

Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que pueden ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

a) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificarán considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subterráneos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

Artículo 8.- Sistematización de la información

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

Artículo 9.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los Instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente
Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

Anexo 2 Estándares de calidad ambiental para agua (ECA) según el D.S. N° 004-2017-MINAM.

NORMAS LEGALES		13
<p>recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.</p> <p style="text-align: center;">DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA</p> <p>Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2008-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.</p> <p>Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.</p> <p>PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD Presidente de la República</p>		<p>JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN Ministro de Agricultura y Riego</p> <p>ELSA GALARZA CONTRERAS Ministra del Ambiente</p> <p>GONZALO TAMAYO FLORES Ministro de Energía y Minas</p> <p>PEDRO OLACHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN Ministro de la Producción</p> <p>PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA Ministra de Salud</p> <p>EDMER TRUJILLO MORA Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento</p>

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

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

Parámetro	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICO-QUÍMICOS				
Asbesto y Cistitas	mg/L	0.5	1.7	1.7
Cloruro Total	mg/L	0.01	--	--
Cloruro Libre	mg/L	--	0.3	0.3
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (p)	Color estándar Escala PtCo	10	100 (p)	--
Conductividad	(µmhos)	1 000	1 000	--
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	--	--
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Ferrosos	mg/L	0.003	--	--
Florescencia	mg/L	1.5	--	--
Fosfato Total	mg/L	0.1	0.15	0.15
Material Particulado de Origen Antropogénico		Ausencia de material fibroso de origen antropogénico	Ausencia de material fibroso de origen antropogénico	Ausencia de material fibroso de origen antropogénico
Nitrato (NO ₃ -N) (p)	mg/L	50	50	50
Nitrato (NO ₃ -N) (s)	mg/L	3	3	--
Nitrosato-N	mg/L	1.5	1.5	--
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	8.5	8.5	8.5
Potencial de hidrógeno (pH)	unidades de pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 000
Sulfatos	mg/L	200	200	--
Temperatura	°C	23	23	--
Turbiedad	UNT	5	100	--
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0.8	5	5
Amonio	mg/L	0.02	0.02	--
Fluoruro	mg/L	0.01	0.01	0.15
Bario	mg/L	0.7	1	--
Bromo	mg/L	0.013	0.04	0.1
Cadmio	mg/L	3.4	3.4	3.4
Cromo	mg/L	0.003	0.005	0.01
Cobre	mg/L	3	3	3
Cromo Total	mg/L	0.05	0.05	0.05
Hierro	mg/L	0.3	1	5
Manganeso	mg/L	0.4	0.4	0.5
Mercurio	mg/L	0.001	0.002	0.002
Tricloruro	mg/L	0.02	--	--

14 NORMAS LEGALES Métricas 7 de junio de 2017 EPG Peruano				
Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Agua que pueden ser potabilizadas con desinfección	Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	ng/L	0.01	--	--
Pomo	ng/L	0.01	0.05	0.05
Selenio	ng/L	0.05	0.05	0.05
Urano	ng/L	0.05	0.05	0.05
Zinc	ng/L	5	5	5
ORGANICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₁₀ - C ₂₅)	ng/L	0.01	0.1	1.0
Trinitrofenol	(µg)	1.0	1.0	1.0
Bromoformo	ng/L	0.1	--	--
Cloroformo	ng/L	0.3	--	--
Dinitroclorometano	ng/L	0.1	--	--
Bromodinitroclorometano	ng/L	0.05	--	--
I. COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES				
1,1,1-Tricloroetano	ng/L	0.3	0.3	--
1,1-Dicloroetano	ng/L	0.05	--	--
1,2-Dicloroetano	ng/L	0.05	0.05	--
1,2-Dicloroetano	ng/L	1	--	--
Hexacloroetano	ng/L	0.0005	0.0005	--
Tricloroetano	ng/L	0.05	--	--
Tricloroetano de carbono	ng/L	0.005	0.005	--
Tetracloroetano	ng/L	0.07	0.07	--
HTX				
Etileno	ng/L	0.01	0.01	--
Clorobenceno	ng/L	0.3	0.3	--
Tolueno	ng/L	0.7	0.7	--
Xileno	ng/L	0.5	0.5	--
Hidrocarburos Aromáticos				
Benceno	ng/L	0.007	0.007	--
Pireno	ng/L	0.005	0.005	--
Organoclorados				
Aldrin	ng/L	0.15	0.005	--
Organoclorados				
Aldrin - Dieldrin	ng/L	0.0005	0.0005	--
Dieldrin	ng/L	0.005	0.005	--
DDT	ng/L	0.001	0.001	--
Endrin	ng/L	0.0005	0.0005	--
Heptaclor + Heptaclor Epóxido	ng/L	0.0005	0.0005	--
Lindano	ng/L	0.005	0.005	--
Organofosforados				
Aldicarb	ng/L	0.01	0.01	--
I. ORGANOFOSFORADOS				
Monocloro-LR	ng/L	0.001	0.001	--
II. PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS				
Metilparatión (PP)	ng/L	0.005	0.005	--
MICROBIOLOGICOS Y PARASITOLOGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	--	--
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	5.000	10.000
Formas Parasitarias	Nº Organismos/L	0	--	--
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	--	--
Virus cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, moluscos, nematodos, en todos sus estados evolutivos) (5)	Nº Organismos/L	0	<1x10 ⁶	<1x10 ⁶

(e) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitrato-N ($\text{NO}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 3,28 para expresarlo en unidades de Nitrato (NO_3).

