

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL
DEL AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO MASHCÓN
MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO ICA-
NSF”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Autores:

Gianfranco Machuca Pereyra

Marco Antonio Eugenio Leiva

Asesor:

Mg. Blgo. Marco Alfredo Sánchez Peña

<https://orcid.org/0000-0001-8773-6632>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	LICAPA REDOLFO GLADYS SANDI	41379556
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	DÍAZ RUIZ JULIAN RICARDO	09294063
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	VEGA ERAS MARYURI YOHANA	40731433
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO MASHCÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO ICA-NSF

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Ana M. Guerrero-Padilla, Carlos F. Cabrera-Carranza. "Calidad de agua de uso agrícola en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú", Tecnología y ciencias del agua, 2021 <small>Publicación</small>	5%
2	tesis.ucsm.edu.pe <small>Fuente de Internet</small>	1%
3	repositorio.lamolina.edu.pe <small>Fuente de Internet</small>	1%
4	Submitted to Universidad Santo Tomas <small>Trabajo del estudiante</small>	1%
5	Ana Karina Alcívar-Cedeño. "Índice de calidad como indicador de efectividad en la potabilización del agua del río Carrizal", Tecnología y ciencias del agua, 2023 <small>Publicación</small>	1%
6	J. García-González, M.A. Osorio-Ortega, R.A. Saquicela-Rojas, M.L. Cadme. "Determinación	<1%

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a Dios en primer lugar, por habernos permitido llegar hasta este punto de nuestras vidas y habernos dado salud para lograr nuestros objetivos profesionales y personales.

A nuestras madres, por el apoyo incondicional que solamente ellas nos podían dar, por la confianza y la fe depositadas en nosotros para poder ver este sueño hecho realidad.

A nuestros amigos y familiares que siempre creyeron en nosotros y nos acompañaron en este largo camino con sus positivos consejos.

A todos ustedes agradecerles infinitamente por tanto apoyo y cariño.

AGRADECIMIENTO

El principal agradecimiento a Dios, quien nos ha guiado y nos ha dado fuerzas para
seguir adelante y nunca rendirnos.

A nuestras familias por el apoyo incondicional, comprensión y estímulo constante que
han tenido con nosotros a lo largo de nuestra vida universitaria.

Gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación, que deja
como producto terminado este grupo de graduados y como prueba esta tesis, que perdurará
dentro de los conocimientos y el desarrollo de las demás generaciones que llegarán.

Y a todas las personas que de alguna manera nos han apoyado y contribuido para el
desarrollo de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDOS

<i>JURADO EVALUADOR</i>	2
<i>INFORME DE SIMILITUD</i>	3
<i>DEDICATORIA</i>	4
<i>AGRADECIMIENTO</i>	5
<i>TABLA DE CONTENIDOS</i>	6
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	8
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	10
<i>ÍNDICE DE ECUACIONES</i>	12
<i>RESUMEN</i>	13
<i>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</i>	14
1.1. Realidad problemática	14
1.2. Formulación del problema	46
1.3. Objetivos	46
1.3.1. Objetivo general	46
1.3.2. Objetivos específicos	46
1.4. Hipótesis	47
1.4.1. Hipótesis nula.....	47
1.4.2. Hipótesis alterna	47
<i>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA</i>	48
2.1. Tipo de investigación	48
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	49
2.3. Materias, instrumentos y métodos	50
2.4. Procedimiento	51
2.4.1. Revisión sistemática	53
2.5. Aspectos éticos	72
<i>CAPÍTULO III. RESULTADOS</i>	74
3.1. Resultados de la revisión	74
3.2. Parámetros del ICA-NSF evaluados en los estudios seleccionados	80
3.3. Evaluación del cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental	82
3.4. Resultados del ICA-NSF por estudio	84

3.5. Resultado general del ICA-NSF por estudio según los puntos de muestreo.....	94
3.6. Resultados del Índice de Calidad Ambiental del Agua por año de evaluación	95
3.7. Resultados del Índice de Calidad Ambiental del Agua por zona de la cuenca	96
3.8. Resultados del análisis estadístico de datos	105
3.9. Propuesta de una red de monitoreo de la calidad ambiental del agua	109
<i>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</i>	114
4.1. Discusión	114
Limitaciones	120
Implicancias.....	121
4.2. Conclusiones.....	122
<i>REFERENCIAS.....</i>	124
<i>ANEXOS.....</i>	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución del agua en la tierra	28
Tabla 2. Categorización del agua según el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM.....	38
Tabla 3. Solubilidad de oxígeno en agua dulce.....	63
Tabla 4. Estándares de Calidad Ambiental, categoría 3 de los parámetros del método ICA-NSF.....	64
Tabla 5. Pesos relativos de los parámetros que conforman el ICA-NSF	65
Tabla 6. Clasificación de la calidad del agua según el ICA-NSF	72
Tabla 7. Estudios seleccionados a partir de la revisión sistemática	75
Tabla 8. Promedios de los parámetros propuestos por el ICA-NSF según cada estudio	81
Tabla 9. Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Escalante (2018).....	85
Tabla 10. Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Lara (2018).....	86
Tabla 11. Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Nippon Koei (2010)	87
Tabla 12. Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Johnson (2012)	88
Tabla 13. Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Azabache (2018)	89
Tabla 14. Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Palomino (2018)	90

Tabla 15. Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Rodríguez (2019).....	91
Tabla 16. Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Calla (2019).....	92
Tabla 17. Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de la ANA (2020).....	93
Tabla 18. Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Calua y Carrasco (2021).....	94
Tabla 19. ICA-NSF total según cada autor	95
Tabla 20. Datos estadísticos de los parámetros propuestos por el método ICA-NSF según cada autor.....	107
Tabla 21. Datos estadísticos de los resultados del ICA-NSF según cada autor	108
Tabla 22. Coordenadas UTM de los puntos fijos de la red de monitoreo de la calidad del agua propuesta	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca hidrográfica.....	23
Figura 2. Partes de una cuenca hidrográfica	26
Figura 3. Mapa de ubicación de la zona de estudio	40
Figura 4. Flujograma del procedimiento metodológico	52
Figura 5. Diagrama del proceso de la selección de estudios.....	57
Figura 6. Mapa de ubicación de los puntos de estudio	59
Figura 7. Mapa de la delimitación del área de estudio.....	61
Figura 8. Curva de función de pH.....	67
Figura 9. Curva de función del cambio de temperatura	67
Figura 10. Curva de función de turbidez.....	68
Figura 11. Curva de función de TDS	68
Figura 12. Curva de función de saturación de oxígeno.....	68
Figura 13. Curva de función de DBO ₅	69
Figura 14. Curva de función de nitratos	69
Figura 15. Curva de función de fosfatos	70
Figura 16. Curva de función de coliformes termotolerantes.....	70
Figura 17. Evaluación del ECA-C3 de pH.....	82
Figura 18. Evaluación del ECA-C3 de DBO ₅	83
Figura 19. Evaluación del ECA-C3 de coliformes termotolerantes.....	84
Figura 20. ICA-NSF por año de evaluación.....	96
Figura 21. ICA-NSF de la cuenca alta del río Mashcón	98
Figura 22. ICA-NSF de la cuenca media del río Mashcón	100

Figura 23. ICA-NSF de la cuenca baja del río Mashcón	103
Figura 24. ICA-NSF según la zona de la cuenca del río Mashcón	104
Figura 25. Mapa de los puntos de la red de monitoreo de la calidad del agua propuesta.....	110

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (1)	62
Ecuación (2)	64
Ecuación (3)	66
Ecuación (4)	66

RESUMEN

El deterioro de la calidad del agua es un problema de carácter mundial muy preocupante por incrementarse en gran medida a través del tiempo, en relación al desarrollo de las actividades antropogénicas y la expansión urbana. En la ciudad de Cajamarca, una de las cuencas más influenciadas por este tipo de actividades y situaciones es la del río Mashcón, ubicada entre los distritos de Cajamarca y Los Baños del Inca. Es por ello, que la presente investigación tuvo como objetivo determinar la calidad ambiental del agua de dicha cuenca mediante la aplicación del método ICA-NSF, para lo que se seleccionaron 10 estudios previos a partir de una revisión sistemática de literatura, de los cuales se extrajeron datos relevantes de al menos 5 de los 9 parámetros propuestos por el ICA-NSF de 101 puntos ubicados en la cuenca. El resultado promedio de la evaluación clasificó a la calidad del agua de la cuenca el río Mashcón como Media, significando de esta manera que las actividades que se llevan a cabo en esta zona, están contaminando las agua, pudiendo influir dañinamente en la salud de las personas, los animales y del ambiente.

Palabras clave: Cuenca del río Mashcón, índice de calidad, calidad del agua, ICA-NSF.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Uno de los principales problemas ambientales que se viene afrontando en todo el mundo desde hace muchos años es la contaminación de las fuentes de agua. A pesar de que el recurso hídrico es fundamental para el desarrollo de la vida, en los últimos años este tipo de contaminación ha ido acrecentándose, de tal manera que la calidad del agua está deteriorándose progresivamente, llegando incluso en ocasiones a alcanzar niveles alarmantes de polución. Esto produce serios problemas de salud pública, afectando así no solo a las personas y animales, sino también al ambiente (Gómez-Duarte, 2018).

La situación actual referente a la problemática de la contaminación del agua y del ambiente se presenta en varios casos en niveles altos y críticos, por lo general en países de escasos recursos, donde comúnmente las ciudades grandes o medianas no tienen implementadas plantas de tratamiento (Gómez-Duarte, 2018), por lo que es muy común que en estos lugares se viertan aguas residuales directamente en los sistemas acuáticos, siendo los ríos los más afectados por ser las áreas principales de descargas desde el asentamiento de las primeras ciudades, lo que ha generado con el tiempo grandes impactos y complicaciones para el hombre (Palomino, 2018).

En América Latina, más del 80 % de la población habita en las ciudades. Sin embargo, el agua es escasa e insuficiente. Además de ello, el 70 % de las aguas residuales no cuentan con un tratamiento previo a su vertimiento, dificultado así el ciclo del agua a causa de la contaminación que presenta. Esta contaminación puede ocurrir en un nivel primario, secundario o terciario y las sustancias contaminantes pueden ser de tipo orgánico e inorgánico. Sin

embargo, en todos los casos, esta situación pone en riesgo la salud pública según la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Larios- Meoño et al., 2015).

El Perú, al igual que muchos de otros países de Latinoamérica, no es ajeno a esta situación, por lo que al no mantener una adecuada gestión de los vertimientos de aguas residuales y de residuos sólidos provenientes de las principales actividades económicas que se desarrollan en el territorio, se originan severos daños en los ecosistemas acuáticos. Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2015), se considera que en el país se descargan anualmente 960.5 MMC de desagüe, distribuidos en las aguas superficiales, subterráneas y marinas; de esta cantidad, el 64 % corresponde a los desagües domésticos, el 5.6 % a los industriales, el 4.4 % a los pesqueros, el 25.4 % a los efluentes mineros y el 0.2 % a los petroleros. Todas estas actividades causan impactos negativos en el recurso hídrico y por lo tanto también en las aguas subterráneas, aspectos sociales, económicos, culturales y estéticos de las cuencas, por ser factores ambientales directos.

La cuenca hidrográfica del río Mashcón, está ubicada entre los distritos de Cajamarca y Los Baños del Inca y es una de las más afectadas por el mal accionar de los pobladores y autoridades, debido a que se vierten las aguas residuales domésticas provenientes de la zona baja de la ciudad de Cajamarca y almacena gran cantidad de residuos sólidos; además de desarrollarse actividades como la agricultura, ganadería, extracción de madera, extracción de material de construcción y lavado de vehículos, con lo que se insertan contaminantes a los cuerpos de agua, modificando negativamente su calidad.

Tras la problemática existente en esta zona, se decidió determinar la calidad de las aguas de esta cuenca, ya que influyen directamente en la salud de la población cajamarquina, pues, el río Porcón y el río Grande que pertenecen a la cuenca alta y media abastecen de agua natural a la Planta de Tratamiento de Agua Potable “El Milagro” a cargo de la E.P.S. SEDACAJ, para

luego ser distribuida en la parte baja de la ciudad de Cajamarca. Además, las aguas del río Mashcón que pertenece a la parte baja de la cuenca, están clasificadas como categoría 3, que permite su uso para riego de vegetales y bebida de animales, de esta manera se aportan sustancias contaminantes a los productos interfiriendo en su calidad y afectando a sus consumidores.

La presente investigación tiene como propósito la fomentación de información y la incitación a realizar estudios relacionados a la calidad del agua en esta cuenca y en otras que se muestren afectadas por diversas causas, ya que a través de los resultados obtenidos se pueden verificar las condiciones en las que se encuentran los cuerpos de agua y si su calidad es apta para los usos actuales que se les da. De esta manera, también se pueden tomar acciones por parte de las autoridades e instituciones para el control y manejo del grado de contaminación que se presente según sea el caso, pues, al no ser así, se podrían visualizar con el tiempo resultados lamentables que impliquen la destrucción de la biodiversidad, la contaminación de la cadena trófica por el uso del agua contaminada para el riego de vegetales y para la bebida de animales, y por lo tanto el aumento de la frecuencia de enfermedades en las personas, e incluso en algunas situaciones la destrucción total del sistema hídrico afectado.

Antecedentes

Como antecedente internacional se presenta el estudio de Fontalvo-Julio y Tamaris-Turizo (2018), titulado “Calidad del agua de la parte baja del río Córdoba (Magdalena, Colombia), usando el ICA-NSF”, donde se tuvo como objetivo la evaluación de la calidad fisicoquímica de la parte baja del río Córdoba, mediante el índice ICA-NSF, por ser considerado uno de los ríos más importantes en el departamento de Magdalena, Colombia, al utilizarse sus aguas en actividades como agricultura, pesca, turismo y consumo humano. Para el análisis, se establecieron seis lugares de muestreo y se realizaron cuatro campañas de monitoreo,

incluyendo el periodo de sequía y el de lluvia. En cada uno de los lugares seleccionados se identificó un tramo de forma recta (100 m aproximadamente) con flujo uniforme para lograr medir pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura y caudal. Además, se tomaron muestras para identificar en laboratorio, valores de alcalinidad, color verdadero, dureza total, DQO, DBO₅, hierro total, nitritos, nitratos, fosfatos, sólidos totales, sólidos suspendidos, turbiedad y coliformes totales y fecales. Al haber obtenido todos los resultados se calculó el ICA-NSF. Se obtuvieron valores mayores en el periodo de sequía, oscilando entre 60.3 y 72.4; mientras que, en el periodo de lluvia, oscilaron entre 52.6 y 63.6. A partir de ello, se concluyó que el agua de la parte baja del río Córdoba presentaba una calidad categorizada como Regular y Buena, por lo que no fue considerado un riesgo para la biota del sistema.

Otro estudio que se presenta es el de Javid et al. (2014), titulado “An evaluation of water quality from Mojen River, by NSF WQI index”, donde se tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua del río Mojen a través del índice propuesto por The National Science Foundation (NSF). Para ello, se establecieron seis estaciones de monitoreo; dos estaciones ubicadas aguas arriba, dos ubicadas en corriente media y dos en aguas abajo. Los monitoreos se realizaron durante los años 2013 y 2014, y se consideraron parámetros como turbidez, DBO₅, oxígeno disuelto, coliformes fecales, nitratos, pH, temperatura, sólidos totales y fosfatos. Al haber obtenido todos los valores, se procedió a aplicar el índice NSF WQI, teniendo en cuenta los subíndices para cada parámetro de las curvas de conversión. Los resultados oscilaron entre 52 y 62, representado una clase C en todos los puntos de monitoreo, categorizando al río con una calidad Media. Con esto se llegó a concluir que el río Mojen se encontraba en un proceso de deterioro a causa de la industrialización y las actividades humanas.

También, se tomó como referencia el estudio de Effendi et al. (2015), el cual se titula “Water quality status of Ciambulawung River, Banten Province, based on pollution index and

NSF-WQI”. El objetivo de este estudio se basó en la determinación de la condición de la calidad del agua del río Ciambulawung, ubicado en Lebakpicung Kampong, en Indonesia, pues, este río es utilizado para la generación de energía eléctrica y, por lo tanto, es influenciado por actividades antropogénicas. Para la evaluación de dicho río, se establecieron tres estaciones de monitoreo y se realizaron tres campañas de muestreo, donde se analizaron parámetros como, temperatura, turbiedad, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (TDS), pH, oxígeno disuelto, DBO₅, COD, amoníaco, nitritos, nitratos y fosfatos. Al aplicar el índice propuesto por la NSF, se obtuvo como resultado un valor de 87 en las dos primeras estaciones y un valor de 88 en la tercera estación, con lo que se logró concluir que la calidad del agua del río Ciambulawung se clasificaba como Buena, lo que indicó que las actividades antropogénicas no tenían un efecto negativo en el río hasta la fecha.

Como antecedente nacional se tuvo como referencia a la investigación realizada por Sánchez et al. (2021) titulada “Calidad del agua del río Ichu en zonas urbanas del distrito de Huancavelica según ICA-NSF”, en donde se plantearon como objetivo identificar la calidad del agua del río Ichu, pues, en su recorrido por la zona urbana es influenciado de manera directa por las características ecológicas, geográficas, fisiográficas y biológicas. Para ello, se seleccionaron seis puntos de muestreo a lo largo del río (todos ubicados en el distrito de Huancavelica). Las muestras de agua se tomaron siguiendo el método propuesto por American Public Health Association (APHA). A partir de las muestras, se analizaron coliformes fecales, pH, oxígeno disuelto, DBO₅, nitratos, fosfatos totales, temperatura, turbidez y TDS, lo que permitió identificar la calidad del agua mediante el uso del programa ICA TEST 1.0. Los resultados que se obtuvieron variaron entre los valores de 27.03 y 31.92, significando una calidad Mala en relación a los nueve parámetros evaluados.

Custodio y Pantoja (2012) en su investigación “Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas” indican que los factores antropogénicos son causantes de problemas como la escasez y la calidad del agua, lo que los llevó a plantear como objetivo la identificación de los impactos ocasionados por las actividades antropogénicas en la calidad del agua del río Cunas, ubicado en las provincias de Chupaca y Concepción, departamento de Junín. Se definieron tres estaciones de muestreo teniendo en cuenta su cercanía al desarrollo de actividades antropogénicas. De cada estación se extrajeron dos muestras de agua, una para el análisis fisicoquímico (oxígeno disuelto, TDS, conductividad, temperatura, pH, turbidez, nitratos y fosfatos) y otra para la determinación de coliformes termotolerantes. La calidad del agua fue definida mediante el índice NSF a partir de los parámetros analizados, dando como resultado 65.83; 61.08; y 57.18 según cada estación; el más elevado se relacionó con la cercanía de la estación de muestreo al desarrollo de actividades agrícolas y piscícolas; además de presentar influencia urbana. Estos valores representaron una calidad Media del agua del río Cunas, lo que significa que pueden ser utilizadas en actividades como la producción agrícola, riego de vegetales, bebida de animales y recreación.

Pérez (2017) en su investigación titulada “Determinación del índice de calidad del agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales - Omo, durante el periodo 2014 - 2015” afirma que la calidad del río Moquegua es influenciada de forma directa por efluentes domésticos e industriales que se vierten directamente en su cause, por lo que el objetivo de dicha investigación fue determinar el índice de la calidad del río Moquegua en relación a la influencia que presentan los vertimientos de la planta de tratamiento de aguas residuales – Omo. El monitoreo se realizó durante el periodo 2014 - 2015 en cuatro puntos ubicados en la zona de estudio. Los parámetros medidos fueron pH, turbiedad, TDS, temperatura, oxígeno disuelto, DBO₅, fosfatos, nitratos, coliformes termotolerantes, caudal y

metales; sin embargo, solo los nueve primeros fueron utilizados para la determinación de la calidad del agua mediante el índice NSF. Los valores obtenidos en promedio fueron de 51.44 en la zona ubicada antes del vertimiento de las aguas residuales y 44.18 después de ellas, representando una calidad Media y Mala respectivamente. De esta manera, se aseveró la marcada influencia de las aguas residuales de Omo en el río Moquegua.

En ámbitos locales con respecto al tema de estudio, se presenta la investigación de García (2014) “Calidad y uso del agua de la subcuenca del San Lucas (Cajamarca) en función del índice de Brown”. Este estudio se desarrolló a raíz de la problemática relacionada al cambio climático y las acciones antropogénicas que se llevan a cabo en la zona, teniendo como objetivo realizar un análisis fisicoquímico y bacteriológico de las aguas del río San Lucas – Cajamarca y así poder determinar su calidad mediante el ICA de Brown. Las estaciones de muestreo fueron ocho, comprendiendo la parte de los ríos Tres Ríos, Ronquillo, Urubamba y San Lucas. Las muestras se recolectaron durante el periodo de abril del 2013 a marzo del 2014 de manera mensual y los parámetros analizados fueron temperatura, turbidez, TDS, oxígeno disuelto, DBO₅, pH, nitratos, fosfatos y coliformes termotolerantes. Al aplicar el índice de Brown se obtuvieron resultados que variaron desde 45 en el río San Lucas y 56 en el río Tres Ríos, concluyendo de esta manera en que la microcuenca del río San Lucas posee una calidad de sus aguas de Regular a Mala.

También se incluyó a la investigación de Calua y Carrasco (2021) que lleva como título “Evaluación de la calidad del agua mediante el método ICA NSF para conservar el recurso hídrico en un sector de la microcuenca Porcón, Cajamarca 2020”, puesto que su objetivo estuvo basado en evaluar los valores de la calidad del agua del río Porcón obtenidos en la época de estiaje a través del uso del método ICA NSF con fines de conservación hídrica en el sector más crítico de la zona de estudio. Se eligieron tres puntos de muestreo y cerca a ellos se identificaron

tramos rectos con una longitud aproximada de 750 m con la característica de flujo uniforme para la medición in situ de pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura y caudal; el resto de parámetros fueron analizados en el laboratorio, por lo que se tomaron muestras de agua en cada punto. Además, el muestreo se llevó a cabo en tres fechas distintas (noviembre y diciembre del 2020, y enero del 2021). Al haberse obtenido todos los resultados, se procedió al cálculo del ICA NSF, mostrando valores promedio de 67.63 en el primero muestreo, 62.83 en el segundo y 68.39 en el tercero, concluyendo de esta manera que, en los tres casos, el río Porcón presentó una calidad Media de sus aguas, afectadas principalmente por actividades agrícolas, ganaderas y domésticas. Por otro lado, la estrategia propuesta para la conservación de este recurso se basó en el seguimiento y control de las actividades antropogénicas.