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

$$\frac{C_{\text{Bromoforno}}}{ECA_{\text{Bromoforno}}} + \frac{C_{\text{Cloroforno}}}{ECA_{\text{Cloroforno}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{ECA_{\text{Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{ECA_{\text{Bromodichlorometano}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

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

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares. A 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	BI	BI2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICO- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	--
Cianuro Libre	mg/L	0,02	0,02
Cianuro Total	mg/L	0,28	--
Color	color verdadero Escala PtCo	sin cambio normal	sin cambio normal
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SARH)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Residuos Fijos de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$)	mg/L	10	--
Nitrato ($\text{NO}_2\text{-N}$)	mg/L	1	--
Olor	Factor de Olorión a 20°C	Aceptable	--
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	--
Sulfuro	mg/L	0,05	--
Turbiedad	UNT	100	--
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,3	--
Antimonio	mg/L	0,05	--
Arsenico	mg/L	0,01	--
Bario	mg/L	0,7	--

Parámetros	Unidad de medida	BI	BI2
		Contacto primario	Contacto secundario
Bario	mg/L	0,01	--
Boro	mg/L	0,3	--
Cadmio	mg/L	0,01	--
Cromo	mg/L	3	--
Cromo Total	mg/L	0,05	--
Cromo VI	mg/L	0,05	--
Hierro	mg/L	0,3	--
Manganeso	mg/L	0,1	--
Mercurio	mg/L	0,001	--
Níquel	mg/L	0,02	--
Plata	mg/L	0,01	0,05
Pomo	mg/L	0,01	--
Selenio	mg/L	0,01	--
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	--
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1000
Escherichia coli	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	Nº Organismo/L	0	--
Género Giardina	Nº Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	--
Salmonella spp	Presencia/100 ml	0	0
Vibr. cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

18

NORMAS LEGALES

Mediante Ley N° 26617 y Ley N° 26618

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

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equidemosos y bivalvos en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de recreamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICO-COLÓRIDO					
Acidez y Osmos	mg/L	1.0	1.0	2.0	1.0
Cloruro total	mg/L	0.004	0.004	--	0.004
Color (después de filtración simple) (a)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	--	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	--	10	10	10
Fosforo total	mg/L	0.002	0.002	--	0.002
Nitrato (NO ₃ -N) (c)	mg/L	14	14	--	14
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	n 4	n 3	n 3.5	n 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 - 8.5	6.8 - 8.5	6.8 - 8.5	6.8-8.5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	60	60	70	--
Sulfuro	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01
Temperatura	°C	a.3	a.3	a.3	a.3
INORGÁNICOS					
Amoníaco Total (NH ₄ -N)	mg/L	--	--	--	(1)
Antimonio	mg/L	0.04	0.04	0.04	--
Ársenico	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.1
Cadmio	mg/L	0.01	0.01	--	0.01
Cobalto	mg/L	0.001	0.01	0.01	0.1
Cromo VI	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.10
Mercurio	mg/L	0.0004	0.0001	0.0018	0.00017
Níquel	mg/L	0.002	0.1	0.04	0.004
Potasio	mg/L	0.0001	0.0001	0.01	0.0001
Selenio	mg/L	0.01	0.01	--	0.001
Talio	mg/L	--	--	--	0.0008
Zinc	mg/L	0.01	0.01	0.1	1.0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos totales de petróleo (fracción aromática)	mg/L	0.007	0.007	0.01	--
Bacterias Procariontas					
Bacterias Patogénicas (PCR)	mg/L	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
ORGANOLEPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	--
Microbiológico					
Coliformos Termotolerantes	NMP/100 ml	n 16 (Área aprobada) (d)	n 30	1000	100
	NMP/100 ml	n 88 (Área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitrato-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitrato (NO₃).

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

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

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

Nota 3:

- El símbolo "--" dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en aguas dulces (mg/L de NH₃).