El estudio de Palomino (2018) titulado “Evaluación de la calidad del agua en el río Mashcón, Cajamarca, 2016” también se tomó como referencia a pesar de que no se empleó el método ICA-NSF, sino que tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua del río Mashcón a través de la relación existente entre sus características fisicoquímicas y microbiológicas y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Para el desarrollo de la evaluación, inicialmente se establecieron cinco estaciones de muestreo ubicadas estratégicamente en función de los problemas ambientales influyentes en la calidad del agua y a la accesibilidad, e incluyendo una estación testigo. El muestreo se realizó en época seca y consistió en la recolección de una única muestra de agua por estación para luego analizar en laboratorio parámetros como cloruros, nitratos, fosfatos, SST, oxígeno disuelto, DBO₅, DQO y coliformes totales; además de ello, se midieron de manera in situ valores de pH, temperatura, conductividad eléctrica, TDS y salinidad. Los resultados obtenidos fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM. El pH, conductividad eléctrica, cloruros, nitratos y oxígeno disuelto, cumplieron con la normativa en todos los puntos;

sin embargo, los valores de DBO₅ y DQO del primer punto sobrepasaron significativamente los ECA; mientras que, el resto de parámetros no fue comparado por la ausencia de una normativa para ellos dentro de la categoría 3. Se concluyó que el primer punto estaba siendo impactado por la cercanía del río Mashcón a la zona urbana y por lo tanto evidenciaba un alto grado de perturbación en sus aguas, indicando de esta manera una deficiencia en su calidad.

Fundamentos teóricos

Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica se define como un área geográfica que se encuentra delimitada mediante una divisoria topográfica o llamada “Divortium Aquarum”, donde se capta el agua de las precipitaciones y se drena el agua de la escorrentía hasta un río principal (Vásquez et al., 2016).

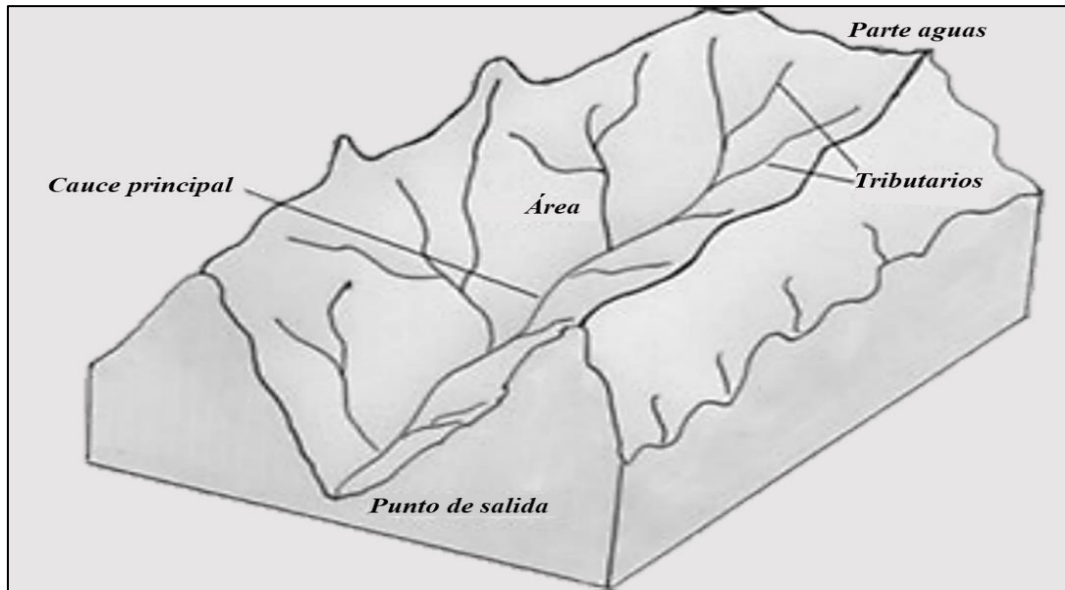
También es definida como un sistema complejo y abierto, en donde se desarrolla el ciclo hidrológico del agua y los elementos que la componen (naturales, sociales, ambientales, económicos, políticos e institucionales) se encuentran en una constante interrelación, produciendo efectos que van más allá que la adición de sus partes, además de variar con el curso del tiempo. Es un sistema abierto tanto de flujos como de influencias y de líneas de acción, las cuales llegan a atravesar sus fronteras, ya que este espacio es tan solo una parte pequeña de la Tierra. Además, se debe tener claro que ningún punto de la Tierra se encuentra fuera del territorio de una cuenca hidrográfica (Vásquez et al., 2016).

Las cuencas son comúnmente utilizadas como unidades para la planificación de los recursos hídricos. No obstante, es de importancia informar que las cuencas hidrográficas de los cauces principales en su mayoría se conforman por cuencas más pequeñas o llamados también ríos tributarios (Araque, 2019).

La Figura 1 representa de manera gráfica a una cuenca hidrográfica, donde se identifica el sistema del curso de agua.

Figura 1

Cuenca hidrográfica



Nota: Tomado de *Cuencas hidrográficas* (p. 15), por Araque, 2019, Universidad Politécnica Salesiana.

Funciones de las cuencas hidrográficas

Estos espacios de territorio cumplen funciones imprescindibles para los ecosistemas y el desarrollo humano por poseer componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos. Según Araque (2019) poseen las siguientes funciones:

a) Función ambiental

Realiza este tipo de función por las acciones que presenta de:

- Constituir sumideros de CO₂.
- Albergar bancos de germoplasma.

- Regular la recarga hídrica.
- Conservar la biodiversidad.
- Mantener la diversidad de los suelos.

b) Función ecológica

Esta función se identifica principalmente por las acciones de:

- Proveer hábitat para la fauna y flora.
- Influir en la calidad tanto física como química del agua.

c) Función hidrológica

Poseen esta función por realizar las acciones de:

- Drenar el agua de precipitación.
- Recargar las fuentes de agua subterránea y aguas superficiales.

d) Función socioeconómica

Esta función se identifica principalmente por las acciones de:

- Suministrar recursos naturales renovables y no renovables.
- Proveer de espacio para el desarrollo social y cultura.

Partes de la cuenca hidrográfica

Vásquez et al. (2016) afirma que una cuenca hidrográfica caracterizada como altoandina consta de tres partes según su altitud y las describe de la siguiente manera:

a) Partes altas

Las partes altas de las cuencas por lo general se ubican en altitudes superiores a los 3000 msnm, pero en algunos casos este valor puede ser superior y llegar hasta los

6500 msnm. Estas zonas se caracterizan por presentar una mayor concentración de agua, la cual se presenta en forma de nevados o lluvia, pues, las precipitaciones suelen ser muy intensas y frecuentes al igual que la formación de nevados. La topografía que se identifica en estos lugares es altamente accidentada y escarpada, provocando de esta manera un potencial elevado de erosión, al igual que un elevado potencial para la producción hidroenergética. La precipitación total anual promedio oscila entre 800 y 1600 mm por año; además, se visualizan frecuentemente lagos y lagunas donde se desarrollan actividades biológicas abundantes. En esta parte de la cuenca, se desarrollan actividades de autoconsumo y subsistencia por parte de los pobladores que en su mayoría son de bajos recursos; sin embargo, este territorio presenta gran potencial en relación a los recursos mineros que posee.

Las partes altas son también llamadas “cabecera de cuenca”, donde existe mayor disponibilidad de agua con una buena calidad, que se distribuyen de manera superficial o subterránea hacia las partes medias y bajas de las cuencas, catalogándolas como abastecedoras de agua para las otras zonas de la cuenca, siendo fundamentales para su preservación y protección.

b) Partes medias

Se ubican a una altitud entre los 800 y 3000 msnm, donde las precipitaciones promedio que suceden en esta zona varían de 100 a 800 mm/año. Aquí se encuentran los valles interandinos característicos por presentar un clima benigno y variado. Estas partes de las cuencas están estrechamente relacionadas con el proceso de escurrimiento del agua; además, aquí se encuentran ciudades pequeñas y se lleva a cabo una serie de actividades que originan gran actividad económica.

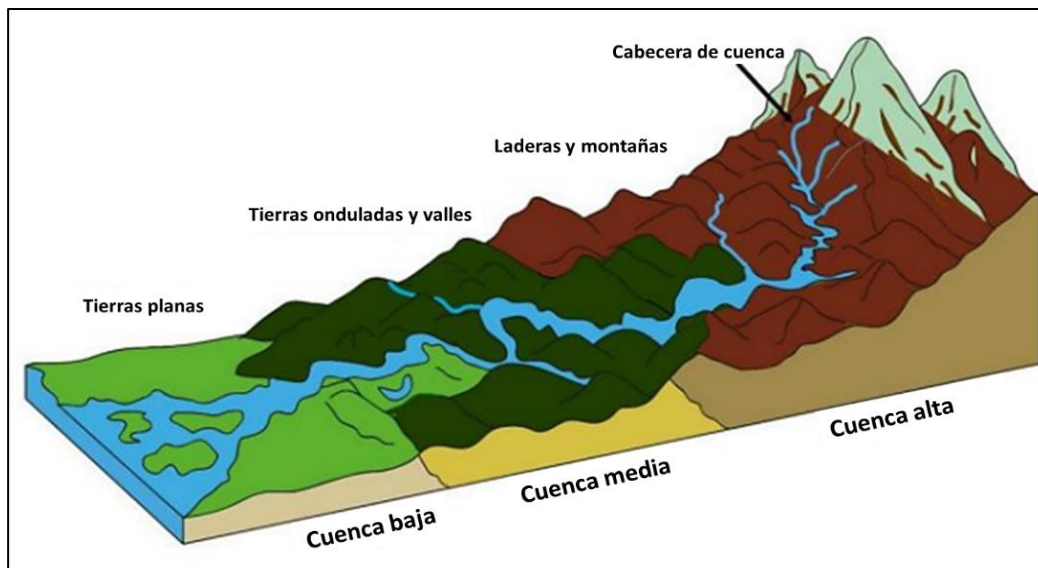
c) Partes bajas

Las partes bajas abarcan altitudes que varían desde el nivel del mar hasta los 800 msnm. La pendiente de esta zona es baja y su precipitación promedio se cataloga como muy escasa por mostrar valores inferiores a 100 mm/año. Este territorio comprende extensos valles costeros, donde se manifiesta una actividad agropecuaria intensiva y la presencia de ciudades consumidoras, tanto medianas como grandes. Suelen realizarse proyectos relacionados a la irrigación a gran escala con considerables sistemas de embalse. Además, en estas partes las aguas subterráneas poseen un potencial elevado.

La Figura 2 muestra una representación gráfica de las partes que posee en general una cuenca hidrográfica (parte alta, media y baja).

Figura 2

Partes de una cuenca hidrográfica



Nota: Tomado de *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas* (p. 19), por Vásquez et al., 2016, Universidad Nacional Agraria La Molina.

El agua y su distribución

El agua en un estado químicamente puro se compone por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno (H_2O), que a temperatura ambiente se caracteriza por ser incolora, inodora e insípida; sin embargo, esta agua difiere en gran medida con la que se encuentra en la naturaleza y de las que se requiere para los diversos usos (García, 2013).

Circula de forma natural en los océanos, la atmósfera, lagos, ríos, glaciares y aguas subterráneas. El agua del planeta Tierra se estima aproximadamente en 1358 millones de km^3 , de los cuales el 97 % representa el agua de los mares y océanos, el 2% se encuentra en los polos (capas de hielo), y alrededor del 0.6% en la corteza terrestre a una distancia de hasta 5 km de profundidad. Lo restante se localiza en glaciares, nieves externas, lagos, humedales, vapor atmosférico y ríos (Guerrero, 2013)

En la Tabla 1 se muestra la distribución del agua en la Tierra de acuerdo a las diversas fuentes.

Tabla 1
Distribución del agua en la tierra

Fuente	Volumen en km³	Porcentaje
Océanos	1 320 500 000	97.216 %
Capas de hielo	29 000 000	2.135 %
Agua Subterránea	8 300 000	0.611 %
Glaciares	210 000	0.015 %
Lagos de agua dulce	125 000	0.009 %
Mares internos (salados)	104 000	0.008 %
Humedad de la tierra	67 000	0.005 %
Atmósfera	13 000	0.001 %
Ríos	1 250	0.0001 %
TOTAL	1 358 320 250	100 %

Nota. Tomado de *La huella del agua*, por M. Guerrero, 2013, Fondo de Cultura Económica.

Clasificación de los cuerpos de agua

Según Gualdrón (2016) todos los cuerpos de agua poseen una interconexión muy estrecha, que a través del ciclo hidrológico se presenta desde la atmosfera hasta los océanos. Además, también afirma que múltiples autores los clasifican en tres grupos y los describe de la siguiente manera:

a) Ríos

Los ríos son corrientes, característicos por presentar un flujo unidireccional con una velocidad que varía entre 0.1 y 1 m/s, el cual es muy variable y se relaciona

estrechamente con las condiciones climáticas. Es por ello, que los ríos son considerados permanentemente mezclados y por lo general en estos cuerpos de agua su calidad se asocia al sentido del flujo.

b) Lagos

Son sistemas acuáticos con velocidades bajas que varían de 0.001 a 0.01 m/s, por lo que el agua de estos sistemas puede llegar a permanecer en ellos alrededor de varios años. Por esta razón, su calidad se determina por su estado de eutrofización y los periodos de estratificación.

c) Aguas subterráneas

Son sistemas que presentan por lo general un régimen de flujo estable en relación a la velocidad y la dirección. Se rigen por la porosidad y la permeabilidad del estrato.

Contaminación del agua

La contaminación del agua sucede cuando se le introduce algún material, alterando de tal manera, su calidad y composición. Según la Organización Mundial de la Salud, el agua se encuentra contaminada cuando la composición de esta ha sido modificada, a tal grado que no cumpla con las condiciones que se requieran para el uso al que se haya destinado en su estado natural (Guadarrama-Tejas et al., 2016).

Las aguas superficiales se caracterizan por transcurrir de forma natural sobre la superficie de la tierra, como los arroyos, ríos, lagos, entre otros, y son las más utilizadas por las personas para el desarrollo de las actividades y funciones básicas. A pesar de ello, la calidad de este tipo de agua es afectada por la contaminación originada a partir de la descarga de desagües domésticos, residuos de actividades mineras o industriales, uso de defensivos agrícolas,

presencia de animales, residuos sólidos, y otros (Autoridad Nacional del Servicio Civil [SERVIR], 2021).

Las aguas de tipo subterráneo son menos susceptibles a la contaminación en comparación con las de tipo superficial. Sin embargo, si la contaminación llega a afectar a las aguas subterráneas la situación puede agravarse, puesto que al no lograr ver el problema superficialmente, su diagnóstico puede ser tardío y presentar un mayor deterioro (Navarro et al., 2019).

Calidad del agua

Este término hace referencia al grupo o conjunto de todos los parámetros que indican y demuestran si el agua analizada puede ser utilizada para diferentes fines y propósitos, como, por ejemplo, en uso doméstico, para riego, recreación e industria. Es por ello, que la calidad del agua depende de las exigencias que demande cada actividad (Coral, 2014).

El agua está relacionada a la transmisión de enfermedades, afectando de tal manera a la salud. Esto puede suceder a partir de la ingestión directa o a través de alimentos contaminados, por esta razón la calidad del agua está ligada a la calidad de vida (Navarro et al., 2019).

El agua es fundamental e importante para la sostenibilidad ecológica de todas las escalas de los sistemas socioeconómicos. Además, este recurso sin la presencia de contaminantes, aparte de ser esencial para el mantenimiento salubre de los ecosistemas y la biodiversidad, es primordial para todo tipo de actividades humanas, por lo que se depende de diversas fuentes y de la distribución adecuada con respecto a la cantidad y calidad según el uso al que será destinada, desde la producción de energía o alimentos hasta para consumo humano (Navarro et al., 2019).

La calidad del agua se determina por la existencia y concentración de los contaminantes, de modo que se analizan en un laboratorio especializado, para que de esta manera puedan ser identificados con exactitud. Son muchos los motivos por los que la calidad del agua se va deteriorando, pero en su mayoría, los seres humanos son los que influyen en mayor medida en los factores que facilitan este proceso (García, 2014).

Índice de Calidad Ambiental del Agua

La valoración de la calidad del agua se puede entender como la evaluación de las características químicas, físicas y biológicas del agua en relación con la calidad que presenta en su estado natural o también según un uso en específico; para ello, se viene utilizando lo que se conoce como Índice de Calidad del Agua o llamado también ICA por sus siglas, el cual se basa en expresar la calidad de un recurso hídrico empleando algunos parámetros de medición de la calidad del agua. Es un método simple y conciso que permite identificar las características del agua y sus variación espacial y temporal, donde se muestran sus tendencias y se pueden reconocer áreas problemáticas según el grado de contaminación presente; además de su fácil interpretación (Ajcabul, 2016).

Según García (2014) los ICA indican el estado en el que se encuentra el recurso hídrico en relación a su grado de afectación. En un inicio estos indicadores fueron formulados con el fin de clasificar los cuerpos de agua y para la interpretación de las variables comprendidas en un programa de monitoreo. Hoy en día, son instrumentos que contribuyen en la toma de decisiones y en los procesos de difusión donde se releva el estado en el que se encuentran estos recursos gracias a sus enfoques y metodología de uso.

Índice de Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation (ICA-NSF)

El ICA-NSF fue propuesto por la National Sanitation Foundation (NSF) de los Estados Unidos en el año 1970, a cargo de Brown et al. En la actualidad, destaca por ser extensamente empleado en comparación a los otros índices disponibles para la evaluación de la calidad del agua (Saravia, 2017).

Este índice se elaboró a partir de un procedimiento basado en el método Delphi, que consistió en fusionar las opiniones de un grupo de expertos de los Estados Unidos (Ajcagul, 2016). Es utilizado para el análisis de la calidad del agua de los ríos mediante la evaluación de nueve parámetros importantes, por lo que se caracteriza por ser un índice multiparámetro (Pérez, 2017).

Evalúa la calidad del agua desde una perspectiva general, pues, no identifica las capacidades particulares del uso que se le puede dar al agua. Además, los parámetros que se proponen poseen una importancia particular y única, resultando útil el uso de una media ponderada para el cálculo del índice (Rodríguez, 2019).

Parámetros de la metodología ICA-NSF

a) pH

Según García (2013) el pH expresa la intensidad de acidez, basicidad o alcalinidad que presenta el agua. No es un indicador de la cantidad de compuestos de tipo alcalinos o ácidos, sino que indica la fuerza de estos compuestos. El mismo autor afirma que:

- pH = 0 – 7, indica que el agua es ácida y contiene ácidos libres o sales disueltas.

- $\text{pH} = 7$, indica un agua neutra, sin presencia de sales ácidas y básicas. Tan solo existen sales neutras.
- $\text{pH} = 7 - 14$, indica que el agua es básica o alcalina y, por lo tanto, contiene sales neutras.

Tiene una influencia directa en algunos fenómenos, como la corrosión y la presencia de incrustaciones en las redes de distribución (Coral, 2014).

b) Temperatura

Este parámetro es muy importante para la determinación de la calidad del agua por su estrecha relación con la presencia de actividades biológicas, con la saturación de oxígeno disuelto, la precipitación de compuestos, la floculación, la sedimentación, la filtración, entre otros. Los factores ambientales son aspectos que afectan en gran medida a la temperatura, lo que eleva su importancia en las evaluaciones de calidad (Ajcabul, 2016).

c) Turbidez

Según Araque (2019) la turbidez se refiere a la disminución de la claridad o transparencia del agua, causada por la existencia de partículas suspendidas que pueden clasificarse según su tamaño de la siguiente manera:

- Partículas suspendidas inferior a $10 \mu\text{m}$: comprenden átomos, iones y algunos compuestos químicos.
- Partículas suspendidas entre $10 \mu\text{m} - 1 \mu\text{m}$: su tamaño muy pequeño imposibilita su remoción mediante sedimentación.
- Partículas suspendidas superiores a $1 \mu\text{m}$: su tamaño muy grande permite y facilita su remoción mediante sedimentación.

La unidad de medida que se utiliza es NTU (Unidad de Turbidez Nefelométricas) e indica la evaluación de la luz dispersa a través de la muestra analizada en un ángulo de 90° en relación con la luz incidente (Nicola y Proaño, 2017).

d) Sólidos disueltos totales

La concentración de los sólidos disueltos totales (TDS) presente en el agua se considera un indicador principal en la determinación de su calidad. Los TDS es el total de todas las sales disueltas y las unidades en las que se representan son mg/L, g/m³ o ppm. Estos sólidos están relacionados con la conductividad eléctrica del agua, ya que, si esta presenta un alto nivel de TDS, será bastante conductiva; mientras que, si existe baja concentración ocurrirá lo contrario (García, 2013).

e) Oxígeno disuelto

La presencia del oxígeno disuelto en el agua es proveniente principalmente del aire y su presencia es esencial para la existencia y el desarrollo adecuado de la mayoría de los organismos acuáticos. Los niveles bajos o la ausencia del oxígeno disuelto en el agua indican niveles de contaminación elevados, condiciones sépticas de materia orgánica o alta presencia de materia orgánica; es por ello que se considera un indicador fundamental de contaminación. Además, las concentraciones de este parámetro son dependientes de algunos factores como la temperatura, presión y mineralización del agua, lo que se fundamenta con lo afirmado en la ley de Henry y Danton: “La solubilidad de un gas en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial e inversamente proporcional a la temperatura” (Coral, 2014).

La cantidad ideal de oxígeno disuelto no es existente, puesto que, su presencia puede ser tanto positiva como negativa según sea el caso, por lo que se recomienda que sus valores estén cercanos al punto de saturación (Ajcagul, 2016).

f) Demanda bioquímica de oxígeno

Es la cantidad de oxígeno consumido durante el proceso de oxidación de los contaminantes presentes en el agua mediante microorganismos en un tiempo de cinco días (Castro, 2021).

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), indica la carga de contaminación que generan los desechos de tipo doméstico e industrial de carácter orgánico al ser introducidos en los cuerpos de agua que se desarrollan en condiciones aeróbicas (Gualdrón, 2016).

g) Nitratos

Son sustancias químicas fundamentales para desarrollo adecuado de las plantas, lo que los hace un componente muy frecuente en la mayoría de fertilizantes. También se encuentran presentes en el estiércol y desechos líquidos provenientes de los tanques sépticos. Según Gualdrón (2016) los nitratos indican la descomposición de la materia orgánica, ya sea de origen animal y/o vegetal.

Por lo general, los nitratos poseen la característica de ser solubles, lo que les facilita moverse desde los sedimentos hacia las aguas superficiales y subterráneas (Coral, 2014).

h) Fosfatos

Son indicadores de la presencia y cantidad de detergentes vertidos en una corriente, puesto que, la mayoría de detergentes presenta en su composición alrededor de 12 % y 13 % de fósforo. Además, los fosfatos son importantes para el desarrollo del proceso de la eutrofización de las fuentes de agua (Gualdrón, 2016).

i) Coliformes termotolerantes

Los coliformes termotolerantes o también denominados fecales, están conformados por un grupo de bacterias que se representa por las familias correspondientes a las enterobacterias, donde se destacan las bacterias aeróbicas y las anaeróbicas facultativas; aunque sobresale la bacteria llamada *Escherichia coli*, caracterizada por su capacidad para desarrollarse a elevadas temperaturas y para producir la enzima glucoronidasa (Gualdrón, 2016).

Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua en el Perú, se aprobaron inicialmente en el año 2008 a partir de la creación del Ministerio del Ambiente, con el propósito de establecer concentraciones de elementos, sustancias o parámetros, tanto físicos y químicos, como también biológicos que se encuentren en el agua en condiciones de cuerpo receptor y los componentes básicos de los ecosistemas acuáticos que signifiquen un riesgo considerable para la salud humana y el ambiente (Rodríguez, 2019).