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

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	201	170,0	23,7	1,32	0,23	0,100	0,060	0,042
5	162	68,3	10,3	4,84	1,04	0,402	0,172	0,094
10	102	22,8	10,3	1,36	1,04	0,303	0,137	0,070
15	69,7	22,0	6,98	1,32	0,716	0,230	0,089	0,050
20	48,0	16,7	4,92	1,04	0,499	0,177	0,067	0,034
25	33,0	10,6	3,37	1,08	0,284	0,120	0,042	0,022
30	23,7	7,60	2,39	0,767	0,206	0,080	0,032	0,017

Nota:

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

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

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	Dt: Riego de vegetales		Dt: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (a)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Físico-químicos				
Acidez y Alcalinidad	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	500		--
Cloruro total	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		--
Color (a)	Color verdadero Escala Pt Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2.000		2.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAR)	mg/L	0,3		0,3
Fosfatos	mg/L	0,02		0,01
Fluoruro	mg/L	1		--
Nitrato (NO ₃ -N) + Nitrito (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitrato (NO ₃ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	0,4		0,4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5		6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1.000		1.000
Temperatura	°C	± 3		± 3
Inorgánicos				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	Dt: Riego de vegetales		Dt: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (a)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsenico	mg/L	0,1		0,1
Bario	mg/L	0,3		--
Bromo	mg/L	0,1		0,1
Cromo	mg/L	1		1
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobalto	mg/L	0,3		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		--
Litio	mg/L	3,5		0,5
Magnesio	mg/L	--		0,05
Manganeso	mg/L	0,3		0,3
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Niquel	mg/L	0,3		1
Potasio	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	3		30
ORGANICOS				
Ácidos Polioxídicos				
Ácido fólico	mg/L	0,04		0,045
PLASUCIDAS				
Paracetamol	mg/L	30		30
Organoclorados				
Atrazín	mg/L	0,004		0,3
Clotrimazol	mg/L	0,004		7
Dicloro Difetil Hidroxifenil Indoloxano (DDT)	mg/L	0,001		30
Dieldrin	mg/L	0,3		0,3
Endosulfán	mg/L	0,01		0,01
Endrin	mg/L	0,004		0,3
Hepatoxilo y Hepatoxilo Epóxido	mg/L	0,01		0,03
Lindano	mg/L	4		4
Carbamatos				
Adicarb	mg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	MPN/100 ml	1.000	2.000	1.000
Coliformes fecales	MPN/100 ml	1.000	--	--
Huevo de Helmintos	Huevo/L	1	1	--

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

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

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

Nota 4:

- El símbolo "--" dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetro	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Sierra	Estuarios	Marinos
FÍSICO-QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MGP)	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Carbono Libre	mg/L	0,0002	0,0002	0,0002	0,001	0,001
Color (p)	Color verdadero Escala Pt/Co	30 (p)	30 (p)	30 (p)	--	--
Clorofila <i>a</i>	mg/L	0,008	--	--	--	--
Conductividad	(µmhos)	1.000	1.000	1.000	--	--
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fosfatos	mg/L	2,00	2,00	2,00	5,0	5,0
Fósforo total	mg/L	0,025	0,05	0,05	0,125	0,050
Nitratos (NO ₃) (p)	mg/L	13	13	13	300	300
Nitrosos Total (NH ₂)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno total	mg/L	0,215	--	--	--	--
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	n 5	n 5	n 5	n 4	n 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	n 35	n 100	n 400	n 700	n 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	± 3	± 3	± 3	± 3	± 3
INORGÁNICOS						
Aluminio	mg/L	0,64	0,64	0,64	--	--
Arsenico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Boro	mg/L	0,7	0,7	1	1	--
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0005	0,0005
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,0002	0,0002
Piombo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,001	0,001
Selenio	mg/L	0,0002	0,0002	0,0002	0,0011	0,0011
Zinc	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	--	--
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Componentes Orgánicos Volátiles						
hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorocíclico	mg/L	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
BTX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
hidrocarburos Aromáticos						
Benceno/pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Alifáticos Policíclicos						
Alifáticos Policíclicos (PCB)	mg/L	0,00004	0,00014	0,00014	0,00003	0,00003
PLASTICIZANTES						
Carbamato/urea						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,00003	0,00013	0,00013	--	--
Carbamato/urea						
Carb	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	--	--
Cloruro	mg/L	0,0000023	0,0000023	0,0000023	0,000004	0,000004
DDT (suma de 4,4'-DDT y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004
Endosulfen	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004
Endrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	0,000002	0,000002
Heptaclor	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004

El Peruano y Miércoles 7 de junio de 2017 **NORMAS LEGALES** 19

Parámetro	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y tierra	Tierra	Estuarios	Marinos
Residuo Orgánico	mg/L	0.000003	0.000003	0.000003	0.000003	0.000003
Límite	mg/L	0.0000	0.0000	0.0000	-	-
Pesticidas (POP)	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Cadmio						
Aguas	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001%	0.001%
Mercurio						
Columnas Termocloradas	MBP/100 ml	1.000	2.000	2.000	1.000	2.000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anómalo (para aguas que presentan coloración natural).
- (b) Después de la filtración simple.
- (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitrato-N ($\text{NO}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitrato (NO_3^-).
- A. 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5:

- El símbolo "" dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y la temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH_3) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3).

Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7.0	41.00	39.00	36.00	34.00	34.00	3.60	4.40	3.10
7.2	36.00	34.00	31.00	27.00	2.90	3.10	3.80	2.80
7.4	32.00	30.00	27.00	23.00	2.70	2.90	3.60	2.60
7.6	28.00	26.00	23.00	19.00	2.40	2.70	3.30	2.40
7.8	24.00	22.00	19.00	15.00	2.10	2.40	3.00	2.20
8.0	20.00	18.00	15.00	11.00	1.80	2.07	2.69	1.97
8.2	17.00	15.00	12.00	8.00	1.60	1.84	2.31	1.73
8.4	14.00	12.00	9.00	5.00	1.41	1.59	2.01	1.49
8.6	11.00	9.00	6.00	3.00	1.22	1.37	1.71	1.25
8.8	8.00	6.00	4.00	2.00	1.03	1.14	1.41	1.01
9.0	5.44	4.11	2.77	1.43	0.73	0.78	1.04	0.67
Salinidad 20 g/kg								
7.0	44.00	40.00	37.00	34.00	3.70	4.60	4.70	3.10
7.2	37.00	34.00	31.00	27.00	3.20	3.40	4.00	2.70
7.4	30.00	27.00	24.00	20.00	2.70	2.70	3.30	2.30
7.6	23.00	20.00	17.00	13.00	2.20	2.20	2.70	1.90
7.8	16.00	13.00	10.00	6.00	1.70	1.70	2.20	1.50
8.0	11.00	9.00	6.00	3.00	1.20	1.20	1.60	1.10
8.2	7.00	5.00	3.00	1.00	0.84	0.84	1.07	0.74
8.4	4.00	3.00	1.00	0.00	0.44	0.30	0.30	0.16
8.6	2.00	1.00	0.00	0.00	0.21	0.20	0.16	0.12
8.8	0.70	0.30	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.08
9.0	0.47	0.24	0.00	0.00	0.11	0.10	0.08	0.07
Salinidad 30 g/kg								
7.0	47.00	43.00	40.00	37.00	4.00	5.00	5.00	3.40
7.2	39.00	36.00	33.00	29.00	3.50	3.50	4.10	2.90
7.4	32.00	29.00	26.00	22.00	3.00	3.00	3.60	2.60
7.6	25.00	22.00	19.00	15.00	2.50	2.50	3.10	2.20
7.8	18.00	15.00	12.00	8.00	2.00	2.00	2.60	1.80
8.0	13.00	10.00	7.00	3.00	1.50	1.50	1.90	1.30
8.2	9.00	7.00	4.00	1.00	1.00	1.00	1.30	0.90
8.4	5.00	3.00	1.00	0.00	0.41	0.29	0.29	0.17
8.6	2.70	1.50	0.00	0.00	0.19	0.16	0.16	0.12
8.8	1.20	0.60	0.00	0.00	0.08	0.08	0.08	0.07
9.0	0.87	0.44	0.00	0.00	0.11	0.10	0.08	0.07

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
7.0	4.70	4.70	3.90	3.40	3.40	3.70	4.50	3.30
7.2	3.90	3.70	3.40	2.90	2.90	3.20	3.90	2.90
7.4	3.20	3.00	2.70	2.20	2.20	2.40	3.10	2.30
7.6	2.50	2.30	2.00	1.50	1.50	1.70	2.40	1.70
7.8	1.80	1.60	1.30	0.80	0.80	0.90	1.20	0.90
8.0	1.30	1.10	0.80	0.40	0.40	0.40	0.50	0.40
8.2	0.90	0.70	0.50	0.20	0.20	0.20	0.20	0.16
8.4	0.60	0.40	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
8.6	0.30	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
8.8	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
9.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03

Notas:

(*) El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7.0 a 9.0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/l. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (20, 30 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