En el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, publicado el 07 de junio del 2017, fueron aprobados los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, donde también se establecieron disposiciones complementarias, teniendo como objetivo la compilación de las

disposiciones normativas que aprueban estos estándares. Este decreto ha modificado y eliminado algunos de los valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA para Agua propuestos en la normativa anterior, componiéndose por cuatro categorías, once subcategorías y 17 ítems (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2018).

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2015) se pueden aplicar a todos los cuerpos de agua en estado natural, pertenecientes al territorio peruano. Además, su aplicación es de carácter obligatorio en el diseño de las normas legales y políticas públicas por ser de gran importancia para este proceso y en la aplicación de los instrumentos de gestión ambiental.

La Tabla 2 muestra la categorización del agua destinada a distintos usos según el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM.

Tabla 2

Categorización del agua según el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM

Categoría	Subcategoría
<p><u>Categoría 1:</u> Poblacional y recreacional</p>	<p>A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección</p>
	<p>A2 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional</p>
	<p>A3 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado</p>
	<p><u>Categoría 1-A:</u> Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable</p>
	<p><u>Categoría 1-B:</u> Aguas superficiales destinadas para recreación</p>
	<p>B1 Contacto primario</p>
<p>B2 Contacto secundario</p>	
<p><u>Categoría 2:</u> Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales</p>	<p>C1 Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras</p>
	<p>C2 Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras.</p>
	<p>C3 Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras</p>
	<p>C4 Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas</p>
<p><u>Categoría 3:</u> Riego de vegetales y bebida de animales</p>	<p>D1 Riego de vegetales</p>
	<p>D2 Bebida de animales</p>
<p><u>Categoría 4:</u> Conservación del ambiente acuático</p>	<p>E1 Lagunas y lagos</p>
	<p>E2 Ríos</p>
	<p>E3 Ecosistemas costeros y marinos</p>

Nota. elaborado a partir de *D.S. N°004-2017-MINAM.*

Características de la cuenca del río Mashcón

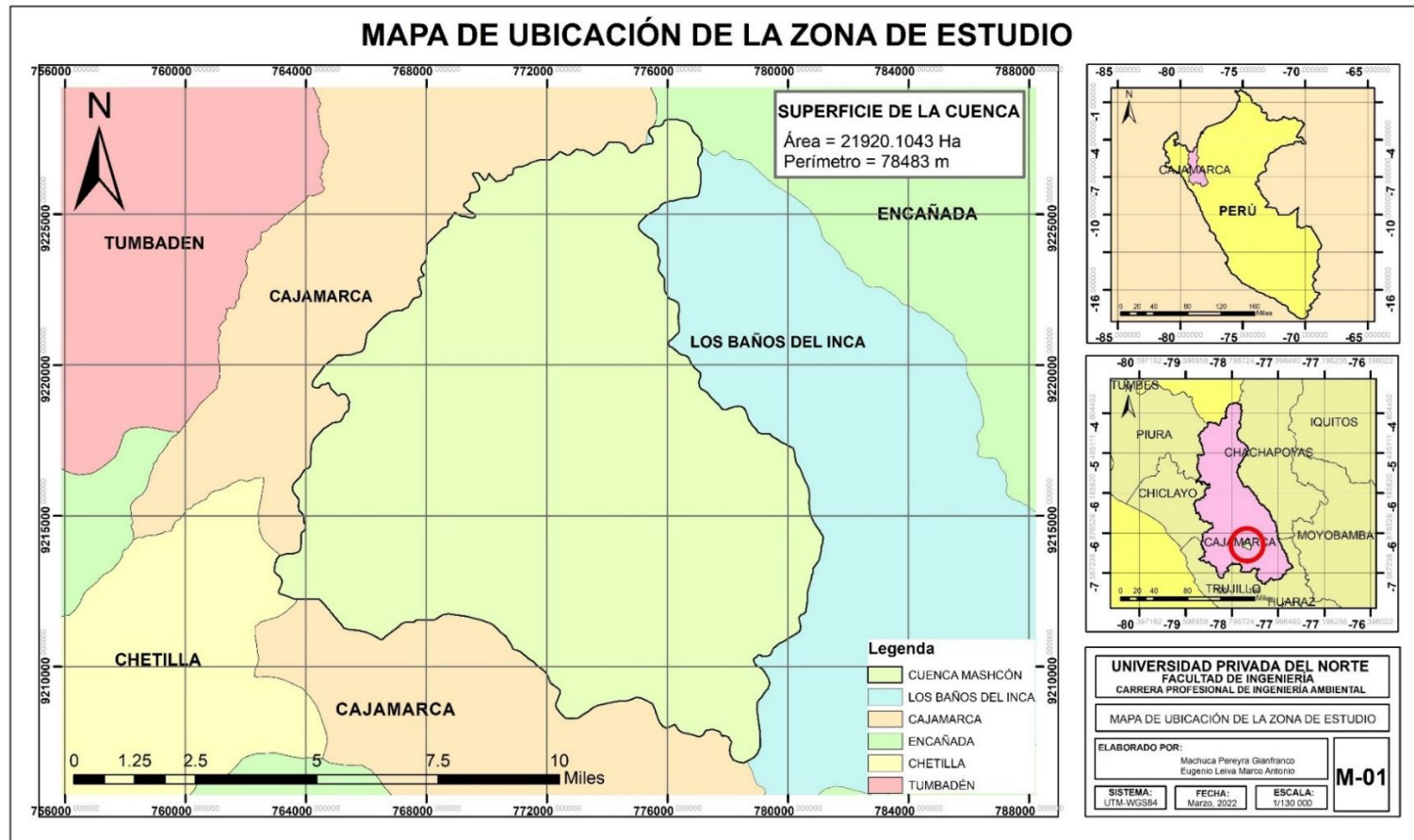
a) Ubicación

La cuenca del río Mashcón está ubicada entre los distritos de Cajamarca y Los Baños del Inca, pertenecientes a la provincia y departamento de Cajamarca, al norte del Perú (Figura 3). Esta cuenca drena la parte sur del distrito minero de Yanacocha, donde la empresa minera Yanacocha S.R.L., desarrolla operaciones de extracción de minerales (Herrera y Heredia, 2017).

Está conformada por las subcuencas hidrográficas del río Porcón y río Grande. El río Porcón se origina debajo del cerro Quilish a partir de la unión de un grupo de manantiales. En su ubicación inicial se lo denomina río Quilish, pero durante su curso se le unen las aguas del río Hornomayo para luego pasar a llamarse río Porcón. Por otro lado, el río Grande surge en la zona sur de los cerros Yanacocha, donde las quebradas Encajón y Coremayo confluyen y se dirigen hacia el norte de Cajamarca, formando así el río Mashcón (Herrera y Heredia, 2017).

Figura 3

Mapa de ubicación de la zona de estudio



Nota. El mapa fue elaborado mediante el uso del software ArcGis 10.5.

b) Demarcación hidrográfica

Según Bustamante (2018) el río Mashcón integra a la Región Hidrográfica del Amazonas, formando parte de la intercuenca del Alto Amazonas y de la cuenca del río Marañón. A partir de su confluencia aguas abajo en un punto próximo a la ciudad de Cajamarca, se logra formar el río Cajamarquino. Además, los límites hidrográficos son los siguientes:

- Norte: limita con el río Porcón.
- Sur: limita con el río Chonta.
- Este: limita con el río Azufre y la quebrada Linderos.
- Oeste: limita con el río Urubamba.

c) Características climatológicas

Según ANA (2017, como se citó en Barboza y Cortez, 2018) las características climatológicas de la cuenca del río Mashcón se describen de la siguiente manera:

- **Precipitación:** los valores de la precipitación promedio total anual que se presentan en la zona de estudio varían entre 1250 mm y 600 mm, presentándose los valores más elevados en las zonas con mayor altitud y los más bajos en las de menos altitud. El periodo lluvioso ocurre entre los meses de octubre y abril; sin embargo, en los meses de noviembre y diciembre los valores decaen. Por otro lado, el periodo con menos precipitaciones sucede entre los meses de mayo y septiembre, alcanzando los niveles más bajos en junio y agosto.

- **Temperatura:** la temperatura varía según la altitud de la zona. En la parte alta de la cuenca los valores de temperatura máxima media mensual varía entre los 15.7 °C (marzo) y 19.3 °C (enero) y los de temperatura mínima media mensual varían entre - 1.2 °C (agosto) y 1.6 °C (marzo). Por otro lado, en la cuenca baja la temperatura máxima media mensual varía entre 20.9 °C (marzo) y 21.9 °C (septiembre) y la temperatura mínima media mensual varía entre 4.6 °C (julio) y 9.3 °C (febrero).
- **Humedad relativa:** la humedad relativa que se identifica en las zonas altas de la cuenca oscila entre 85.8 % (marzo) y 63 % (julio); mientras que, en las zonas bajas oscila entre 74.6 % (marzo) y 62.7 % (julio).
- **Horas de sol:** las horas de sol en la cuenca baja y en el valle de Cajamarca reportan un valor del nivel total mensual entres 4.7 horas en el mes de marzo y 7.4 horas en el mes de julio.
- **Radiación solar:** la información obtenida sobre esta variable solo representa a la cuenca baja y el valle de Cajamarca. En esta zona el nivel de radiación solar total mensual oscila entre 16.4 MJ/m²/d en el mes de mayor y 19.0 MJ/m²/d en el mes de noviembre.

d) Vegetación

El área de estudio se caracteriza por destinar el uso del suelo actual para el sembradío de algunos cultivos alimenticios como el trigo, la cebada, la papa y el maíz, ocupando un 27.12 % del área total; pastos naturales que ocupan un 38.93 %; pastos cultivados con un 7.04 %; forestales con 2.12 %; vegetación arbustiva con 5.10 % y

tierras improductivas con un 16.04 %. Además, existen 24 lagunas naturales que ocupan el 0.19 % del área, una represa (0.01 % del área), centros urbanos (1.57 % del área), minera Yanacocha (1.43 % del área) y otros (0.46 % del área) (ANA, 2017, como se citó en Barboza y Cortez, 2018).

e) Unidades Hidrográficas

Según ANA (2017, como se citó en Barboza y Cortez, 2018) la cuenca se encuentra dividida en nueve Unidades Hidrográficas (UH) menores, las cuales abarcan un área de 315 km². El grupo de estas UH está conformado por:

- Río Grande – UH 4,989,888
- Río Porcón – UH 4,989,889
- Río Tres Ríos – UH 4,989,882
- Río Paccha – UH 4,989,884
- Río Sambar – UH 4,989,886
- UH 4,989,881
- UH 4,989,887
- UH 4,989,883
- UH 4,989,885

f) Zonas de vida

La cuenca del río Mashcón se caracteriza por ser un área de bosque de montaña, donde resultan predominantes las zonas de vida Bosque húmedo Montano Tropical y Bosque seco Montano Bajo Tropical. Por otro lado, en las zonas más elevadas de la cuenca se presenta un clima propio de Bosque muy húmedo Montano Tropical, Páramo pluvial Subalpino Tropical y Tundra pluvial Alpino Tropical (Agreda, 2023).

g) Geomorfología

Según Agreda (2023) la estructura geomorfológica de la cuenca se basa en las siguientes unidades:

- Montaña empinada en rocas del cretáceo inferior.
- Montaña empinada en rocas del cretáceo superior.
- Montaña fuertemente disectada en rocas del paleógeno.
- Ladera de montaña empinada en rocas del neógeno.
- Terraza no inundable (cuenca baja).

h) Estaciones hidrométricas

Según Agreda (2023) dentro del área de estudio se localizan dos estaciones hidrométricas, una ubicada en la entrada de la Planta de Tratamiento de Agua Potable El Milagro y otra en el Puente Mashcón. Además, diversas instituciones vienen desarrollando estudios sobre la calidad del agua en la cuenca del río Mashcón, basándose principalmente en la vigilancia del recurso destinado para actividades de riego y consumo humano. El grupo de estas instituciones está conformado por:

- **SEDACAJ:** realiza monitoreos mensuales desde el año 1996 hasta la actualidad a partir de una única estación de monitoreo.
- **DESA:** realizó monitoreos mensuales desde el año 2002 hasta el año 2011, a partir de 20 estaciones de monitoreo.
- **Granja Porcón:** realiza monitoreos mensuales desde el año 2003 hasta la actualidad a partir de cinco estaciones de monitoreo.
- **Comoca Sur:** realiza monitoreos mensuales desde el año 2004 hasta la actualidad a partir de 20 estaciones de monitoreo.

- **Nippon Koei:** realizó monitoreos trimestrales desde el año 2008 hasta el año 2009, a partir de 10 estaciones de monitoreo.
- **ANA:** realiza monitoreos trimestrales desde el año 2013 hasta la actualidad a partir de 11 estaciones de monitoreo.

i) Socioeconomía

La economía de la cuenca del río Mashcón depende en gran medida de la minería. Sin embargo, esta actividad provoca efectos negativos, como principalmente la reducción del caudal del río Mashcón, incluyendo la reducción de los cauces en la parte alta de la cuenca del río Grande; y la producción de grandes cantidades de sedimentos procedentes de los pads de lixiviación. Los recursos hídricos provenientes de las fuentes de los ríos Grande, Mashcón y Porcón (norte), y el río Ronquillo (oeste), son tratados y utilizados para consumo humano de la población cajamarquina, formando parte del sistema del servicio de agua potable, el cual es gestionado por la Empresa Prestadora de Servicios SEDACAJ S.A. (Agreda, 2023).

Por otro lado, en la zona de la cuenca perteneciente a la ciudad de Cajamarca, el uso de las tierras destinadas para actividades agropecuarias está dividido principalmente en las destinadas a venta, con un 27 %; autoconsumo, con un 45 %; y alimento para animales, con un 28 %. Mientras que, en la zona perteneciente a Los Baños del Inca, las destinadas a venta representan un 7 %; autoconsumo un 49 % y alimento para animales un 44 %. En general, las unidades agropecuarias presentan un tamaño menor a 0.5 Ha, existiendo un predominio del agricultor aislado, que junto al destino de producción hacen que la toma de decisiones sobre el uso y elección de fertilizantes o pesticidas recaiga únicamente en el agricultor, quien en muchas ocasiones

no cuenta con una capacitación previa para poder disponer adecuadamente de estos productos, generando impactos en el ambiente (Agreda, 2023).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la calidad ambiental del agua de la cuenca Mashcón mediante la aplicación del método ICA-NSF?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la calidad ambiental del agua de la cuenca del río Mashcón mediante la aplicación del método ICA-NSF.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión sistemática de literatura relacionada con estudios e investigaciones de calidad de agua realizados en la cuenca del río Mashcón.
- Recolectar datos obtenidos en los estudios seleccionados de los parámetros fundamentales para la aplicación del método ICA-NSF.
- Determinar el cumplimiento de los parámetros con respecto a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 3, del Decreto Supremo N°004-2017-MINAM.
- Determinar el Índice de Calidad Ambiental del Agua de cada uno de los estudios seleccionados, aplicando el método ICA-NSF.
- Determinar el Índice de Calidad Ambiental del Agua por año de evaluación, aplicando el método ICA-NSF.

- Determinar el Índice de Calidad Ambiental del Agua según la zona de la cuenca del río Mashcón, aplicando el método ICA-NSF.
- Realizar una propuesta de establecimiento de una red de monitoreo de la calidad ambiental del agua de la cuenca del río Mashcón.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis nula

H₀: La calidad ambiental del agua de la cuenca del río Mashcón, mediante la aplicación del método ICA-NSF es Buena.

1.4.2. Hipótesis alterna

H_a: La calidad ambiental del agua de la cuenca del río Mashcón, mediante la aplicación del método ICA-NSF es Mala.

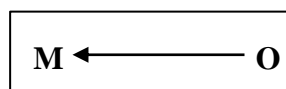
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo Básica, que según Cevallos et al. (2017) se describe como una investigación que no pretende realizar ninguna aplicación práctica de sus descubrimientos, sino que busca incrementar conocimientos para la resolución de preguntas o para su aplicación en otras investigaciones.

Dentro de ello es No experimental por basarse en conceptos, variables y contextos que se evalúan sin ninguna intervención directa por parte del investigador, o sea que se lleva a cabo sin alterar el objeto de estudio. Solo se observan los fenómenos tal cual como se encuentran en su contexto natural, para luego ser analizados.

Posee un diseño Descriptivo Simple, puesto que se caracteriza por basarse en la recolección, medición o evaluación de datos relacionados a las variables del fenómeno a evaluar (Cortés, 2017). En este caso, se identificaron un grupo de variables de las que se recopiló información para lograr describir la calidad ambiental del agua de la cuenca del río Mashcón. Por otro lado, estos estudios no tienen como finalidad relacionar a las variables, sino que muestran de forma precisa las dimensiones de un fenómeno o una situación (Cortés, 2017).



Donde:

M = muestra de la investigación

O = observación de la muestra.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

La población es también denominada universo y se describe como el conjunto de unidades o elementos establecidos de manera clara para el cálculo de las estimaciones en el proceso de la búsqueda de información. Es de carácter relevante precisar las unidades, el contenido y la extensión (Cevallos et al., 2017).

La población definida de la investigación comprende 50 estudios realizados en la cuenca del río Mashcón, ubicada en el la provincia y departamento de Cajamarca, entre los distritos de Cajamarca y Los Baños del Inca. Estos estudios cumplieron con los criterios iniciales de selección.

2.2.2. Muestra

La muestra se describe como un sub grupo de toda la población, que para ser representativa debe poseer características sobresalientes de la población, en caso contrario, la muestra sería considerada como sesgada (Cortés, 2017).

En este caso, la muestra de investigación está constituida por 10 estudios elegidos del conjunto de la población a partir de criterios establecidos durante los procesos de selección, donde existieron evaluaciones de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua superficial del río Mashcón, teniendo como requisito fundamental la presencia de datos de al menos cinco parámetros de los nueve propuestos por el método ICA-NSF.

El muestreo que se realizo fue No Probabilístico, por conveniencia, pues los estudios fueron seleccionados por el mismo investigador, teniendo en cuenta la presencia de información útil y relevante para el desarrollo de la investigación.

2.3. Materias, instrumentos y métodos

Para el logro del cumplimiento de los objetivos de la investigación propuestos inicialmente, se emplearon métodos descriptivos, analíticos y deductivos.

El método descriptivo se usó para la evaluación y recopilación de información de cada estudio seleccionado en relación a su relevancia para la obtención del índice de calidad del agua, para luego ser detallada en la presente investigación, dando a conocer la realidad y naturaleza de cada variable en la cuenca del río Mashcón. Según Abreu (2014), este se refiere a un método que busca realizar la exposición detallada y exhaustiva de la realidad de un estudio de manera narrativa, numérica y/o gráfica. Se basa en la obtención de un conocimiento inicial de la realidad que es originado mediante la observación directa del investigador y del conocimiento que se adquiere de la información proporcionada por otros autores. Es un método que tiene como objetivo exponer información importante de la realidad de un estudio empleando los criterios propuestos por la academia y un alto rigor metodológico.

El método analítico se utilizó para la observación de las variables fundamentales requeridas para la obtención del índice de calidad del agua en cada uno de los estudios seleccionados, pues, según Abreu (2014) este método permite desarrollar procesos para distinguir, conocer y clasificar diversos componentes fundamentales de un conocimiento general de una realidad, así como también sus interrelaciones.

El método deductivo facilita la determinación de las propiedades de una realidad en particular. A través de la deducción se originan las consecuencias particulares o individuales de las conclusiones admitidas, es decir, que permite la generalización a partir de la particularidad de los casos y contribuye al progreso del conocimiento de las realidades estudiadas (Abreu, 2014). De esta manera, se identificó el índice de calidad del agua a partir de valores ya

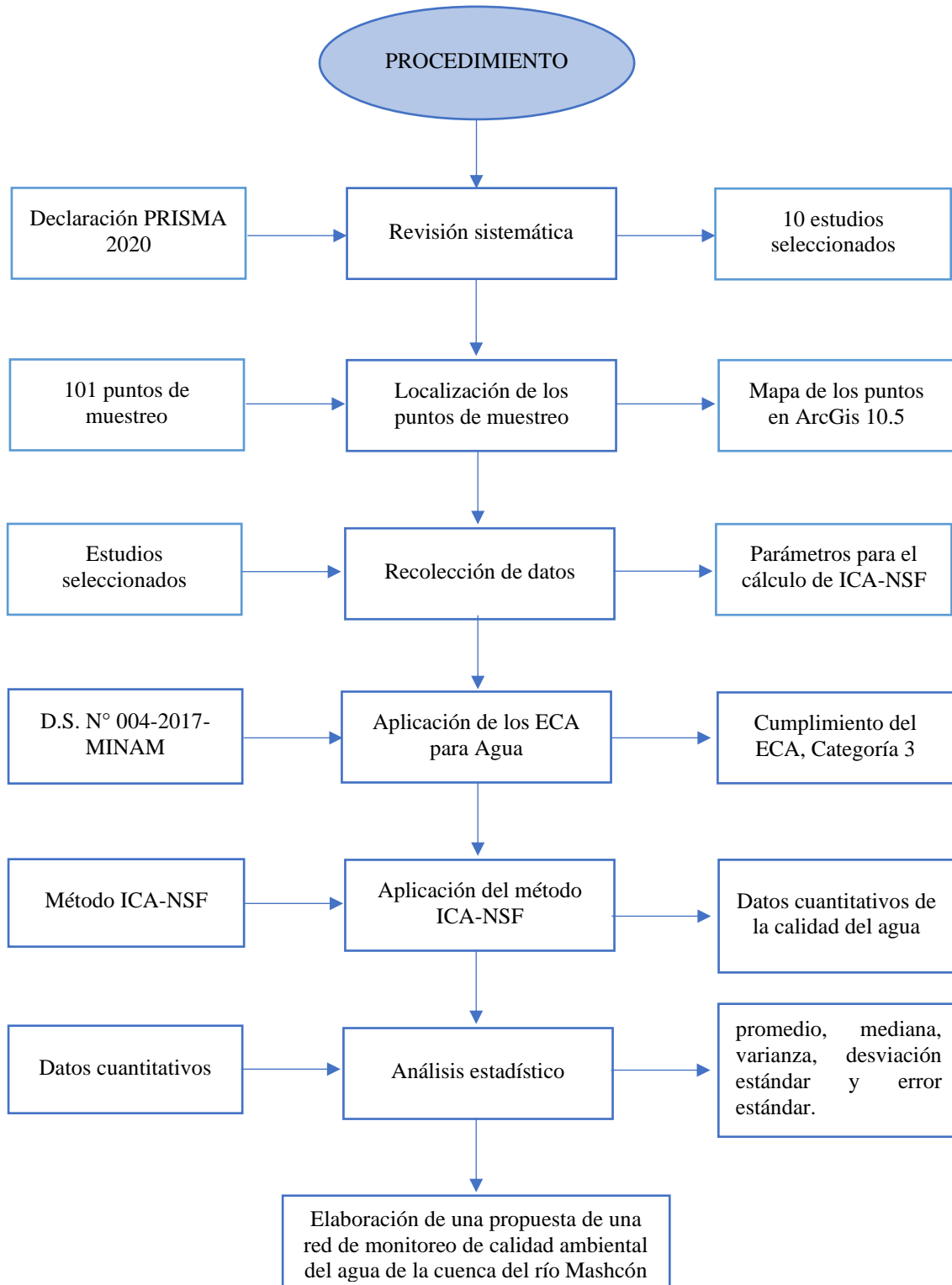
establecidos anteriormente de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua superficial de la cuenca del río Mashcón, obteniendo así resultados generales a partir de datos particulares de cada estudio seleccionado.

2.4. Procedimiento

El procedimiento llevado a cabo para el desarrollo de la investigación se resume en el siguiente flujograma metodológico mostrado en la Figura 4.

Figura 4

Flujograma del procedimiento metodológico



2.4.1. Revisión sistemática

Inicialmente se desarrolló una revisión sistemática de literatura, con el fin de recopilar información relevante y útil para la investigación. Para ello, se tomó como referencia a la declaración Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) del 2020, la cual es una actualización de la declaración PRISMA del año 2009 y busca contribuir en que las revisiones sistemáticas generen múltiples tipos de conocimiento para los investigadores que las realizan (Page et al., 2021).

Primero, como punto fundamental se definió la pregunta inicial: ¿Cuáles son los estudios realizados en la cuenca del río Mashcón que evaluaron al menos cinco de los parámetros propuestos por el método ICA-NSF en los últimos 15 años? A partir de ello, se establecieron los siguientes criterios:

a) Criterios de elegibilidad

Para el proceso de elegibilidad se tomaron en cuenta los estudios con contenido de datos cuantitativos de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas superficiales pertenecientes a la cuenca hidrográfica del río Mashcón desarrollados en los últimos 15 años.

Los datos cuantitativos presentes en cada uno de los estudios debieron ser de al menos cinco de los nueve parámetros establecidos por el método ICA-NSF (pH, cambio de temperatura, saturación de oxígeno, DBO₅, TDS, turbidez, nitratos, fosfatos y coliformes termotolerantes).

En el caso de que los datos de cambio de temperatura fueran inexistentes en los estudios, se evaluó la posibilidad del cálculo manual si se presentaban valores de

temperatura del agua y temperatura del ambiente, para de esta manera considerar este parámetro como uno más del estudio.

En el caso de la ausencia de datos de saturación de oxígeno en el agua, también se evaluó la posibilidad de un cálculo manual, a través de valores de oxígeno disuelto. En los estudios que no presentaron ninguno de estos datos, no se les consideró este parámetro como evaluado.

b) Recursos de información

Los principales recursos de información a los que se recurrió para la búsqueda de información fueron repositorios institucionales, sin embargo, también se utilizaron buscadores como Scielo, Redalyc, Google Académico, Springer Link y ALICIA (CONCYTEC), aunque no se logró obtener una cantidad significativa de estudios a partir de ellos.

c) Estrategia de búsqueda

La estrategia de búsqueda utilizada se basó en el uso de palabras clave relacionadas al tema de estudio, tales como “Río Mashcón”, “Calidad del agua de la cuenca del río Mashcón”, “Calidad del agua del río Mashcón”, “Calidad del agua del río Porcón”, “Calidad del agua del río Grande”, “Análisis fisicoquímico del agua de la cuenca del río Mashcón”, “Análisis microbiológico del agua de la cuenca del río Mashcón”, “Características del agua del río Mashcón”, “Calidad de los recursos hídricos en la cuenca del río Mashcón” y “Calidad del agua en la cuenca del río Crisnejas”.

d) Criterios de descarte e inclusión

Como parte de los criterios de inclusión se consideraron los estudios más afines al tema de investigación que contenían información sustentada en bases científicas para que de esta manera aporten significativamente a la determinación de la calidad ambiental del agua de la cuenca del río Mashcón y que los resultados sean confiables. También se establecieron como criterios importantes de exclusión el alto grado de similitud entre los estudios, lo que significaría una réplica de información; el acceso limitado al 100 % del documento, puesto que no se podría generar información contundente mediante el análisis incompleto de un estudio; la ausencia de datos importantes que corroboren la procedencia y originalidad del estudio.

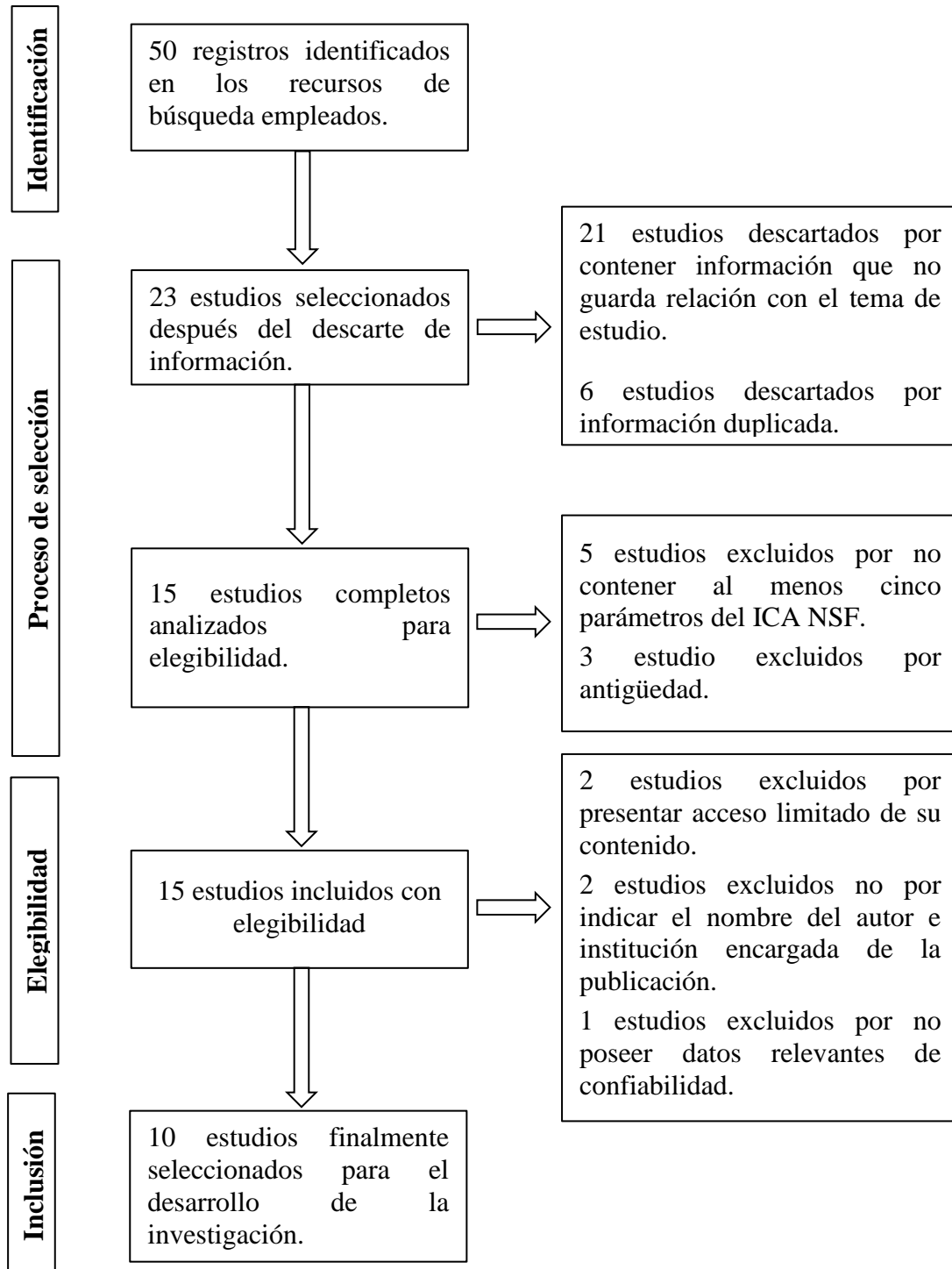
e) Selección de estudios

En total se identificaron 50 registros a partir de los recursos de búsqueda utilizados mediante la digitación de palabras clave en relación al tema de investigación. De esta cantidad inicial, se descartaron 27 estudios, de los cuales 21 de ellos fueron por no contener información sobre el ámbito de la investigación y 6 por tratarse de duplicados del mismo estudio, pero encontrados con distintos nombres de descarga, de tal manera de que el número de estudios disminuyó a 23. Luego, en continuidad del proceso de selección, se excluyeron 5 estudios por no presentar datos cuantitativos de al menos 5 parámetros de los propuestos por el método ICA-NSF y tres por indicar un año de publicación menor al establecido inicialmente, quedando así 15 estudios incluidos por los criterios de elegibilidad. Los 15 estudios sobrantes fueron analizados de acuerdo a los criterios de descarte e inclusión; 2 estudios fueron excluidos por no poseer contenido de acceso libre; 2 por no haberse encontrado en

ninguna parte del documento el nombre del autor o de la institución encargada de la publicación del estudio; y 1 por no incluir datos que proporcionen confiabilidad a la información brindada. Finalmente quedaron 10 estudios para ser parte de la investigación que contaron con las características necesario para la determinación del índice de calidad ambiental del agua de la cuenca del río Mashcón (Figura 5).

Figura 5

Diagrama del proceso de la selección de estudios



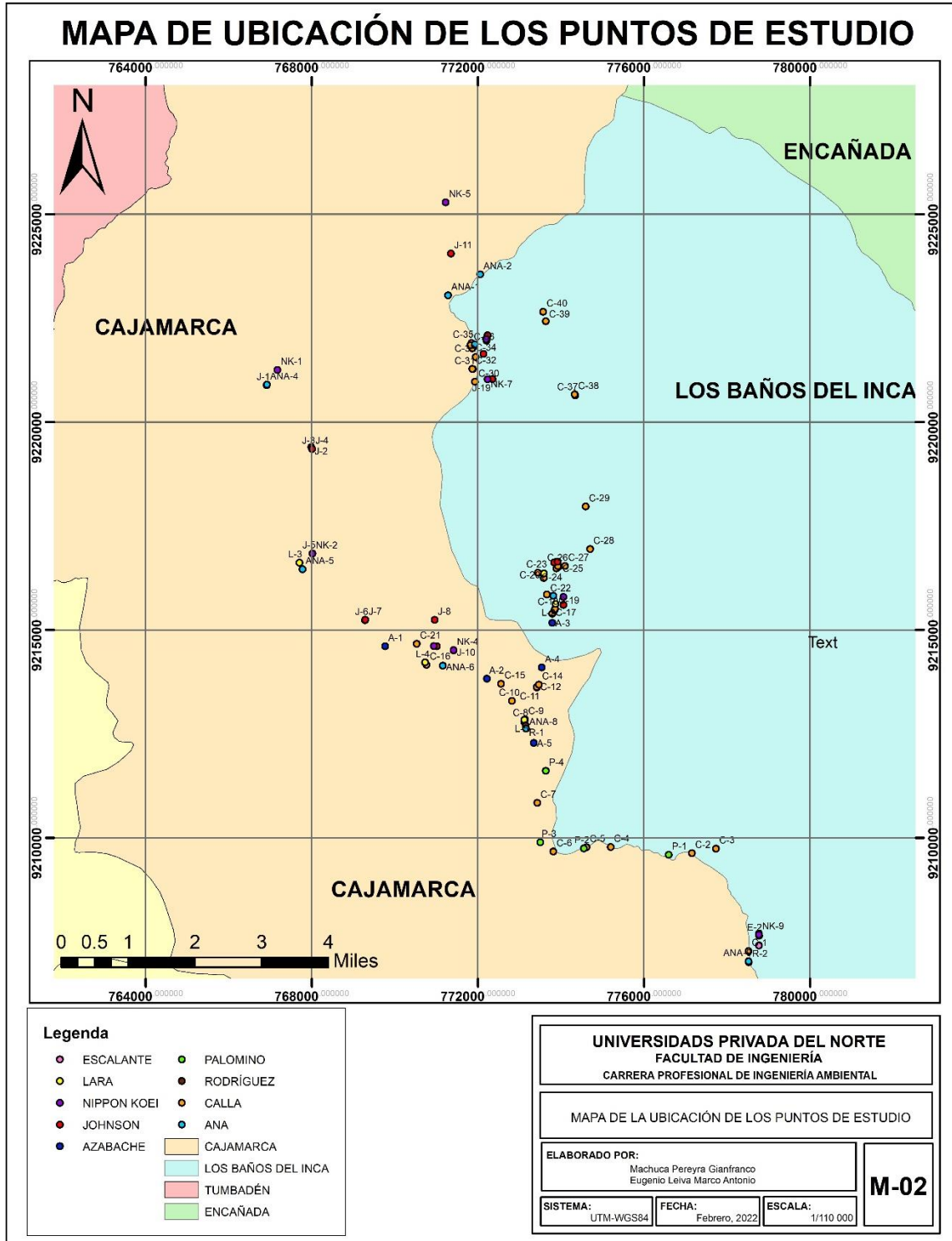
2.4.2. Localización de los puntos de muestreo

Las coordenadas de los puntos donde se realizaron los muestreos en los 10 estudios fueron identificadas y extraídas en un documento de Excel, donde se ordenaron por estudio. Cada punto fue nombrado con la letra inicial del autor, seguida del número de orden propuesto en el estudio, separadas por un guion. Por ejemplo, si el autor fuera Lara, el primer punto propuesto sería L-1, el segundo L-2 y el resto consecutivos a ellos hasta terminar de enumerar a todos los puntos del estudio. En el caso en el que se presentaron dos autores, se incluyeron ambas iniciales y en el caso de los estudios realizados por instituciones se incluyeron sus abreviaturas.

En total se identificaron 101 puntos de muestreo, de los cuales 6 no presentaron coordenadas, por tal motivo, solo 95 puntos fueron localizados geográficamente en el programa Google Earth Pro (ANEXO N°1), los cuales posteriormente fueron establecidos en un mapa a través del software ArcGIS 10.5 como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Mapa de ubicación de los puntos de estudio

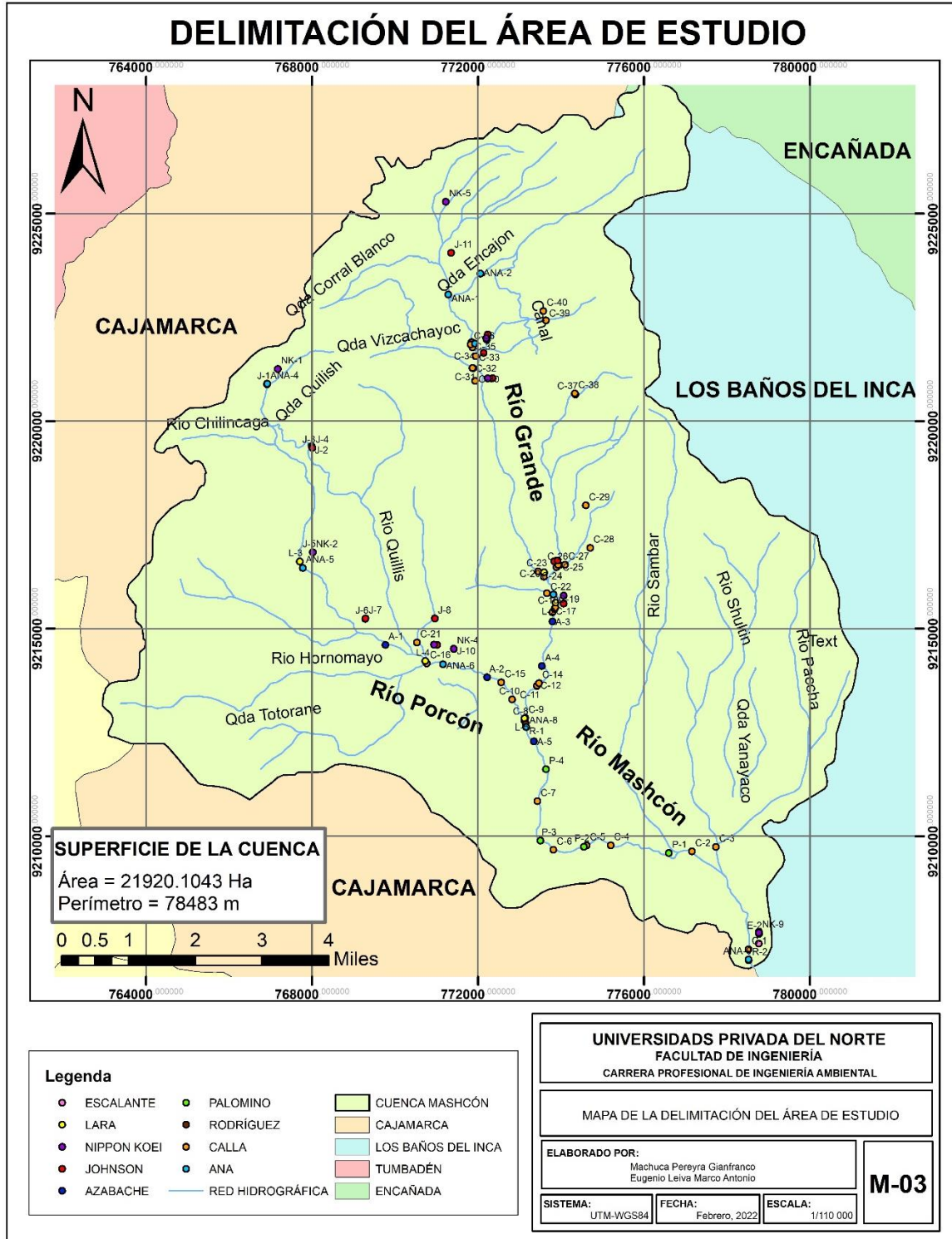


Nota. Cada grupo de puntos se representa de un color diferente según el estudio al que pertenecen.

A partir de ello, se logró delimitar el área de estudio en el mismo programa, mostrándose también la ubicación de cada uno de los puntos en relación a la red hidrográfica dentro de ella, como se muestra en la Figura 7. Además, el cálculo de datos sobre la superficie delimitada dio como resultado un área total de 21920.1043 Ha y un perímetro de 78483 m.

Figura 7

Mapa de la delimitación del área de estudio



Nota. El mapa fue elaborado mediante el uso del software ArcGis 10.5.

2.4.3. Recolección de datos

De cada uno de los estudios seleccionados se identificaron los parámetros evaluados pertenecientes a la lista de los incluidos para el cálculo del ICA-NSF:

- pH.
- Cambio de temperatura.
- Turbidez.
- Sólidos disueltos totales (TDS).
- Saturación de oxígeno.
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).
- Nitratos.
- Fosfatos.
- Coliformes termotolerantes.

En los casos donde no se identificaron datos sobre el cambio de temperatura, pero sí de la temperatura del agua y del ambiente, se realizó un cálculo manual sencillo a través de la diferencia de ambos valores, como se muestra en la Ecuación (1).

$$\text{Cambio de } T^{\circ} = T^{\circ} \text{ del ambiente} - T^{\circ} \text{ del agua} \quad (1)$$

De igual manera, en el caso de los estudios que no contenían datos de saturación de oxígeno disuelto, también se realizó un cálculo manual, pero esta vez a partir de valores de temperatura del agua y oxígeno disuelto expresado en mg/L.

Primero, se identificó la solubilidad del oxígeno en agua dulce mediante la temperatura del agua a través de la siguiente relación mostrada en la Tabla 3.

Tabla 3

Solubilidad de oxígeno en agua dulce

Temp. (°C)	OD (mg/L)	Temp. (°C)	OD (mg/L)	Temp. (°C)	OD (mg/L)	Temp. (°C)	Temp. (mg/L)
1	14.19	12	10.76	23	8.56	34	7.05
2	13,81	13	10.52	24	8.40	35	6.93
3	13.44	14	10.29	25	8.24	36	6.82
4	13.09	15	10.07	26	8.09	37	6.71
5	12.75	16	9.85	27	7.95	38	6.61
6	12.43	17	9.65	28	7.81	39	6.51
7	12.12	18	9.45	29	7.67	40	6.41
8	11.83	19	9.26	30	7.54	41	6.31
9	11.55	20	9.07	31	7.41	42	6.22
10	11.27	21	8.90	32	7.28	43	6.13
11	11.01	22	8.72	33	7.16	44	6.04

Nota. Tomado de *Índice de calidad del agua general “ICA”*, por Perry, 2001, como se citó en Servicio Nacional de Estudios Territoriales, s. f.

Después de haber obtenido el valor de solubilidad de oxígeno en agua dulce, se consideró a este dato como el 100 % de saturación de oxígeno y en relación a ello se determinó el porcentaje de saturación correspondiente al valor de oxígeno disuelto presentado en el estudio, por lo que se empleó la Ecuación (2).

$$\% \text{ Sat. OD} = \frac{OD}{\text{Solubilidad}} \times 100 \quad (2)$$

2.4.4. Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la evaluación del cumplimiento de la normativa nacional de los valores obtenidos a partir de los estudios seleccionados, se aplicaron los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, categoría 3: agua para riego de vegetales y bebida de animales propuestos en el D.S. N° 004-2017-MINAM (ANEXO N°4) con el propósito de verificar si los valores de los parámetros analizados indican que las aguas son aptas para dicho uso. Los valores establecidos por la normativa nacional para los parámetros incluidos en el método ICA-NSF se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4

Estándares de Calidad Ambiental, categoría 3 de los parámetros del método ICA-NSF

Parámetro NSF	Unidad	ECA-C3
pH	Unidad de pH	6.5 – 8.4
Cambio de temperatura	°C	-
Turbidez	NTU	-
TDS	mg/L	-
Sat. OD	%	-
DBO ₅	mgO ₂ /L	15
Nitratos	mg/L	-
Fosfatos	mg/L	-
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1 000

Nota. elaborado a partir del D.S. N°004-2017-MINAM.

2.4.5. Aplicación del método ICA-NSF

Para la determinación de la calidad del agua de la cuenca del río Mashcón se utilizó el método ICA-NSF propuesto en el año 1970, donde se indica que son nueve los parámetros a considerar para esta metodología, teniendo cada uno de ellos un peso relativo individual, los que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

Pesos relativos de los parámetros que conforman el ICA-NSF

Parámetro	Unidad	Peso relativo (Wi)
pH	Unidad de pH	0.11
Cambio de temperatura	°C	0.10
Turbidez	NTU	0.08
TDS	mg/L	0.07
Saturación de OD	%	0.17
DBO ₅	mgO ₂ /L	0.11
Nitratos	mg/L	0.10
Fosfatos	mg/L	0.10
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	0.16

Nota. Adaptado de “Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador” (p. 119), por J. García-Gonzales et al., 2021, *Ingeniería del Agua*, 25(2).

Este método se basa en la sumatoria de los resultados de la multiplicación entre el peso relativo por la calidad obtenida de cada parámetro, lo que se traduce en la Ecuación (3).

$$ICA - NSF = \sum_{i=1}^n W_i * Q_i \quad (3)$$

Donde:

W_i = el peso relativo de los i -ésimos parámetros, un número entre 0 y 1.

Q_i = la calidad de los i -ésimos parámetros, un número entero entre 0 y 100.

Al no poder identificar todos los parámetros en cada uno de los estudios, se decidió trabajar con al menos cinco de ellos, por lo que se tuvo que tener en cuenta que la sumatoria de los pesos relativos de los parámetros incluidos debe ser igual a la unidad (Ecuación 4).