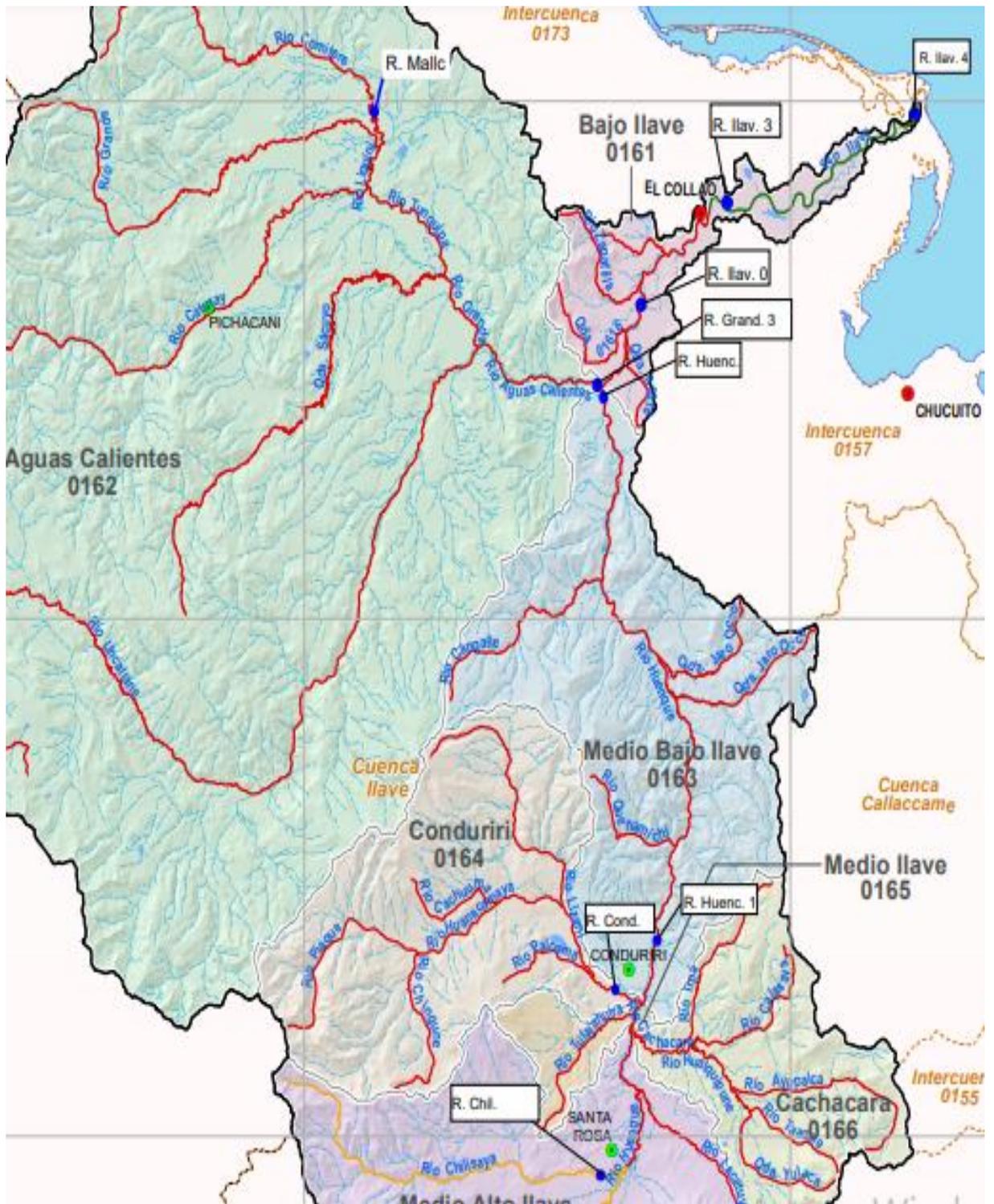
(**) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N ($\text{NH}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH_3).

NOTA GENERAL:

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

1529835-2

Anexo 3. Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua en la cuenca llave para la categoría ECA 1-A2



Anexo 4. Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua en la cuenca Ilave para la categoría ECA 3-D1



Anexo 6. Resultados de los parámetros físico químico y microbiológico evaluados en cada estación para la categoría ECA 1-A2 durante seis años

a) pH

Época Húmeda

Época

Seca

	R. Mall	R. Grand 3	R. Cond	R. Huenc	R. Ilav 0				R. Mall	R. Grand 3	R. Cond	R. Huenc	R. Ilav 0
2º MP Mar. 2016	8.6	8.7	8.7	8.7	8.6			1º MP Oct. 2015	8.1	8	7.8	7.5	8
5º MP Dic. 2017	7.9	8.3	7.7	8.2	8.2			3º MP Set. 2016	9	8.8	9	8.7	8.6
6º MP Abr. 2018	7.9	8.5	7.4	7.8	8.2			4º MP Agos. 2017	7.9	8.3	8.9	8.3	7.6
8º MP Mar. 2019	8	8.3	8.2	8.1	8.3			7º MP Set. 2018	7.6	8.4	7.6	8.1	8
10º MP Mar. 2020	8.8	8.6	8.2	8.67	8.6			9º MP Set. 2019	7.6	9	8.5	8.4	8.3
LMP	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5			Set. 2020	9.31	8.74	8.1	8.74	8.72
	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5			LMP	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
									8.5	8.5	8.5	8.5	8.5

b) Demanda Bioquímica de Oxígeno

Época Húmeda

Época

Seca

	R. Mall	R. Grand 3	R. Cond	R. Huenc	R. Ilav 0				R. Mall	R. Grand 3	R. Cond	R. Huenc	R. Ilav 0
2º MP Mar. 2016	5	2.9	2.9	2.9	4			1º MP Oct. 2015	3	3	3	3	3
5º MP Dic. 2017	3	3	1.9	1.9	3			3º MP Set. 2016	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
6º MP Abr. 2018	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9			4º MP Agos. 2017	3	3	1.9	1.9	3
8º MP Mar. 2019	1.9	6.2	1.9	1.9	1.9			7º MP Set. 2018	1	1	1	1	1
10º MP Mar. 2020	2	2	2	2	2			9º MP Set. 2019	20	1.9	1.9	1.9	1.9
LMP	5	5	5	5	5			11º MP Set. 2020	2	2	2	2	2
								LMP	5	5	5	5	5