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (4)$$

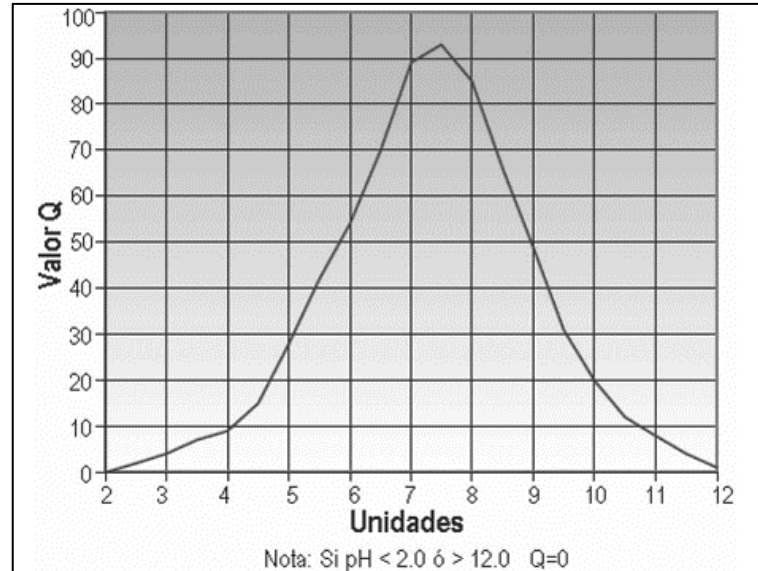
Donde:

n = número de parámetros.

El valor del índice de calidad de cada parámetro (Q_i) se determinó a través de la interpolación de los resultados obtenidos de cada uno en las curvas de función, las cuales se muestran a continuación en las Figuras 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16.

Figura 8

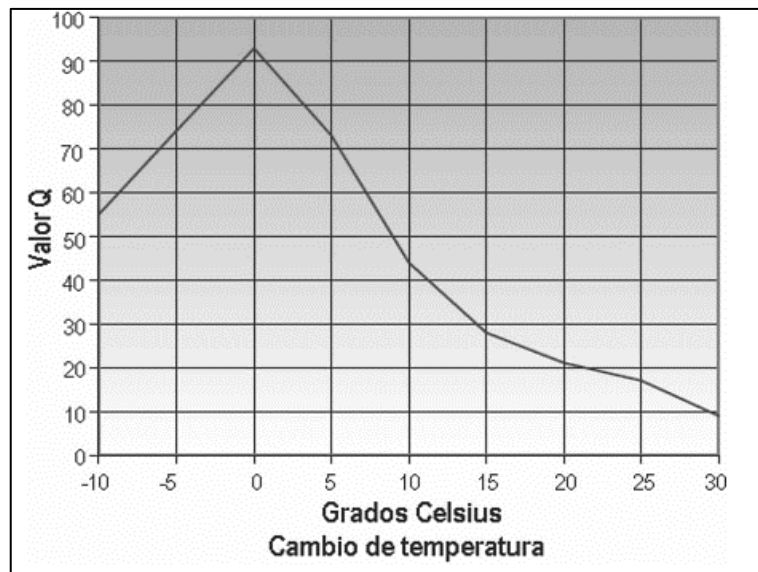
Curva de función de pH



Nota. Tomado de *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzintla, Ver* (p. 35), por L. N. Chávez, 2015, Universidad Veracruzana.

Figura 9

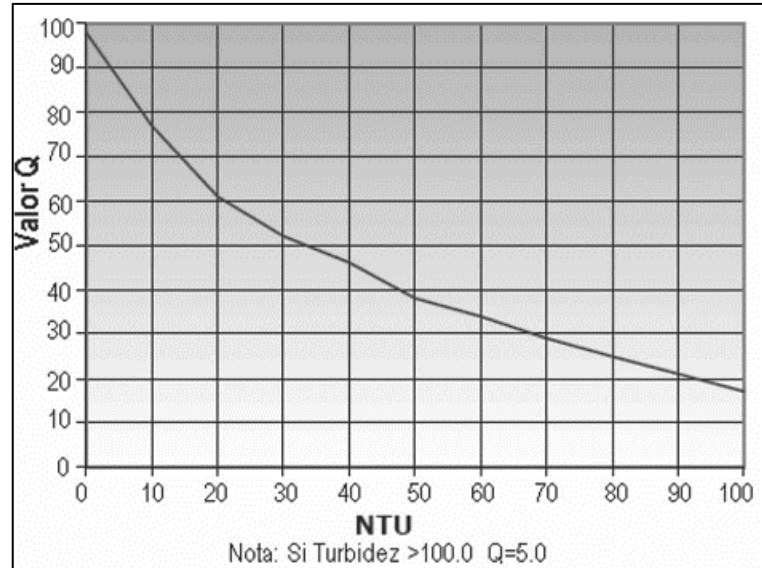
Curva de función del cambio de temperatura



Nota. Tomado de *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzintla, Ver* (p. 35), por L. N. Chávez, 2015, Universidad Veracruzana.

Figura 10

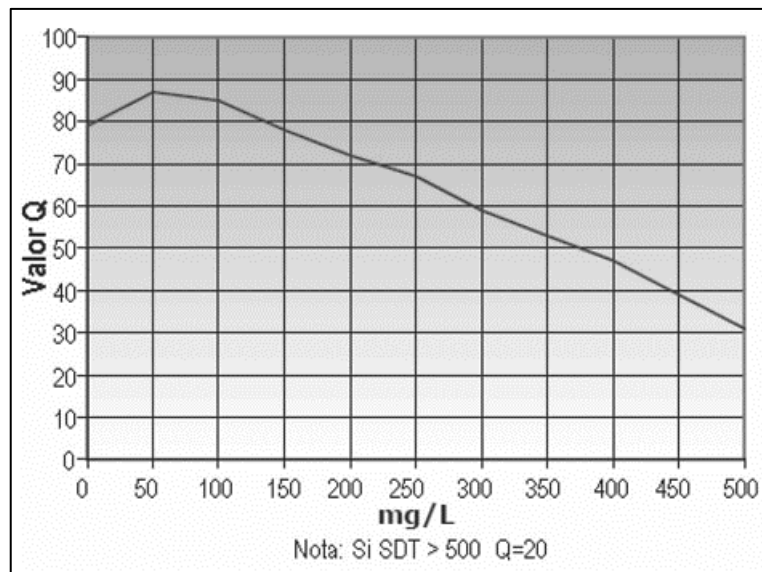
Curva de función de turbidez



Nota. Tomado de *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzintla, Ver* (p. 33), por L. N. Chávez, 2015, Universidad Veracruzana.

Figura 11

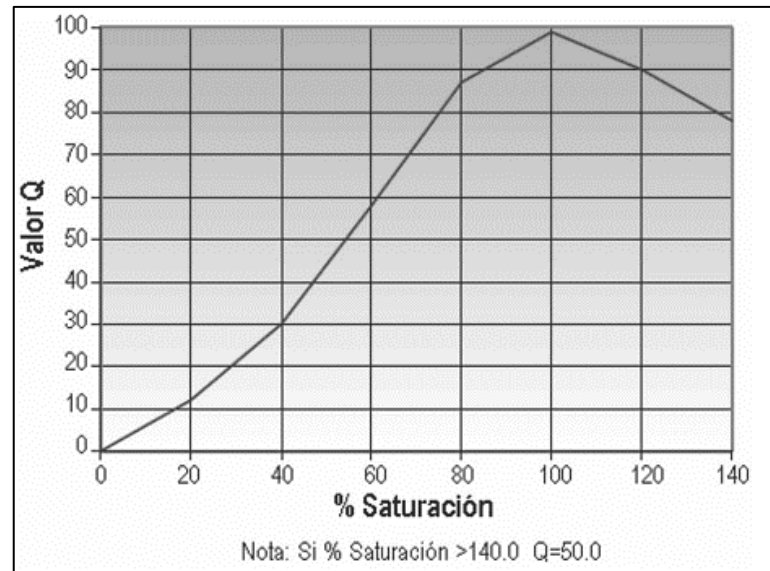
Curva de función de TDS



Nota. Tomado de *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzintla, Ver* (p. 32), por L. N. Chávez, 2015, Universidad Veracruzana.

Figura 12

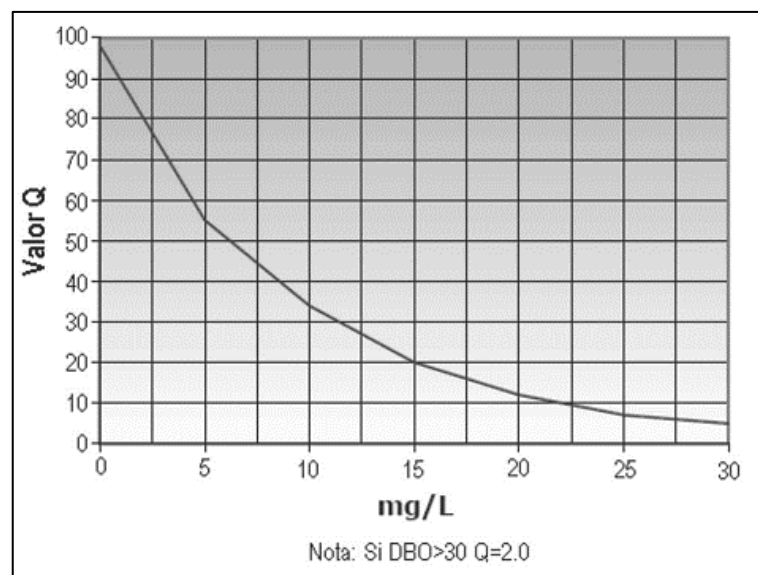
Curva de función de saturación de oxígeno



Nota. Tomado de *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzintla, Ver* (p. 34), por L. N. Chávez, 2015, Universidad Veracruzana.

Figura 13

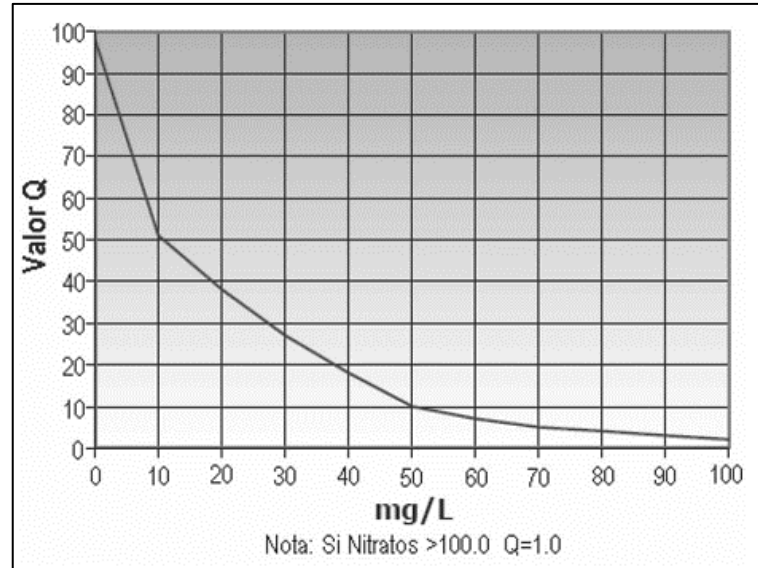
Curva de función de DBO₅



Nota. Tomado de *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzintla, Ver* (p. 32), por L. N. Chávez, 2015, Universidad Veracruzana.

Figura 14

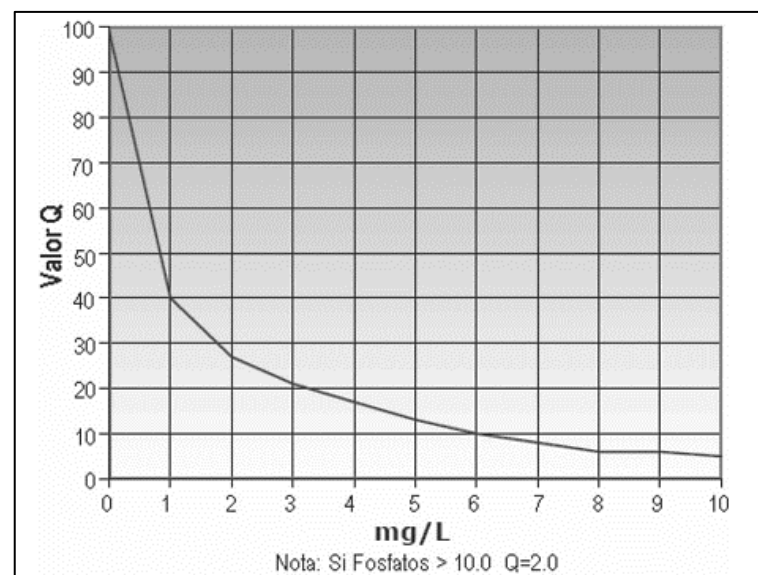
Curva de función de nitratos



Nota. Tomado de *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzintla, Ver* (p. 33), por L. N. Chávez, 2015, Universidad Veracruzana.

Figura 15

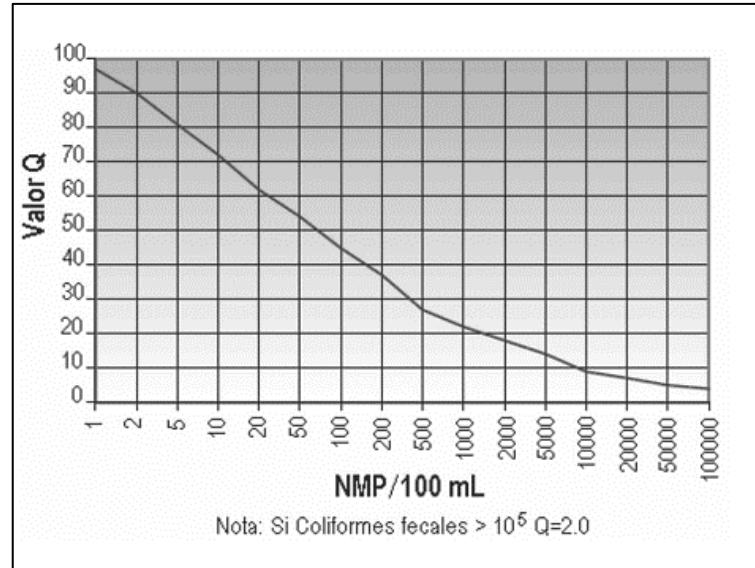
Curva de función de fosfatos



Nota. Tomado de *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzintla, Ver* (p. 36), por L. N. Chávez, 2015, Universidad Veracruzana.

Figura 16

Curva de función de coliformes termotolerantes



Nota. Tomado de *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzintla, Ver* (p. 34), por L. N. Chávez, 2015, Universidad Veracruzana.

Los resultados obtenidos se evaluaron en relación a la Tabla 6, donde se indica la caracterización del agua de acuerdo al ICA-NSF. Los resultados entre 90 y 100 clasificaron a la calidad del agua como Excelente, entre 70 y 90 como Buena, entre 50 y 70 como Media, entre 25 y 50 como Mala y entre 0 y 25 como Muy Mala.

Tabla 6

Clasificación de la calidad del agua según el ICA-NSF

Rango ICA - NSF	Clasificación
90 - 100	Excelente
70 – 90	Buena
50 -70	Media
25 – 50	Mala
0 - 25	Muy mala

Nota. Adaptado de *Desarrollo e innovación en ingeniería* (p. 186), por E. Serna, 2017, Instituto Antioqueño de Investigación.

2.4.6. Análisis estadístico

A partir de los datos cuantitativos recolectados se realizó un análisis estadístico con el propósito de validarlos y sistematizarlos de una mejor manera. Para ello, se determinaron el promedio o media, la mediana, varianza, desviación estándar y error estándar.

2.5. Aspectos éticos

La presente investigación brinda información correctamente citada en los casos donde se utilizaron fuentes externas, con el propósito de respetar los derechos de autor de cada uno de los estudios empleados, manteniendo así la integridad académica y el reconocimiento de los investigadores. Además, la información propia generada se encuentra debidamente sustentada, con el fin de mostrar datos transparentes y legítimos relacionados al tema de estudio para

asegurar el cumplimiento de los aspectos éticos de la investigación y generar un alto grado de credibilidad.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Resultados de la revisión

La revisión sistemática de literatura dio un resultado de 10 estudios, los cuales se muestran en la Tabla 7. Los estudios se realizaron entre los años 2007 y 2020, abarcando un total de 11 años, pues, hubo ausencia de algunos. El estudio de Escalante (2018) fue el más antiguo, habiéndose realizado en el año 2007; mientras que, el más actual de la lista fue el de Calua y Carrasco (2021) que se realizó en el 2020.

El parámetro más evaluado fue el pH, mientras que, el que se evaluó con menor frecuencia fue el cambio de temperatura. El estudio de Calua y Carrasco (2021) fue el que presentó el 100 % de los nueve parámetros del ICA-NSF, seguido del estudio de Nippon Koei (2010), donde se evaluaron siete parámetros, y los de Lara (2018) y Rodríguez (2019) que evaluaron seis, el resto de ellos solo presentó el mínimo número de parámetros requeridos.

Tabla 7
Estudios seleccionados a partir de la revisión sistemática

N° de estudio	Autor (es)	Tipo de estudio	Año de publicación	Año(s) de evaluación	Título del estudio	Parámetros del ICA-NSF evaluados
1	Escalante Lara	Tesis de maestría	2018	2007	Caracterización de las aguas del río Mashcón y San Lucas, y del efluente de las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca con fines de evaluación ambiental, marzo – agosto del 2007.	- pH - TDS - DBO ₅ - Nitratos - Coli. Term.
2		Tesis de doctorado	2018	2008 2009	Relación entre la dinámica poblacional del Perifiton y la calidad del agua en los ríos Grande y Porcón de Cajamarca, 2008 -2009.	- pH - Turbidez - TDS - Sat. OD - Nitratos - Coli. Term.

N° de estudio	Autor (es)	Tipo de estudio	Año de publicación	Año(s) de evaluación	Título del estudio	Parámetros del ICA-NSF evaluados
3	Nippon Koei	Plan de gestión	2010	2008 2009	Plan de gestión de los recursos hídricos en las cuencas Mashcón y Chonta con énfasis en el afianzamiento hídrico de las subcuencas Azufre, Paccha y río Grande de Chonta, Cajamarca, Perú.	<ul style="list-style-type: none"> - pH - Turbidez - Sat. OD - DBO₅ - Nitratos - Fosfatos - Coli. Term.
4	Johnson	Tesis de pregrado	2012	2011 2012	Evaluación fisicoquímica y bacteriológica en las cuencas del río Porcón y río Grande, Cajamarca – Perú, entre noviembre del 2011 y febrero del 2012.	<ul style="list-style-type: none"> - pH - Turbidez - TDS - Sat. OD - Coli. Term.

N° de estudio	Autor (es)	Tipo de estudio	Año de publicación	Año(s) de evaluación	Título del estudio	Parámetros del ICA-NSF evaluados
5	Azabache	Tesis de doctorado	2018	2012 2013	Determinación de la calidad ecológica del agua de los ríos Porcón, Grande y Mashcón-Cajamarca, en función de la macrofauna bentónica como bioindicador.	- pH - Cambio de temperatura - Turbidez - TDS - Sat. Oxígeno
6	Palomino	Artículo científico	2018	2016	Evaluación de la calidad del agua en el río Mashcón, Cajamarca, 2016.	- pH - Sat. OD - DBO ₅ - Nitratos - Fosfatos
7	Rodríguez	Tesis de pregrado	2019	2017 2018	Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica de las aguas del río Mashcón en Huambocancha Baja y Bella Unión durante setiembre y diciembre del 2017 y mayo del 2018.	- pH - Sat. OD - DBO ₅ - Nitratos - Fosfatos - Coli. Term-

N° de estudio	Autor (es)	Tipo de estudio	Año de publicación	Año(s) de evaluación	Título del estudio	Parámetros del ICA-NSF evaluados
8	Calla	Tesis de pregrado	2019	2018	Actividades antrópicas y calidad del agua en la cuenca del río Mashcón.	<ul style="list-style-type: none"> - pH - Turbidez - Sat. OD - DBO₅ - Nitratos
9	ANA	Informe técnico	2020	2019	Informe Técnico N° 004-2020-ANA-AAA-M-ALA.C/MCC. Noveno monitoreo participativo de calidad de agua superficial de la cuenca del río Crisnejas – Sub cuenca Cajamarquino.	<ul style="list-style-type: none"> - Sat. OD - DBO₅ - Nitratos - Fosfatos - Coli. Term.

N° de estudio	Autor (es)	Tipo de estudio	Año de publicación	Año(s) de evaluación	Título del estudio	Parámetros del ICA-NSF evaluados
10	Calua y Carrasco	Tesis de pregrado	2021	2020	Evaluación de la calidad del agua mediante el método ICA NSF para conservar el recurso hídrico en un sector de la microcuenca Porcón, Cajamarca 2020.	<ul style="list-style-type: none"> - pH - Cambio de temperatura - Turbidez - TDS - Sat. OD - DBO₅ - Nitratos - Fosfatos - Coli. Term

3.2. Parámetros del ICA-NSF evaluados en los estudios seleccionados

En la Tabla 8, figuran todos los promedios de los valores de los nueve parámetros propuestos para la determinación del ICA-NSF, obtenidos en la evaluación de cada uno de los estudios seleccionados. Ninguno de los parámetros fue evaluado en su totalidad en el grupo de los 10 estudios; sin embargo, el pH se evaluó en nueve de ellos, siendo el único restante el estudio de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2020). Por otro lado, el parámetro menos evaluado fue el cambio de la temperatura, pues, generalmente solo se mide la temperatura del agua.

Los resultados de pH variaron desde 7.18 en el estudio de Johnson (2012) hasta 7.83 en el estudio de Azabache (2018); los de cambio de la temperatura oscilaron entre 0.59 °C en el estudio de Azabache (2018) hasta 11.13 °C en el estudio de Calua y Carrasco (2021); la turbidez varió de 6.28 NTU en el estudio de Calua y Carrasco (2021) a 109.23 NTU en el de Nippon Koei (2010); los TDS oscilaron entre 170.85 mg/L en el estudio de Johnson (2012) y 363.93 mg/L en el de Calua y Carrasco (2021); el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en el agua varió de 41.41 % en el estudio de Nippon Koei (2010) a 101.90 % en el de Calla (2019); la demanda bioquímica de oxígeno osciló entre 1.18 mgO₂/L en el estudio de Calla (2019) y 75.13 mgO₂/L en el estudio de Rodríguez (2019); por otro lado, el valor más bajo de nitratos se obtuvo del estudio de Escalante (2018) con 0.30 mg/L y el más elevado del estudio del ANA (2020) con 9.30 mg/L; mientras que, con relación a los fosfatos, el más bajo se obtuvo del estudio del ANA (2020) con 0.012 mg/L y el mayor del de Calua y Carrasco (2021) con 0.30 mg/L. Los valores de coliformes termotolerantes más bajos sucedieron en el estudio de Calua y Carrasco (2021) con 15.33 NMP/100ml y los más elevados en el estudio de Rodríguez (2019) con 3310471.25 NMP/100ml, representando una cifra preocupante.

Tabla 8

Promedios de los parámetros propuestos por el ICA-NSF según cada estudio

N° de estudio	Autor(es)	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
1	Escalante	7.74	-	-	341.67	-	49.63	0.30	-	2798000.00
2	Lara	7.50	-	39.33	222.59	50.14	-	2.98	-	502.27
3	Nippon Koei	7.43	-	109.23	-	41.41	3.13	1.44	0.18	82248.56
4	Johnson	7.18	-	24.71	170.85	63.04	-	-	-	2301.50
5	Azabache	7.83	0.59	65.45	229.99	75.04	-	-	-	-
6	Palomino	7.23	-	-	-	64.42	23.02	1.00	0.30	-
7	Rodríguez	7.64	-	-	-	53.56	75.13	1.81	0.01	3310471.25
8	Calla	7.37	-	45.02	-	101.90	1.18	1.03	-	-
9	ANA	-	-	-	-	67.62	3.44	9.38	0.012	65981.20
10	Calua y Carrasco	7.20	11.13	6.28	363.93	86.97	2.00	1.48	0.33	15.33
Promedio total		7.46	5.86	48.34	265.81	67.12	22.50	2.43	0.17	894217.16

Nota. “-”, significa que no se evaluó el parámetro en el estudio, por lo que no se reportan datos.

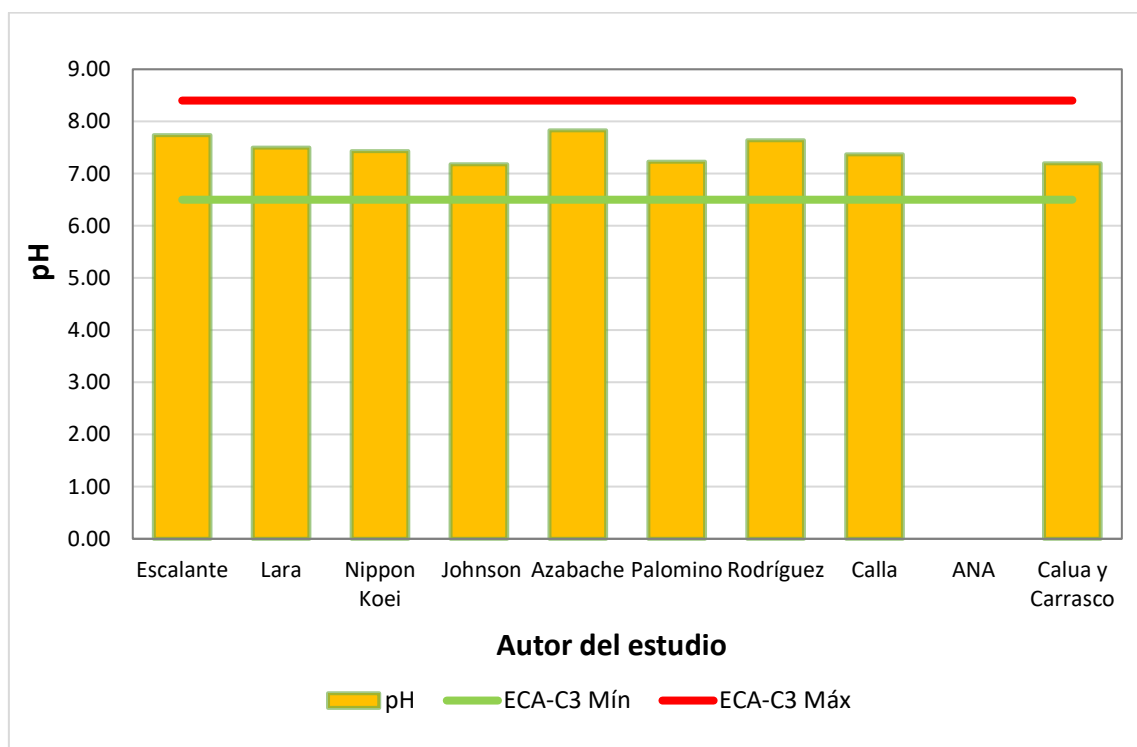
3.3. Evaluación del cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental

En relación a los valores mostrados en la Tabla 8, los parámetros fisicoquímicos pertenecientes a la lista de los Estándares de Calidad Ambiental, categoría 3 del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM fueron evaluados con dicha normativa y se muestran a continuación en las Figuras 17, 18 y 19.

La Figura 17 indica que todos los valores de pH fueron superiores al límite mínimo del ECA-C3 (6.5) e inferiores al límite máximo de la misma normativa (8.4), a excepción del caso del estudio de la ANA (2020), en el cual no se obtuvieron datos de este parámetro.

Figura 17

Evaluación del ECA-C3 de pH

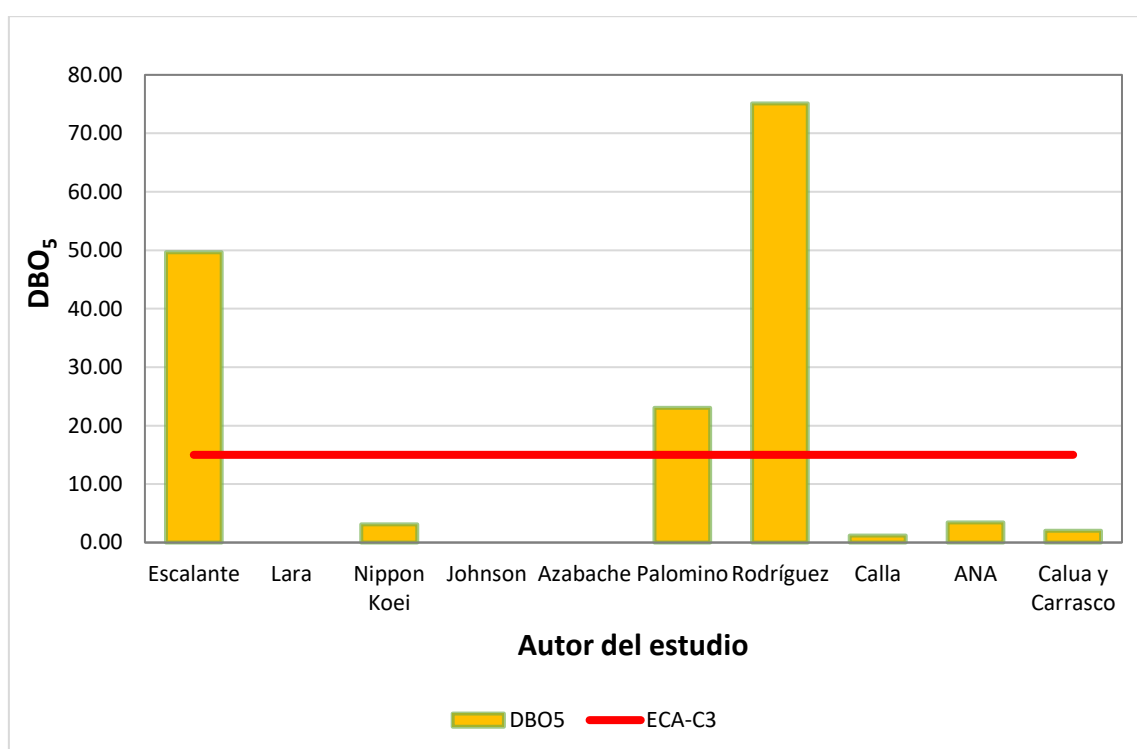


La Figura 18 muestra todos los valores de DBO₅ obtenidos a partir de los estudios seleccionados y el valor máximo del ECA-C3 (15 mgO₂/L). Cuatro de los estudios presentaron

valores por debajo del ECA-C3 y tres lo superaron con valores de 49.63; 23.02 y 75.13 mgO₂/L correspondientes a los estudios de Escalante (2018), Palomino (2018) y Rodríguez (2019) respectivamente; mientras que, en el caso de los estudios de Lara (2018), Johnson (2012) y Azabache (2018) no se identificaron datos de este parámetro.

Figura 18

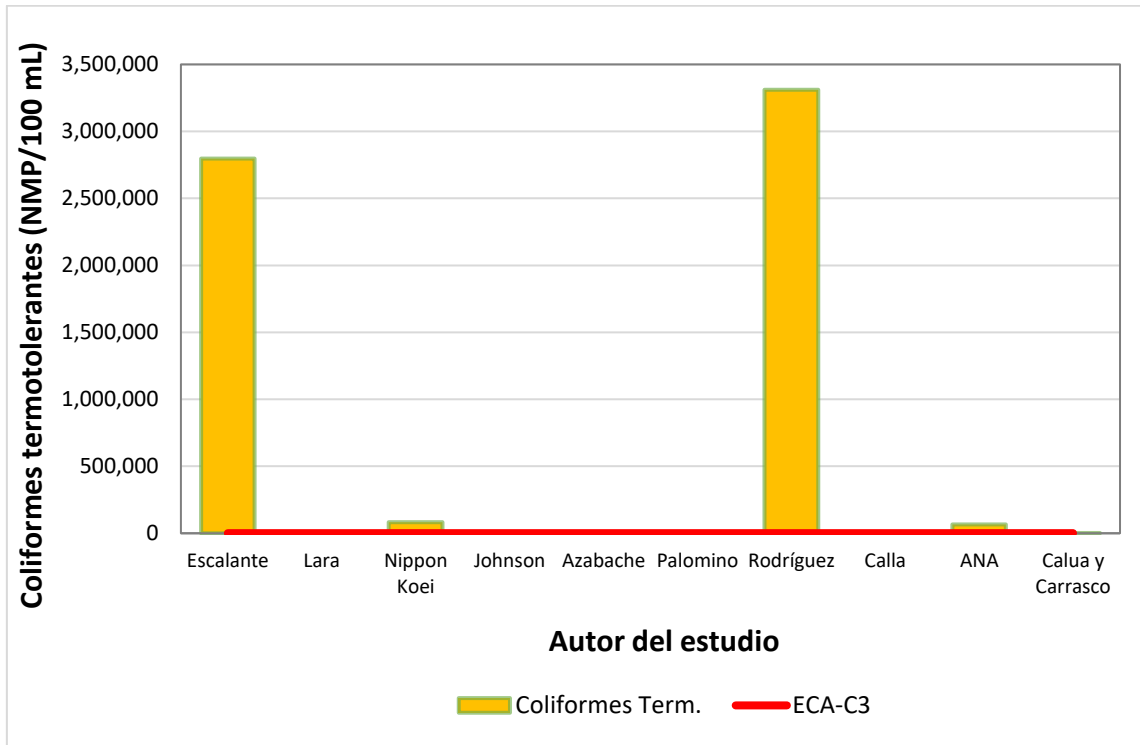
Evaluación del ECA-C3 de DBO₅



La Figura 19 muestra todos los valores de coliformes termotolerantes obtenidos a partir de los estudios evaluados y el valor máximo del ECA-C3 (1000 NMP/100mL). Dos de los estudios presentaron valores por debajo del ECA-C3 y cinco lo superaron con valores de 2798000, 82248.56, 2301.50, 3310471.25 y 65981.2 NMP/100mL correspondientes a los estudios de Escalante (2018), Nippon Koei (2010), Johnson (2012), Rodríguez (2019) y ANA (2020) respectivamente; mientras que, en el caso de los estudios de Azabache (2018), Palomino (2018) y Calla (2019) no se identificaron datos de este parámetro.

Figura 19

Evaluación del ECA-C3 de coliformes termotolerantes



3.4. Resultados del ICA-NSF por estudio

La Tabla 9 contiene el cálculo del Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF de los datos obtenidos a partir del estudio de Escalante (2018), donde se observa que el índice más bajo se obtuvo a partir del DBO₅ con 0.40; mientras que, el mayor se obtuvo a partir de los nitratos con 18.43. El resultado final del ICA-NSF fue de 46.17, considerándose cinco parámetros, los cuales fueron pH, TDS, DBO₅, nitratos y coliformes termotolerantes.

Tabla 9

Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Escalante (2018)

Parámetro	Unidad	Valor obtenido	W_i	W_i corregido	Q_i	W_i*Q_i	ICA-NSF
pH	Unid. de pH	7.74	0.11	0.20	91.00	18.20	
Cambio de temperatura	°C	-	-	-	-	-	
Turbidez	NTU	-	-	-	-	-	
TDS	mg/L	341.67	0.07	0.16	54.00	8.64	
OD	%	-	-	-	-	-	46.17
DBO ₅	mgO ₂ /L	49.63	0.11	0.20	2.00	0.40	
Nitratos	mg/L	0.30	0.10	0.19	97.00	18.43	
Fosfatos	mg/L	-	-	-	-	-	
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	2798000	0.16	0.25	2.00	0.50	

Nota. “-”, significa que no se evaluó el parámetro en el estudio, por lo que no se reportan datos.

La Tabla 10 contiene el cálculo del Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF de los datos obtenidos a partir del estudio de Lara (2018), donde se observa que el índice más bajo fue el de la turbidez con 6.06; mientras que, el mayor fue el del pH con 15.04. El resultado final del ICA-NSF fue de 59.15, considerándose seis parámetros, los cuales fueron pH, turbidez, TDS, saturación del OD, nitratos y coliformes termotolerantes.

Tabla 10

Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Lara (2018)

Parámetro	Unidad	Valor obtenido	W_i	W_i corregido	Q_i	$W_i * Q_i$	ICA-NSF
pH	Unid. de pH	7.50	0.11	0.16	93.00	15.04	
Cambio de temperatura	°C	-	-	-	-	-	
Turbidez	NTU	39.33	0.08	0.13	46.00	6.06	
TDS	mg/L	222.59	0.07	0.12	70.00	8.52	
OD	%	50.14	0.17	0.22	44.00	9.75	59.15
DBO ₅	mgO ₂ /L	-	-	-	-	-	
Nitratos	mg/L	2.98	0.1	0.15	90.00	13.65	
Fosfatos	mg/L	-	-	-	-	-	
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	502.27	0.16	0.21	29.00	6.14	

Nota. “-”, significa que no se evaluó el parámetro en el estudio, por lo que no se reportan datos.

La Tabla 11 contiene el cálculo del Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF de los datos obtenidos a partir del estudio de Nippon Koei (2010), donde se observa que el índice más bajo fue el de la turbidez con 0.52; mientras que el mayor fue el del pH con 12.49. El resultado final del ICA-NSF fue de 52.50, considerándose siete parámetros, los cuales fueron pH, turbidez, saturación del OD, DBO₅, nitratos, fosfatos y coliformes termotolerantes.

Tabla 11

Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Nippon Koei (2010)

Parámetro	Unidad	Valor obtenido	W_i	W_i corregido	Q_i	W_i*Q_i	ICA-NSF
pH	Unid. De pH	7.43	0.11	0.13	93.00	12.49	
Cambio de temperatura	°C	-	-	-	-	-	
Turbidez	NTU	109.23	0.08	0.10	5.00	0.52	
TDS	mg/L	-	-	-	-	-	
OD	%	41.41	0.17	0.19	32.00	6.22	52.50
DBO ₅	mgO ₂ /L	3.13	0.11	0.13	66.00	8.86	
Nitratos	mg/L	1.44	0.10	0.12	96.00	11.93	
Fosfatos	mg/L	0.18	0.10	0.12	93.00	11.56	
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	82248.56	0.16	0.18	5.00	0.92	

Nota. “-”, significa que no se evaluó el parámetro en el estudio, por lo que no se reportan datos.

La Tabla 12 contiene el cálculo del Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF de los datos obtenidos a partir del estudio de Johnson (2012), donde se observa que el índice más bajo fue el de los coliformes termotolerantes con 4.36; mientras que, el mayor fue el del pH con 17.66. El resultado final del ICA-NSF fue de 58.43, considerándose cinco parámetros, los cuales fueron pH, turbidez, TDS, saturación del OD y coliformes termotolerantes.

Tabla 12

Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Johnson (2012)

Parámetro	Unidad	Valor obtenido	W_i	W_i corregido	Q_i	$W_i * Q_i$	ICA-NSF
pH	Unid. de pH	7.18	0.11	0.19	92	17.66	
Cambio de temperatura	°C	-	-	-	-	-	
Turbidez	NTU	24.71	0.08	0.16	57	9.23	
TDS	mg/L	170.85	0.07	0.15	76	11.55	
OD	%	63.04	0.17	0.25	62	15.62	58.43
DBO ₅	mgO ₂ /L	-	-	-	-	-	
Nitratos	mg/L	-	-	-	-	-	
Fosfatos	mg/L	-	-	-	-	-	
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	2301.5	0.16	0.24	18	4.36	

Nota. “-”, significa que no se evaluó el parámetro en el estudio, por lo que no se reportan datos.

La Tabla 13 contiene el cálculo del Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF de los datos obtenidos a partir del estudio de Azabache (2018), donde se observa que el índice más bajo fue el de la turbidez con 5.39; mientras que, el mayor fue el de la saturación del OD con 21.38. El resultado final del ICA-NSF fue de 73.90, considerándose cinco parámetros, los cuales fueron pH, cambio de temperatura, turbidez, TDS y saturación del OD.

Tabla 13

Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Azabache (2018)

Parámetro	Unidad	Valor obtenido	W_i	W_i corregido	Q_i	W_i*Q_i	ICA-NSF
pH	Unid. de pH	7.83	0.11	0.20	89	18.16	
Cambio de temperatura	°C	0.59	0.1	0.19	91	17.65	
Turbidez	NTU	65.45	0.08	0.17	31	5.39	
TDS	mg/L	229.99	0.07	0.16	69	11.32	
OD	%	75.04	0.17	0.26	81	21.38	73.90
DBO ₅	mgO ₂ /L	-	-	-	-	-	
Nitratos	mg/L	-	-	-	-	-	
Fosfatos	mg/L	-	-	-	-	-	
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	-	-	-	-	-	

Nota. “-”, significa que no se evaluó el parámetro en el estudio, por lo que no se reportan datos.

La Tabla 14 contiene el cálculo del Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF de los datos obtenidos a partir del estudio de Palomino (2018), donde se observa que el índice más bajo fue el del DBO₅ con 1.73; mientras que, el mayor fue el del pH con 17.66. El resultado final del ICA-NSF fue de 67.99, considerándose cinco parámetros, los cuales fueron pH, saturación del OD, DBO₅, nitratos y fosfatos.

Tabla 14

Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Palomino (2018)

Parámetro	Unidad	Valor obtenido	W_i	W_i corregido	Q_i	$W_i * Q_i$	ICA-NSF
pH	Unid. de pH	7.23	0.11	0.19	92.00	17.66	
Cambio de temperatura	°C	-	-	-	-	-	
Turbidez	NTU	-	-	-	-	-	
TDS	mg/L	-	-	-	-	-	
OD	%	64.42	0.17	0.25	65.00	16.38	67.99
DBO ₅	mgO ₂ /L	23.02	0.11	0.19	9.00	1.73	
Nitratos	mg/L	1.00	0.10	0.18	96.00	17.47	
Fosfatos	mg/L	0.30	0.10	0.18	81.00	14.74	
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	-	-	-	-	-	

Nota. “-”, significa que no se evaluó el parámetro en el estudio, por lo que no se reportan datos.

La Tabla 15 contiene el cálculo del Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF de los datos obtenidos a partir del estudio de Rodríguez (2019), donde se observa que el índice más bajo fue el del DBO₅ con 0.30; mientras que, el mayor fue el de los fosfatos con 14.17. El resultado final del ICA-NSF fue de 52.66, considerándose seis parámetros, los cuales fueron pH, saturación del OD, DBO₅, nitratos y fosfatos y coliformes termotolerantes.

Tabla 15

Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Rodríguez (2019)

Parámetro	Unidad	Valor obtenido	W_i	W_i corregido	Q_i	$W_i * Q_i$	ICA-NSF
pH	Unid. de pH	7.64	0.11	0.15	92.00	13.95	
Cambio de temperatura	°C	-	-	-	-	-	
Turbidez	NTU	-	-	-	-	-	
TDS	mg/L	-	-	-	-	-	
OD	%	53.56	0.17	0.21	49.00	10.37	52.66
DBO ₅	mgO ₂ /L	75.13	0.11	0.15	2.00	0.30	
Nitratos	mg/L	1.81	0.10	0.14	95.00	13.46	
Fosfatos	mg/L	0.01	0.10	0.14	100.00	14.17	
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	3310471.25	0.16	0.20	2.00	0.40	

Nota. “-”, significa que no se evaluó el parámetro en el estudio, por lo que no se reportan datos.

La Tabla 16 contiene el cálculo del Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF de los datos obtenidos a partir del estudio de Calla (2019), donde se observa que el índice más bajo fue el de la turbidez con 6.97; mientras que el mayor fue el de la saturación de oxígeno con 25.34. El resultado final del ICA-NSF fue de 86.63, considerándose cinco parámetros, los cuales fueron pH, turbidez, saturación del OD, DBO₅ y nitratos.

Tabla 16

Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Calla (2019)

Parámetro	Unidad	Valor obtenido	W _i	W _i corregido	Q _i	W _i *Q _i	ICA-NSF
pH	Unid. De pH	7.37	0.11	0.20	93.00	18.23	
Cambio de temperatura	°C	-	-	-	-	-	
Turbidez	NTU	45.02	0.08	0.17	42.00	6.97	
TDS	mg/L	-	-	-	-	-	
OD	%	101.9	0.17	0.26	99.00	25.34	86.63
DBO ₅	mgO ₂ /L	1.18	0.11	0.20	93.00	18.23	
Nitratos	mg/L	1.03	0.10	0.19	96.00	17.86	
Fosfatos	mg/L	-	-	-	-	-	
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	-	-	-	-	-	

Nota. “-”, significa que no se evaluó el parámetro en el estudio, por lo que no se reportan datos.

La Tabla 17 contiene el cálculo del Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF de los datos obtenidos a partir del estudio de la ANA (2020), donde se observa que el índice más bajo fue el de los coliformes termotolerantes con 1.16; mientras que el mayor fue el de los fosfatos con 17.20. El resultado final del ICA-NSF fue de 56.13, considerándose cinco parámetros, los cuales fueron saturación del OD, DBO₅ y nitratos, fosfatos y coliformes termotolerantes.

Tabla 17

Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de la ANA (2020)

Parámetro	Unidad	Valor obtenido	W _i	W _i corregido	Q _i	W _i *Q _i	ICA-NSF
pH	Unid. de pH	-	-	-	-	-	
Cambio de temperatura	°C	-	-	-	-	-	
Turbidez	NTU	-	-	-	-	-	
TDS	mg/L	-	-	-	-	-	
OD	%	67.62	0.17	0.24	71.00	17.18	56.13
DBO ₅	mgO ₂ /L	3.44	0.11	0.18	64.00	11.65	
Nitratos	mg/L	9.38	0.10	0.17	52.00	8.94	
Fosfatos	mg/L	0.012	0.10	0.17	100.00	17.20	
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	65981.20	0.16	0.23	5.00	1.16	

Nota. “-”, significa que no se evaluó el parámetro en el estudio, por lo que no se reportan datos.

La Tabla 18 contiene el cálculo del Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF de los datos obtenidos a partir del estudio de Calua y Carrasco (2021), donde se observa que el índice más bajo fue el de los TDS con 3.57; mientras que el mayor fue el de la saturación del OD con 15.64. El resultado final del ICA-NSF fue de 76.73, considerándose los nueve parámetros propuestos por dicho índice.