c) **Arsénico**

Época Húmeda

Época

Seca

	R. Mall	R. Grand 3	R. Cond	R. Huenc	R. Ilav 0				R. Mall	R. Grand 3	R. Cond	R. Huenc	R. Ilav 0	
2º MP Mar. 2016	0.0069	0.0069	0.0069	0.02	0.0069			1º MP 2015	Oct.	0.0101	0.001	0.001	0.0212	0.0148
5º MP Dic. 2017	0.00305	0.00517	0.00367	0.0236	0.0176			3º MP 2016	Set.	0.0069	0.016	0.0069	0.032	0.027
6º MP Abr. 2018	0.00269	0.00431	0.00439	0.02	0.0115			4º MP Agos. 2017		0.00305	0.00517	0.00367	0.0236	0.0176
8º MP Mar. 2019	0.00266	0.00455	0.00473	0.01852	0.01225			7º MP 2018	Set.	0.00215	0.00587	0.00305	0.02286	0.02049
10º MP Mar. 2020	0.0029	0.0049	0.0039	0.0158	0.0085			9º MP 2019	Set.	0.0023	0.0056	0.0053	0.0228	0.0194
LMP	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01			11º MP Set. 2020		0.0046	0.0136	0.0227	0.0246	0.015
								LMP		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

d) **Hierro**

Época Húmeda

Época

Seca

	R. Mall	R. Grand 3	R. Cond	R. Huenc	R. Ilav 0				R. Mall	R. Grand 3	R. Cond	R. Huenc	R. Ilav 0	
2º MP Mar. 2016	0.474	0.031	0.08	0.06	0.037			1º MP 2015	Oct.	0.1852	0.0195	0.0518	0.0936	0.1347
5º MP Dic. 2017	0.5943	0.0117	0.0304	0.0644	0.1557			3º MP 2016	Set.	0.702	0.064	0.032	0.088	0.147
6º MP Abr. 2018	0.2827	0.1096	0.084	0.3474	0.1371			4º MP Agos. 2017		0.5943	0.0117	0.0304	0.644	0.1557
8º MP Mar. 2019	0.395	0.144	0.3921	0.3343	0.3303			7º MP 2018	Set.	0.3412	0.0546	0.018	0.0645	0.1926
10º MP Mar. 2020	0.431	1.229	0.564	0.58	0.556			9º MP 2019	Set.	0.4	0.073	0.893	0.122	0.331
LMP	1	1	1	1	1			11º MP Set. 2020		0.479	0.236	0.054	0.066	0.091
								LMP		1	1	1	1	1

e) **Manganeso**

Época Húmeda

Época

Seca

	R. Mall	R. Grand 3	R. Cond	R. Huenc	R. Ilav 0				R. Mall	R. Grand 3	R. Cond	R. Huenc	R. Ilav 0
2º MP Mar. 2016	0.066	0.016	0.014	0.032	0.054			1º MP Oct. 2015	0.0737	0.0442	0.0139	0.0329	0.2543
5º MP Dic. 2017	0.289	0.01748	0.0064	0.0477	0.22103			3º MP Set. 2016	0.441	0.055	0.01	0.052	0.264
6º MP Abr. 2018	0.08274	0.01542	0.015	0.0489	0.04206			4º MP Agos. 2017	0.35172	0.01748	0.0064	0.04779	0.27103
8º MP Mar. 2019	0.08937	0.01882	0.03792	0.03432	0.03729			7º MP Set. 2018	0.11282	0.0399	0.0098	0.0572	0.34783
10º MP Mar. 2020	0.0304	0.0716	0.0514	0.0356	0.0387			9º MP Set. 2019	0.0643	0.0387	0.0748	0.0317	0.1552
LMP	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4			11º MP Set. 2020	0.2843	0.0491	0.0487	0.058	0.1323
								LMP	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

f) **Coliformes termo tolerantes**

Época Húmeda

Época

Seca

	R. Mall	R. Grand 3	R. Cond	R. Huenc	R. Ilav 0				R. Mall	R. Grand 3	R. Cond	R. Huenc	R. Ilav 0
2º MP Mar. 2016	23	2	230	4.5	4.5			1º MP Oct. 2015	7.8	2	230	4.5	33
5º MP Dic. 2017	1.79	2	7.8	17	220			3º MP Set. 2016	17	330	14	33	49
6º MP Abr. 2018	240	170	130	220	1100			4º MP Agos. 2017	1.79	2	3500	17	220
8º MP Mar. 2019	1700	0	21	46	1100			7º MP Set. 2018	33	1.7	17	0	1.7
10º MP Mar. 2020	280	790	1.8	330	33			9º MP Set. 2019	79	1.79	7.8	11	7.8
LMP	2000	2000	2000	2000	2000			11º MP Set. 2020	33	22	79	9.3	33
								LMP	2000	2000	2000	2000	2000