Tabla 18

Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF del estudio de Calua y Carrasco (2021)

Parámetro	Unidad	Valor obtenido	W _i	Q _i	W _i *Q _i	ICA-NSF
pH	Unid. de pH	7.20	0.11	92.00	10.12	
Cambio de temperatura	°C	11.13	0.10	40.00	4.00	
Turbidez	NTU	6.28	0.08	83.00	6.64	
TDS	mg/L	363.93	0.07	51.00	3.57	
OD	%	86.97	0.17	92.00	15.64	76.73
DBO ₅	mgO ₂ /L	2.00	0.11	80.00	8.80	
Nitratos	mg/L	1.48	0.10	96.00	9.60	
Fosfatos	mg/L	0.33	0.10	78.00	7.80	
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	15.33	0.16	66.00	10.56	

Nota. “-”, significa que no se evaluó el parámetro en el estudio, por lo que no se reportan datos.

3.5. Resultado general del ICA-NSF por estudio según los puntos de muestreo

De los 10 estudios evaluados, el que presentó el valor más bajo del ICA-NSF fue el de Escalante (2018) con 50.99; mientras que el que presentó el valor más elevado fue el de Calla (2019) con 87.67. El promedio de los 10 resultados fue de 68.35, el cual es el dato que representa el ICA-NSF total para la clasificación de la cuenca del río Mashcón (Tabla 19).

Tabla 19

ICA-NSF total según cada autor

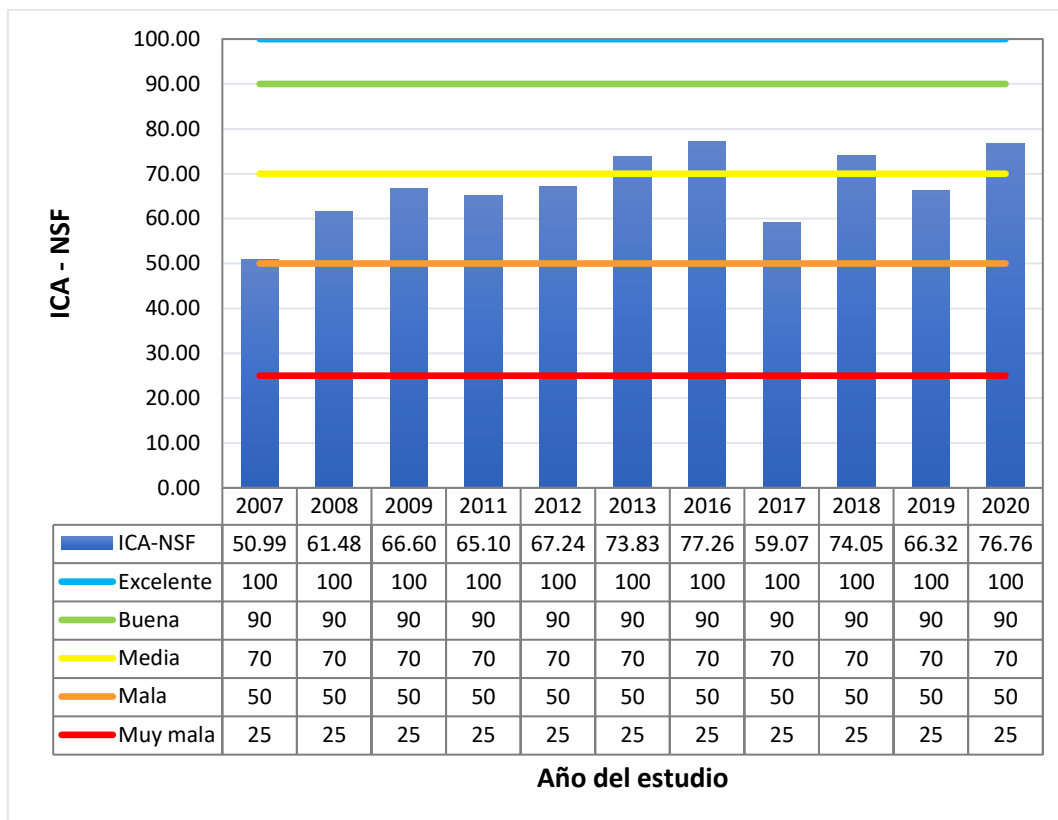
N° de estudio	Autor(es)	ICA-NSF	Promedio total
1	Escalante	50.99	
2	Lara	62.62	
3	Nippon Koei	65.46	
4	Johnson	63.51	
5	Azabache	73.19	68.35
6	Palomino	77.26	
7	Rodríguez	59.74	
8	Calla	87.67	
9	ANA	66.32	
10	Calua y Carrasco	76.76	

3.6. Resultados del Índice de Calidad Ambiental del Agua por año de evaluación

La Figura 20 muestra los resultados del Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF en cada uno de los años evaluados, comprendidos en los 10 estudios seleccionados a partir de una serie de puntos ubicados a lo largo del área de estudio. El valor más bajo resultó ser de 50.99 en el año 2007, mientras que el más elevado fue de 77.26 en el año 2016. Los datos de ICA-NSF de los años 2007, 2008, 2009, 2011, 2012, 2017 y 2019 se encontraron en el intervalo de 50 a 70, y el de los años 2013, 2016, 2018 y 2020 en el intervalo de 70 a 90.

Figura 20

ICA-NSF por año de evaluación



3.7. Resultados del Índice de Calidad Ambiental del Agua por zona de la cuenca

En la Figura 21 se observa que, en el grupo de los 29 puntos pertenecientes a la zona alta de la cuenca, el valor del ICA-NSF más bajo correspondió al punto J-2 (53.60) del estudio de Johnson (2012) y el más elevado al punto C-39 (97.07) del estudio de Calla (2019).

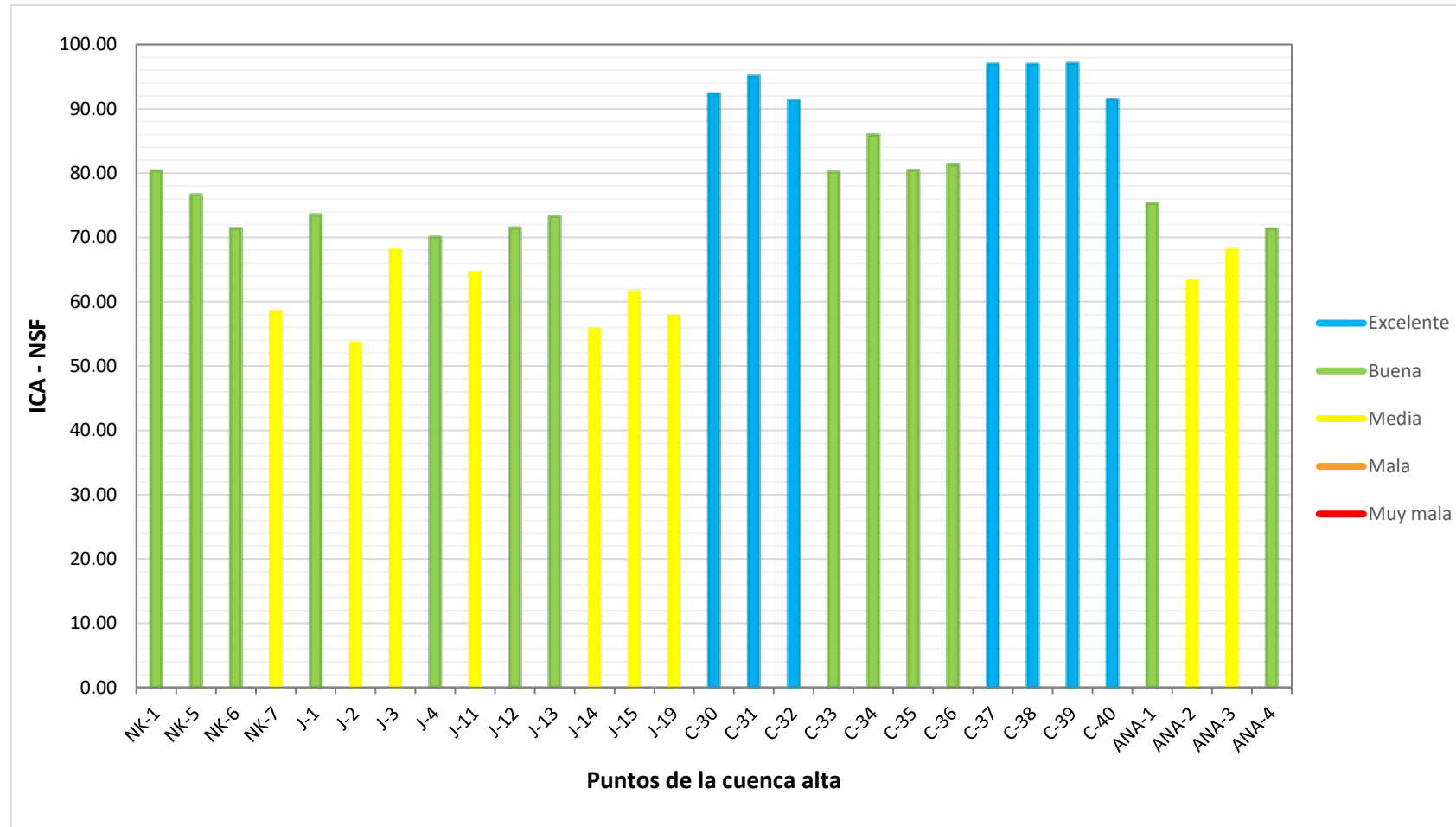
En esta Figura también se indica que siete de los puntos estuvieron representados por barras de color celeste por haber dado como resultado valores de ICA-NSF ubicados dentro del rango de 90 a 100, lo que hace referencia a una calidad del agua calificada como Excelente. Todos los puntos correspondieron al estudio de Calla (2019) (C-30, C-31, C-32, C-37, C-38, C-39 y C-40).

Trece de los puntos estuvieron representados por barras de color verde por haber dado como resultado de la evaluación del ICA-NSF valores ubicados dentro del rango de 70 a 90, lo que hace referencia a una calidad del agua calificada como Buena. Tres de los puntos correspondieron al estudio de Nippon Koei (2010) (NK-1, NK-5 y NK-6); cuatro correspondieron al estudio de Johnson (2012) (J-1, J-4, J-12 y J-13); otros cuatro correspondieron al estudio de Calla (2019) (C-33, C-34, C-35, y C-36); y dos correspondieron al estudio de la ANA (2020) (ANA-1 y ANA-4).

Nueve de los puntos estuvieron representados por barras de color amarillo por haber dado como resultado de la evaluación del ICA-NSF valores ubicados dentro del rango de 50 a 70, lo que hace referencia a una calidad del agua calificada como Media. Uno de los puntos correspondió al estudio de Nippon Koei (2010) (NK-7); seis correspondieron al estudio de Johnson (2012) (J-2, J-3, J-11, J-14, J-15 y J-19); y dos correspondieron al estudio de la ANA (2020) (ANA-2 y ANA-3).

Figura 21

ICA-NSF de la cuenca alta del río Mashcón



En la Figura 22 se identificó que, en el grupo de los 39 puntos pertenecientes a la zona media de la cuenca, el valor del ICA-NSF más bajo correspondía al punto J-18 (57.03) del estudio de Johnson (2012) y el más elevado al punto C-23 (97.21) del estudio de Calla (2019).

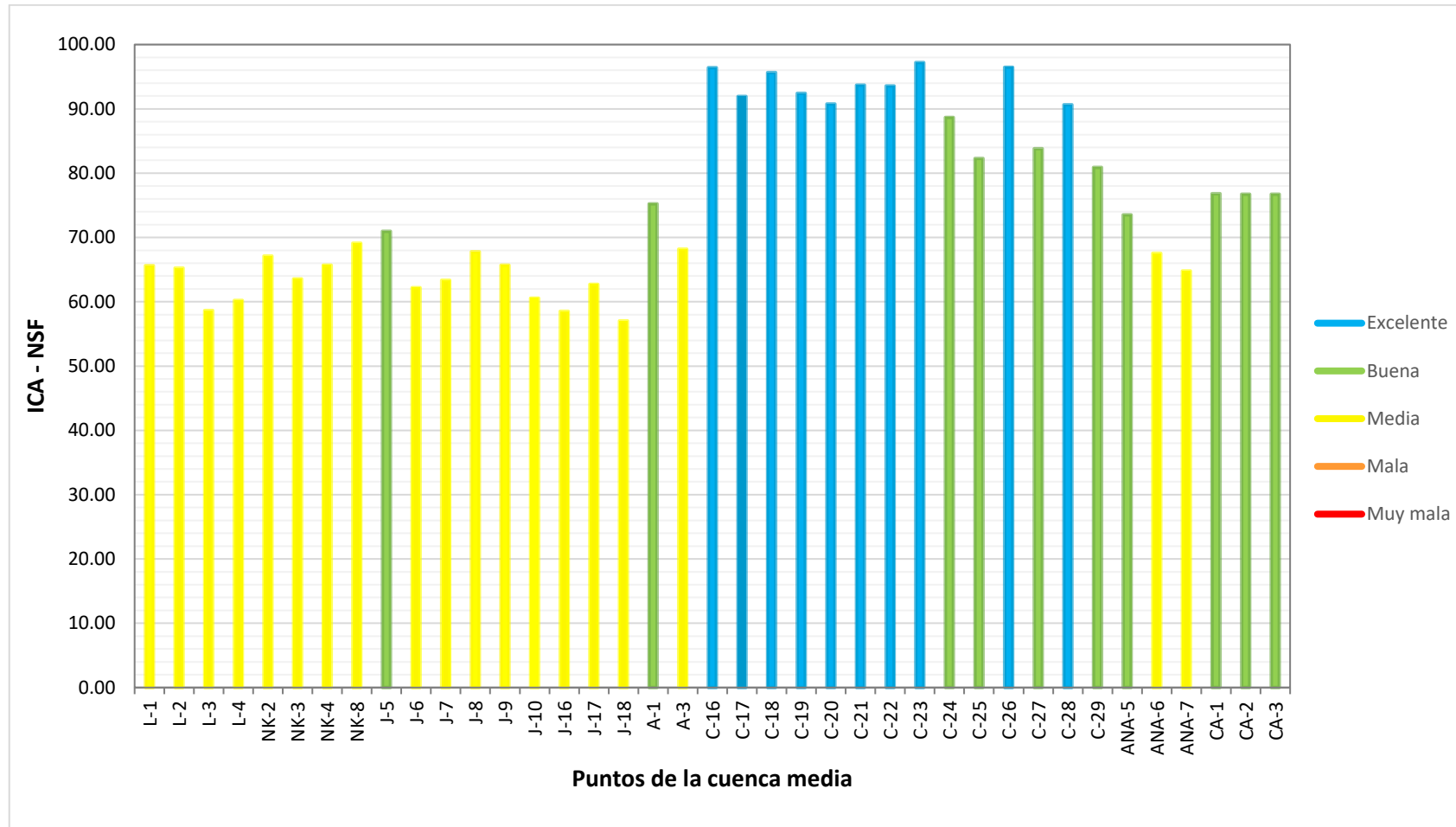
En esta Figura también se indica que 10 de los puntos estuvieron representados por barras de color celeste por haber dado como resultado de la evaluación del ICA-NSF valores ubicados dentro del rango de 90 a 100, lo que hace referencia a una calidad del agua calificada como Excelente. Todos los puntos correspondieron al estudio de Calla (2019) (C-16, C-17, C-18, C-19, C-20, C-21, C-22, C-23, C-26 y C-28).

Diez de los puntos estuvieron representados por barras de color verde por haber dado como resultado de la evaluación del ICA-NSF valores ubicados dentro del rango de 70 a 90, lo que hace referencia a una calidad del agua calificada como Buena. Uno de los puntos correspondió al estudio de Johnson (2012) (J-5); uno correspondió al estudio de Azabache (2018) (A-1); cuatro correspondieron al estudio de Calla (2019) (C-24, C-25, C-27 y C-29); uno al estudio de la ANA (2020) (ANA-5); y tres al estudio de Calua y Carrasco (2021) (CA-1, CA-2 y CA-3).

Diecinueve de los puntos estuvieron representados por barras de color amarillo por haber dado como resultado de la evaluación del ICA-NSF valores ubicados dentro del rango de 50 a 70, lo que hace referencia a una calidad del agua calificada como Media. Cuatro de los puntos correspondieron al estudio de Lara (2018) (L-1, L-2, L-3 y L-4); cuatro correspondieron al estudio de Nippon Koei (2010) (NK-2, NK-3, NK-4 y NK-8); ocho correspondieron al estudio de Johnson (2012) (J-6, J-7, J-8, J-9, J-10, J-16, J-17 y J-18); uno correspondió al estudio de la Azabache (2018) (A-3); y dos correspondieron al estudio de la ANA (2020) (ANA-6 y ANA-7).

Figura 22

ICA-NSF de la cuenca media del río Mashcón



En la Figura 23 se identificó que, del grupo de los 33 puntos pertenecientes a la zona baja de la cuenca, el valor del ICA-NSF más bajo correspondía al punto NK-9 (36.80) del estudio de Nippon Koei (2010) y el más elevado al punto C-14 (95.41) del estudio de Calla (2019).

En esta Figura también se indica que cinco de los puntos estuvieron representados por barras de color celeste por haber dado como resultado de la evaluación del ICA-NSF valores ubicados dentro del rango de 90 a 100, lo que hace referencia a una calidad del agua calificada como Excelente. Todos los puntos correspondieron al estudio de Calla (2019) (C-7, C-9, C-12, C-13 y C-14).

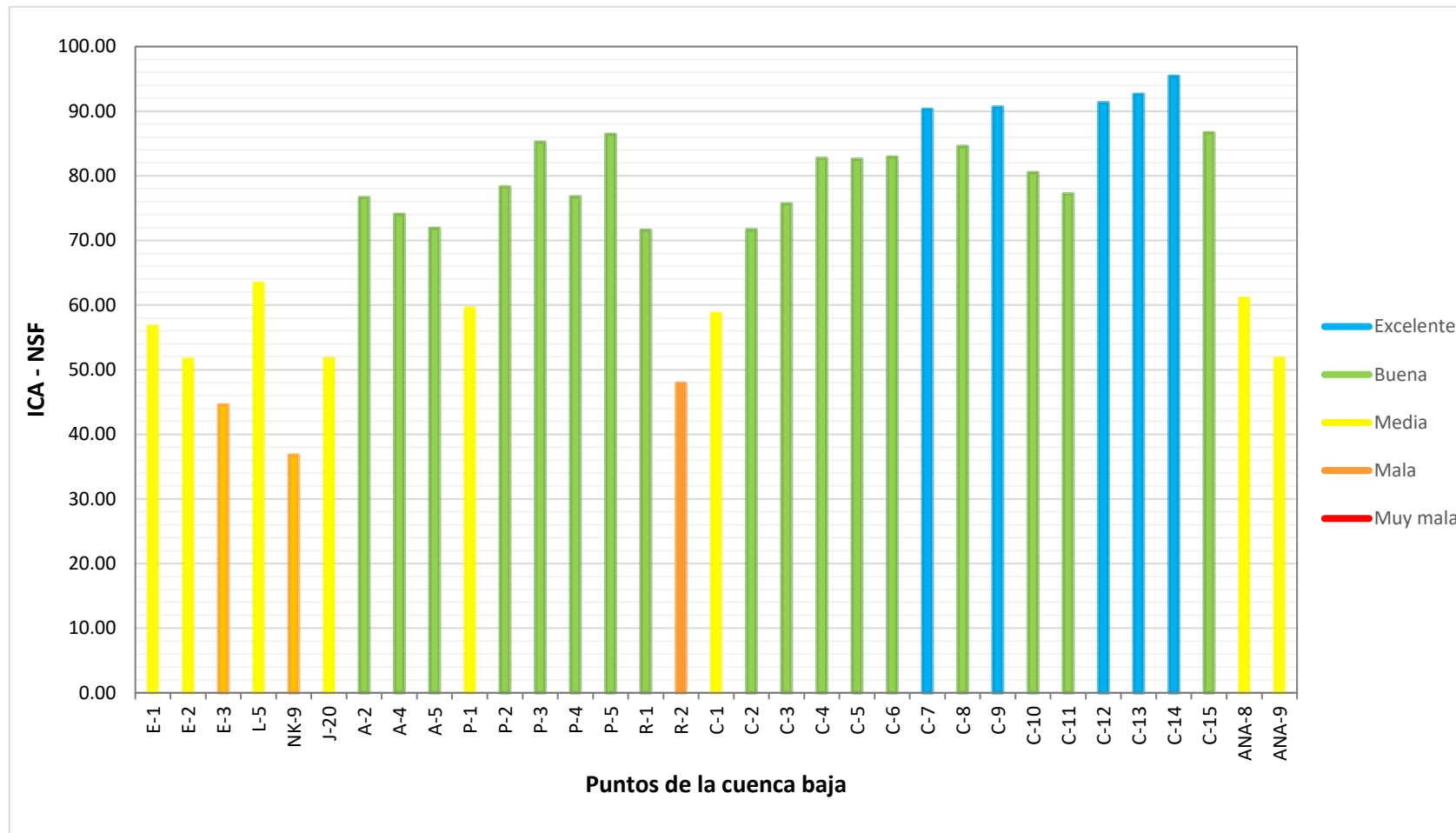
Diecisiete de los puntos estuvieron representados por barras de color verde por haber dado como resultado de la evaluación del ICA-NSF valores ubicados dentro del rango de 70 a 90, lo que hace referencia a una calidad del agua calificada como Buena. Tres de los puntos correspondieron al estudio de Azabache (2018) (A-2, A-4 y A-5); cuatro correspondieron al estudio de Palomino (2018) (P-2, P-3, P-4 y P-5); uno correspondió al estudio de Rodríguez (2019) (R-1); y nueve correspondieron al estudio de Calla (2019) (C-2, C-3, C-4, C-5, C-6, C-8, C-10, C-11 y C-15).

Ocho de los puntos estuvieron representados por barras de color amarillo por haber dado como resultado de la evaluación del ICA-NSF valores ubicados dentro del rango de 50 a 70, lo que hace referencia a una calidad del agua calificada como Media. Dos de los puntos correspondieron al estudio de Escalante (2018) (E-1 y E-2); dos correspondieron al estudio de la ANA (2020) (ANA-8 y ANA-9); y tan solo uno correspondió al estudio de Lara (2018) (L-5), al igual que a los de Johnson (2012) (J-20), Palomino (2018) (P-1) y Calla (2019) (C-1).

Tres de los puntos estuvieron representados por barras de color anaranjado por haber dado como resultado de la evaluación del ICA-NSF valores ubicados dentro del rango de 25 a 50, lo que hace referencia a una calidad del agua calificada como Mala. Los puntos correspondieron de manera individual a los estudios de Escalante (2018) (E-3), Nippon Koei (2010) (NK-9) y Rodríguez (2019) (R-2).