Anexo 7. Resultados de los parámetros físico químico y microbiológico evaluados en cada estación para la categoría ECA 3-D1 durante seis años

a) Coliformes Termo tolerantes

Época Húmeda

Época

Seca

	R. Ilav 3	R. Ilav 4						R. Ilav 3	R. Ilav 4	
								1º MP Oct. 2015	49	1
2º MP Mar. 2016	7000	2						3º MP Set. 2016	330	2
5º MP Dic. 2017	170	13						4º MP Agos. 2017	170	13
6º MP Abr. 2018	17000	27						7º MP Set. 2018	790	33
8º MP Mar. 2019	17000	790						9º MP Set. 2019	130	11
10º MP Mar. 2020	1700	2200						11º MP Set. 2020	330	7.8
LMP	1000	1000						LMP	1000	1000

b) pH

Época Húmeda

Época

Seca

	R. Ilav 3	R. Ilav 4						R. Ilav 3	R. Ilav 4	
								1º MP Oct. 2015	9.1	8.5
2º MP Mar. 2016	8.8	8.9						3º MP Set. 2016	8.5	9.2
5º MP Dic. 2017	8.5	8.5						4º MP Agos. 2017	8.1	8.7
6º MP Abr. 2018	8.9	8.5						7º MP Set. 2018	8.5	9.2
8º MP Mar. 2019	6.9	8.3						9º MP Set. 2019	8.9	9.5
10º MP Mar. 2020	9.6	8.57						11º MP Set. 2020	8.67	9.34
LMP	6.5	6.5					LMP	6.5	6.5	
	8.5	8.5						8.5	8.5	

c) **Manganeso**

Época Húmeda

Época

Seca

	R. Ilav 3	R. Ilav 4						R. Ilav 3	R. Ilav 4	
2º MP Mar. 2016	0.148	0.065						1º MP Oct. 2015	0.166	0.1448
5º MP Dic. 2017	0.33013	0.4686						3º MP Set. 2016	0.202	0.103
6º MP Abr. 2018	0.03552	0.03407						4º MP Agos. 2017	0.36013	0.5988
8º MP Mar. 2019	0.04395	0.03824						7º MP Set. 2018	0.13574	0.16716
10º MP Mar. 2020	0.0471	0.0497						9º MP Set. 2019	0.1735	0.1496
LMP	0.2	0.2						11º MP Set. 2020	0.1286	0.1317
								LMP	0.2	0.2

Anexo 8. Resultados de los parámetros físico químico y microbiológico evaluados en cada estación para la categoría ECA 4-E2 durante seis años.

a) **pH**

Época Húmeda

Época

Seca

	R. Chil	R. Chic	R. Huenc 1					R. Chil	R. Chic	R. Huenc 1	
2º MP Mar. 2016	8.4	8.2	8.2					1º MP Oct. 2015	9	8.2	8
5º MP Dic. 2017	7.5	8.5	7.8					3º MP Set. 2016	8	8.6	8.7
6º MP Abr. 2018	8.2	7.3	7.8					4º MP Agos. 2017	8.3	8.2	8.3
8º MP Mar. 2019	7.3	7.6	8.1					7º MP Set. 2018	8.1	8.7	8.2
10º MP Mar. 2020	8.1	8.84	8.16					9º MP Set. 2019	8.3	8.3	8.6
LMP	6.5	6.5	6.5					11º MP Set. 2020	8.37	8.95	8.6
	8.5	8.5	8.5					LMP	6.5	6.5	6.5
									8.5	8.5	8.5

b) **Coliformes Termotolerantes**

Época Húmeda

Época

Seca



	R. Chil	R. Chic	R. Huenc 1					R. Chil	R. Chic	R. Huenc 1
2º MP Mar. 2016	490	220	79				1º MP Oct. 2015	1.8	790	4.5
5º MP Dic. 2017	900	220	70				3º MP Set. 2016	33	110	14
6º MP Abr. 2018	170	220	170				4º MP Agos. 2017	3500	220	70
8º MP Mar. 2019	220	1.79	220				7º MP Set. 2018	110	46	27
10º MP Mar. 2020	1.8	70	490				9º MP Set. 2019	27	46	6.8
LMP	2000	2000	2000				11º MP Set. 2020	17	20	22
							LMP	2000	2000	2000

Anexo 10. cuadro de cálculos detallados del ICA-PE para los puntos de monitoreo para la categoría ECA 3-DI

parametros a evaluar- CCME- WQI	ECA	D1	R. Iliav 3										R. Iliav 4											
			Cat3-1º MP	1º MP	2º MP	3º MP	4º MP	5º MP	6º MP	7º MP	8º MP	9º MP	10º MP	11º MP	1º MP	2º MP	3º MP	4º MP	5º MP	6º MP	7º MP	8º MP	9º MP	10º MP
			Oct. 2015	Mar. 2016	Set. 2016	Agos. 2017	Dic. 2017	Abr. 2018	Set. 2018	Mar. 2019	Set. 2019	Mar. 2020	Set. 2020	Oct. 2015	Mar. 2016	Set. 2016	Agos. 2017	Dic. 2017	Abr. 2018	Set. 2018	Mar. 2019	Set. 2019	Mar. 2020	Set. 2020
pH		6.5	8.5	9.1	8.8	8.5	8.1	8.5	8.9	8.9	8.9	9.6	8.67	8.5	8.9	9.2	8.7	8.5	8.5	8.5	8.3	9.5	8.57	9.34
Conductividad	µS/cm	2500	1420	700	1095	693	849	615	694.9	881.9	693.2	579	670.1	590	600.1	710	683	887	697	684.3	314.8	666.9	376.3	680.2
Nitritos	mg/L	10	0.06	0.05	0.005	0.0039	0.0009	0.0039	0.003	0.0149	0.102	0.004	0.004	0.06	0.005	0.005	0.0039	0.0039	0.0039	0.0149	0.0149	0.0149	0.004	0.004
DBO	mg/L	15	<3	2.9	2.9	3	3	1.9	1	1.9	1.9	2	2	4	2.9	<3	1.9	1.9	1.9	3	1.9	1.9	2	2
Arsenico	mg/L	0.1	<0.001	0.011	0.007	0.0169	0.0169	0.0127	0.018	0.0194	0.0194	0.094	0.014	0.001	0.013	0.011	0.0185	0.0185	0.01329	0.01703	0.01328	0.0172	0.0092	0.0164
Cadmio	mg/L	0.01	0.001	0.00018	0.00018	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.0001	0.0002	0.00009	0.00018	0.00018	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.0002
Cobre	mg/L	0.2	0.002	0.004	0.0019	0.00029	0.00029	0.0024	0.00088	0.00214	0.002	0.0031	0.003	0.002	0.004	0.002	0.0035	0.0035	0.00114	0.00048	0.00237	0.002	0.003	0.003
Cromo	mg/L	0.1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0007
Hierro	mg/L	5	0.079	0.143	0.105	0.1253	0.1253	0.1075	0.0796	0.3559	0.212	0.655	0.093	0.091	0.099	0.082	0.2628	0.208	0.0955	0.0547	0.4034	0.131	0.788	0.056
Manganeso	mg/L	0.2	0.166	0.148	0.202	0.36013	0.36013	0.08532	0.1374	0.04395	0.1735	0.0471	0.1286	0.1448	0.065	0.103	0.5988	0.4686	0.09407	0.16716	0.03824	0.1496	0.0497	0.1317
Mercurio	mg/L	0.001	0.0001	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00002	0.00009	0.00009	0.00005	0.00005	0.000029	0.00009	0.00009	0.000029	0.000029	0.000029	0.000029	0.000029	0.000029	0.000029	0.00005
Plomo	mg/L	0.05	0.001	0.0009	0.0009	0.00019	0.00019	0.0003	0.0001	0.0009	0.0012	0.0018	0.0002	0.0001	0.0009	0.001	0.0002	0.00019	0.0002	0.0001	0.001	0.001	0.0008	0.0002
Zinc	mg/L	2	0.014	0.007	0.0039	0.009	0.009	0.099	0.009	0.009	0.159	0.013	0.008	0.0071	0.007	0.019	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.024	0.011
Colif. Termotol.	NMP/100ml	1000	49	7000	330	170	170	17000	790	17000	130	1700	330	1	2	2	13	13	27	33	790	11	2200	7.8
Numeros de parametros que no cumplen			3										2											
Numeros de parametros a evaluar			14										14											
Numeros de datos que no cumplen el ECA			12										10											
Numero total de datos			154										154											
F1			21.43										14.29											
F2			7.79										6.49											
pH			0.071	0.095				0.047				0.047	0.129	0.020		0.047	0.024			0.082		0.11764706	0.00823529	0.09882353
Conductividad	µS/cm																							
fosforo	mg/L																							
DBO	mg/L																							
Arsenico	mg/L																							
Cadmio	mg/L																							
Cobre	mg/L																							
Cromo	mg/L																							
Hierro	mg/L																							
Manganeso	mg/L				0.010	0.801	0.651										1.994	1.343						
Mercurio	mg/L																							
Plomo	mg/L																							
Zinc	mg/L																							
Colif. Termotol.	NMP/100ml			6.000				16.000		16.000		0.700												1.2
Sumatoria de los excedentes			0.263										0.032											
F3			20.827										3.143											
ICA-CCME			82.171										90.760											
			BUENO										BUENO											

Anexo 12. Matriz de correlación