Figura 23

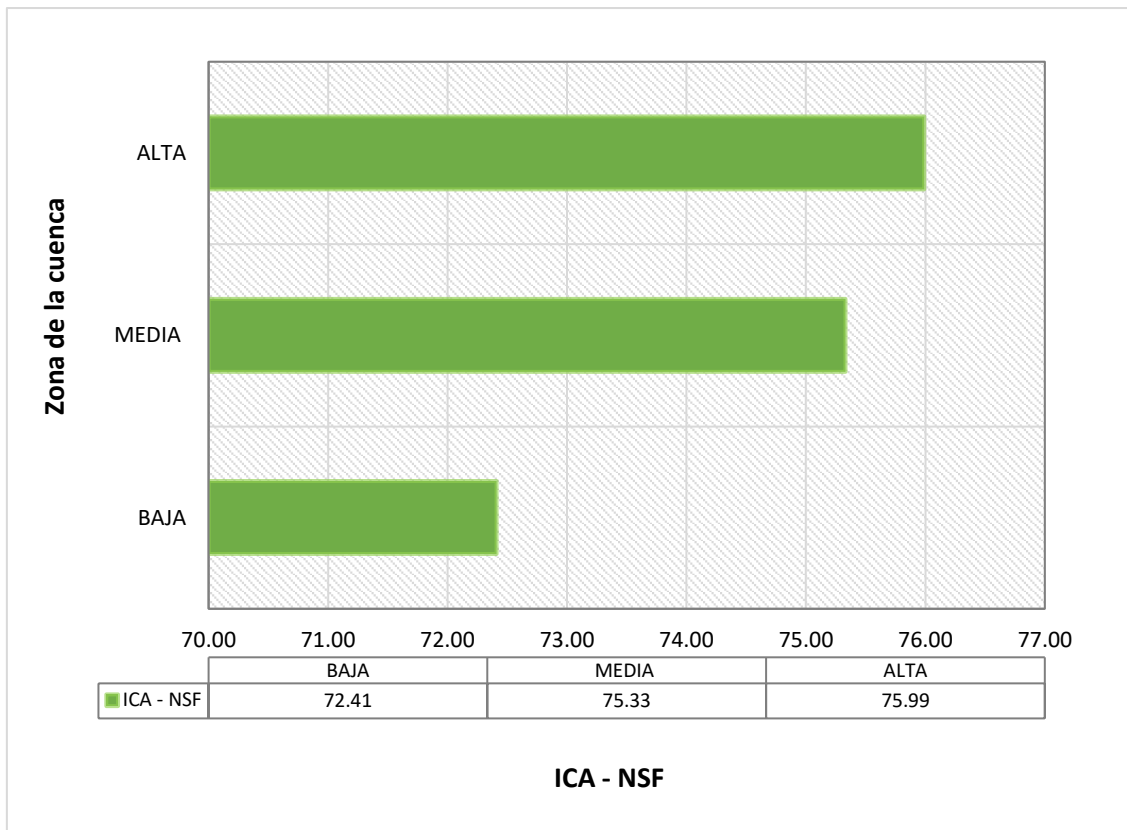
ICA-NSF de la cuenca baja del río Mashcón



En la Figura 24 se observan los promedios de los valores del ICA-NSF obtenidos de cada una de las zonas de la cuenca del río Mashcón. Los resultados indicaron que el ICA-NSF desciende de forma directa con respecto a la altitud de la cuenca; lo que significa que, al aumentar la altitud de la zona, los valores de ICA-NSF también aumentan y viceversa. Estos varían desde 72.41 en la cuenca baja, hasta 75.99 en la cuenca alta. Además, los tres valores fueron representados por barras de color verde, que hace referencia a una calidad del agua calificada como Buena por encontrarse en el intervalo de 70 a 90.

Figura 24

ICA-NSF según la zona de la cuenca del río Mashcón



3.8. Resultados del análisis estadístico de datos

La tabla 20 muestra los datos estadísticos obtenidos a partir de cada uno de los parámetros propuestos por el método ICA-NSF según cada autor considerado para la investigación.

Los datos de pH presentaron un promedio total de 7.46 y una mediana de 7.43, mientras que la varianza y la desviación estándar que representan la variabilidad y dispersión del conjunto de datos a partir del promedio resultaron ser 0.06 y 0.24 respectivamente. Además, el error estándar determinado fue de 0.08.

Los datos de cambio de temperatura presentaron un promedio total de 5.86 al igual que la mediana, mientras que la varianza y la desviación estándar que representan la variabilidad y dispersión del conjunto de datos a partir del promedio resultaron ser 55.55 y 7.45 respectivamente. Además, el error estándar determinado fue de 2.36.

Los datos de turbidez presentaron un promedio total de 48.34 y una mediana de 42.18, mientras que la varianza y la desviación estándar que representan la variabilidad y dispersión del conjunto de datos a partir del promedio resultaron ser 1289.99 y 35.85 respectivamente. Además, el error estándar determinado fue de 11.33.

Los datos de TDS presentaron un promedio total de 265.81 y una mediana de 229.99, mientras que la varianza y la desviación estándar que representan la variabilidad y dispersión del conjunto de datos a partir del promedio resultaron ser 6887.68 y 82.99 respectivamente. Además, el error estándar determinado fue de 26.24.

Los datos de saturación de oxígeno presentaron un promedio total de 67.12 y una mediana de 64.42, mientras que la varianza y la desviación estándar que representan la

variabilidad y dispersión del conjunto de datos a partir del promedio resultaron ser 352.97 y 18.79 respectivamente. Además, el error estándar determinado fue de 5.94.

Los datos de DBO₅ presentaron un promedio total de 22.50 y una mediana de 3.44, mientras que la varianza y la desviación estándar que representan la variabilidad y dispersión del conjunto de datos a partir del promedio resultaron ser 853.25 y 29.21 respectivamente. Además, el error estándar determinado fue de 9.24.

Los datos de nitratos presentaron un promedio total de 2.43 y una mediana de 1.46, mientras que la varianza y la desviación estándar que representan la variabilidad y dispersión del conjunto de datos a partir del promedio resultaron ser 8.49 y 2.91 respectivamente. Además, el error estándar determinado fue de 0.92.

Los datos de fosfatos presentaron un promedio total de 0.17 y una mediana de 0.18, mientras que la varianza y la desviación estándar que representan la variabilidad y dispersión del conjunto de datos a partir del promedio resultaron ser 0.02 y 0.15 respectivamente. Además, el error estándar determinado fue de 0.05.

Los datos de coliformes termotolerantes presentaron un promedio total de 894217.16 y una mediana de 65981.20, mientras que la varianza y la desviación estándar que representan la variabilidad y dispersión del conjunto de datos a partir del promedio resultaron ser cifras muy elevadas al igual que el error estándar, por encontrarse muy alejados del punto central (promedio).

Tabla 20

Datos estadísticos de los parámetros propuestos por el método ICA-NSF según cada autor

N° de estudio	Autor (es)	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)
1	Escalante	7.74	-	-	341.67	-	49.63	0.30	-	2798000.00
2	Lara	7.50	-	39.33	222.59	50.14	-	2.98	-	502.27
3	Nippon Koei	7.43	-	109.23	-	41.41	3.13	1.44	0.18	82248.56
4	Johnson	7.18	-	24.71	170.85	63.04	-	-	-	2301.50
5	Azabache	7.83	0.59	65.45	229.99	75.04	-	-	-	-
6	Palomino	7.23	-	-	-	64.42	23.02	1.00	0.30	-
7	Rodríguez	7.64	-	-	-	53.56	75.13	1.81	0.01	3310471.30
8	Calla	7.37	-	45.02	-	101.9	1.18	1.03	-	-
9	ANA	-	-	-	-	67.62	3.44	9.38	0.012	65981.20
10	Calua y Carrasco	7.20	11.13	6.28	363.93	86.97	2.00	1.48	0.33	15.33
Promedio total		7.46	5.86	48.34	265.81	67.12	22.50	2.43	0.17	894217.16
Mediana		7.43	5.86	42.18	229.99	64.42	3.44	1.46	0.18	65981.20
Varianza		0.06	55.55	1283.99	6887.68	352.97	853.25	8.49	0.02	2200296250679.93
Desviación Estándar		0.24	7.45	35.83	82.99	18.79	29.21	2.91	0.15	1483339.56
Error estándar		0.08	2.36	11.33	26.24	5.94	9.24	0.92	0.05	469073.16

La Tabla 21 muestra los datos estadísticos obtenidos a partir de los resultados del ICA-NSF según cada autor. El promedio o media de todo el conjunto de datos resultó ser 68.35. Por otro lado, la mediana resultó ser 65.89, indicando el valor medio de todos los datos distribuidos de forma ascendente; la variación del conjunto de datos con respecto a la media se representó con un valor de varianza de 110.12 y de desviación estándar de 10.49. Además, el error estándar obtenido fue de 3.32.

Tabla 21

Datos estadísticos de los resultados del ICA-NSF según cada autor

N° de estudio	Autor(es)	ICA-NSF	Promedio	Mediana	Varianza	Desviación estándar	Error estándar
1	Escalante	50.99					
2	Lara	62.62					
3	Nippon Koei	65.46					
4	Johnson	63.51					
5	Azabache	73.19					
6	Palomino	77.26	68.35	65.89	110.12	10.49	3.32
7	Rodríguez	59.74					
8	Calla	87.67					
9	ANA	66.32					
10	Calua y Carrasco	76.76					

3.9. Propuesta de una red de monitoreo de la calidad ambiental del agua

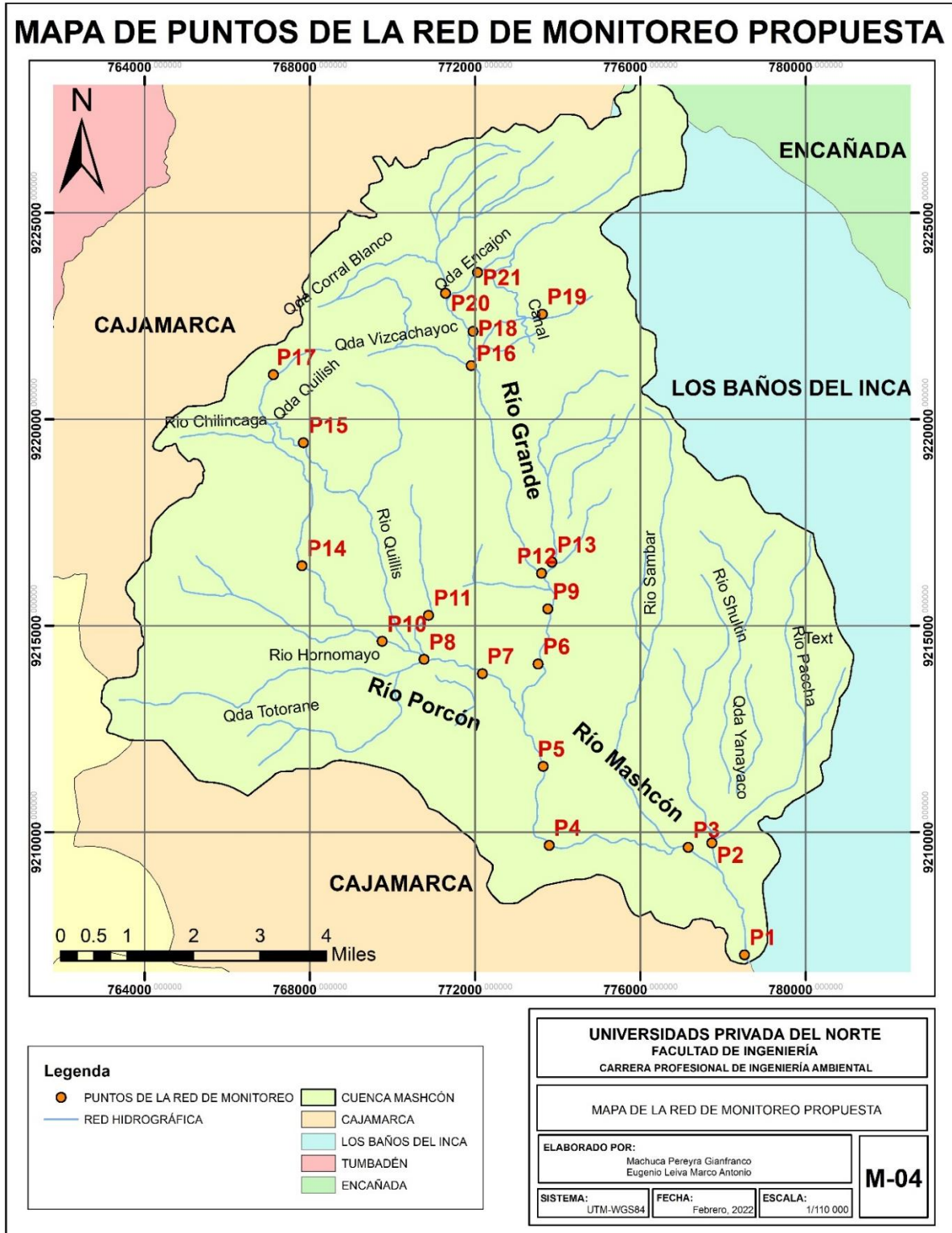
En base a la información obtenida mediante la aplicación del método ICA-NSF en las aguas de la cuenca del río Mashcón, se determinó que la calidad del agua es Media, por lo que se propone la implementación de una red de monitoreo de la calidad ambiental del agua con el objetivo de mantener una línea de información a través del tiempo de las características fisicoquímicas y microbiológicas del recurso hídrico, para que de esta manera se asegure su disponibilidad en las condiciones requeridas según los usos que actualmente se le otorgan. Sumado a ello, también se busca determinar los puntos específicos de descarga de efluentes producto de las actividades antropogénicas que vienen afectando directamente la calidad del agua.

Esta propuesta se implementará gracias a un trabajo coordinado con la municipalidad provincial de Cajamarca y los pobladores de las zonas aledañas, donde la municipalidad estaría encargada de la capacitación y la implementación de recursos y de las estaciones de monitoreo bajo la supervisión de personal capacitado. Además, se deberán conformar comités, donde participen los pobladores interesados y comprometidos con el cuidado y preservación del recurso hídrico, con el fin de que se conviertan en actores directos del proceso del monitoreo de las aguas superficiales de la cuenca.

Como parte de la implementación de esta propuesta, se realizará el establecimiento de estaciones de monitoreo en puntos estratégicos de las zonas (Alta, Media y Baja) de la cuenca, teniendo en cuenta la información obtenida a partir de los diversos estudios que se seleccionaron para el desarrollo de esta investigación. Se determinarán puntos fijos en el cauce principal de la cuenca (Figura 25), los cuales servirán para identificar y analizar tendencias a largo plazo, reconocer algunos patrones estacionales y percibir variaciones progresivas en la calidad del agua.

Figura 25

Mapa de los puntos de la red de monitoreo de la calidad del agua propuesta



Nota. El mapa fue elaborado mediante el uso del software ArcGIS 10.5

En la Tabla 22 se muestran las coordenadas UTM de los 21 puntos fijos sugeridos en la propuesta de la red de monitoreo ambiental de la calidad del agua.

Tabla 22

Coordenadas UTM de los puntos fijos de la red de monitoreo de la calidad del agua propuesta

Puntos	Coordenadas UTM		Justificación del punto
	X	Y	
P1	778523	9207032	Cuenca Baja: influencia de zona Urbana
P2	777734	9209741	Cuenca Baja: influencia de zona Urbana
P3	777160	9209635	Cuenca Baja: influencia de zona Urbana
P4	773795	9209684	Cuenca Baja: influencia de actividades antropogénicas (extracción de agregados)
P5	773650	9211595	Cuenca Baja: influencia de actividades antropogénicas (extracción de agregados)
P6	773526	9214076	Cuenca Baja: influencia de actividades antropogénicas (agricultura)
P7	772177	9213838	Cuenca Baja: influencia de actividades antropogénicas (agricultura)
P8	770766	9214185	Cuenca Media: influencia de actividades antropogénicas (agricultura)
P9	773762	9215407	Cuenca Media: influencia de actividades antropogénicas (agricultura y otras actividades)
P10	769753	9214622	Cuenca Media: influencia de actividades antropogénicas (agricultura y otras actividades)

Puntos	Coordenadas UTM		Justificación del punto
	X	Y	
P11	770875	9215250	Cuenca Media: influencia de actividades antropogénicas (agricultura)
P12	773608	9216269	Cuenca Media: influencia de actividades antropogénicas (agricultura y extracción de agregados)
P13	773860	9216539	Cuenca Media: influencia de actividades antropogénicas
P14	767808	9216451	Cuenca Media: influencia de actividades antropogénicas
P15	767846	9219432	Cuenca Alta: influencia de actividades antropogénicas
P16	771909	9221301	Cuenca Alta: influencia de actividades antropogénicas
P17	767118.1	9221079.4	Cuenca Alta: cercana a influencia de actividades antropogénicas (minería)
P18	771951.6	9222130.5	Cuenca Alta: cercana a influencia de actividades antropogénicas (minería)
P19	773627.6	9222545.7	Cuenca Alta: cercana a influencia de actividades antropogénicas (minería)
P20	771287	9223050	Cuenca Alta: cercana a influencia de actividades antropogénicas (minería)
P21	772062	9223553	Cuenca Alta: cercana a influencia de actividades antropogénicas (minería)

Además, se realizará un inventario de puntos de descarga de aguas residuales y contaminantes a lo largo y ancho de la cuenca, donde se deberán registrar datos relevantes como la ubicación, tipo de fuente, características del efluentes, entidad responsable y estado regulatorio. Esto permitirá obtener un panorama completo de todas las fuentes contaminantes, para luego ser gestionadas de una manera adecuada con las medidas correspondientes.

Este trabajo conjunto se deberá realizar en un plazo no menor de cinco años para poder generar un conjunto de datos fiables que brinden un panorama holístico de la dinámica de la calidad del agua. Así mismo, las campañas de monitoreo deberán efectuarse en tiempos de lluvia y de sequía, proponiendo al menos cuatro campañas por año.

Finalmente, la propuesta de red de monitoreo de la calidad ambiental del agua de la cuenca del río Mashcón será de mucha utilidad para la evaluación tanto general como específica del estado del cuerpo de agua, permitiéndonos de esta manera reconocer los problemas de contaminación existentes en la zona que afectan la variabilidad de su calidad y poder definir las medidas de gestión más eficaces, teniendo como prioridad la conservación del recurso hídrico y la seguridad del suministro para sus usos actuales a través del cumplimiento de todas las regulaciones y los estándares de calidad ambiental establecidos por la normativa.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Parámetros del ICA-NSF evaluados en los estudios seleccionados

El pH que presenta en promedio toda la evaluación es de 7.46, lo que según García (2013) se refiere a un pH básico o alcalino en las aguas de la cuenca del río Mashcón, y por lo tanto contiene sales neutras. A pesar de que este parámetro no afecta directamente a los consumidores es una variable importante de la calidad del agua, por lo que los valores deben ser siempre monitoreados (Coral, 2014).

El cambio de temperatura promedio de las aguas del río Mashcón resultó ser 5.86 °C, este valor está estrechamente relacionado a la irradiación que recibe el agua superficial. Además, las variaciones de temperatura influyen en la capacidad de solubilidad de sales y gases presentes en el agua y también afectan sus características químicas y microbiológicas en su totalidad (Marín, 2019).

La turbidez del agua resultó ser en promedio 48.34 UNT, este valor fue provocado por el material en suspensión o coloidal de diferentes tamaños presentes en el agua del río (Ajcabul, 2016) insertados como parte del recorrido del agua y por las aguas residuales. El valor más bajo se presentó en el estudio de Calua y Carrasco (2021), puesto que todos sus puntos de muestreo pertenecen al río Porcón, considerado como cuenca alta del río Mashcón, de donde se capta el recurso hídrico para abastecimiento de agua potable de la zona baja de la cuenca.

El agua de la cuenca Mashcón presentó un valor de sólidos disueltos totales de 265.81 mg/L, los que indican la cantidad existente de sales disueltas en el agua, de partículas suspendidas de origen orgánico e inorgánico (Gualdrón, 2016).

La saturación del oxígeno disuelto en el agua fue de 67.12 %, nivel que influye en la salud del sistema fluvial, pudiendo generar significativas pérdidas económicas y disminución de la biodiversidad de la zona, ya que los niveles bajos de oxígeno disuelto reducen el adecuado desarrollo y crecimiento de los peces, conduciendo de esta manera a la mortalidad y a la creación de condiciones óptimas para el proceso de eutrofización. Además, la escorrentía proveniente de zonas agrícolas por lo general aporta nutrientes a las aguas que en excesivas cantidades producen condiciones hipóxicas en los sistemas fluviales (Castro, 2021).

La demanda bioquímica de oxígeno resultó ser 22.50 mgO₂/L, este valor a corto plazo podría superar el oxígeno, provocando un déficit de este y la aparición de una anaerobiosis de los sedimentos, donde se liberan algunas sustancias como amoníaco, fosfatos y metales generando olores desagradables. Además, se sabe también que los valores de oxígeno disuelto son inversamente proporcionales a los de DBO₅, pues en el caso de que aumente la producción del oxígeno en el agua, el DBO₅ disminuirá por la acción que realizan las bacterias aeróbicas, pudiendo desintegrar con gran facilidad la materia orgánica y biodegradable (García, 2014), puesto que algunos desperdicios se pueden descomponer por acción de bacterias a partir del uso de oxígeno, sin embargo al existir gran nivel del accionar de la población de estas bacterias, el oxígeno puede llegar a agotarse, matando de esta manera la biodiversidad acuática (Guadarrama-Tejas et al. 2016).

La concentración de nitratos presentes en el agua de la cuenca del río Mashcón fue de 2.43 mg/L, pudiendo estar en el agua a causa de la descomposición biológica de materiales proteicos (García, 2014). Aunque este valor sea normal en fuentes naturales, pueden llegar a incrementarse por actividades antropogénicas como en el uso de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas con contenido de nitratos, actividades industriales y urbanas (principalmente la descarga de efluentes), los abono y residuos derivados de la ganadería. Por el incremento de los

niveles de nitratos, se produce un serio problema sanitario llamado metahemoglobinemia o síndrome el niño azul, ocasionado por la exposición de concentraciones superiores a 50 mg/L, en niños menores de cuatro meses (Lara, 2018), sin embargo, los valores de nitratos en la cuenca del río Mashcón son mucho menores y no representan ese riesgo. Por otro lado, a pesar de que la toxicidad relativa que ocasionan estos nutrientes es muy conocida, no es fácil definir el nivel de su dosis nociva (Ajcabul, 2016).

La concentración promedio de fosfatos en las aguas de la cuenca de estudio fue de 0.17 mg/L, la cual es baja; sin embargo, si ese no hubiera sido el caso o si se llegasen a incrementar las concentraciones se podría deducir que existe una contaminación por presencia de detergentes. Aunque los fosfatos no presentan toxicidad por sí mismos, favorecen al proceso de eutrofización provocando de esta manera problemas en el sistema, pues se incrementaría la materia orgánica y las bacterias heterótrofas, que modifican las características fisicoquímicas del agua y disminuyen los valores de oxígeno disuelto (García, 2014).

Los coliformes termotolerantes en promedio resultaron ser 894217.16 NMP/100mL, indicando de esta manera la presencia de contaminación fecal (Escalante, 2018), pudiéndose haber insertado materia fecal mediante la escorrentía de sectores ganaderos y/o de los vertimientos de las aguas residuales. Este tipo de contaminación se relaciona principalmente con el riesgo sanitario en el agua, a causa de la presencia de microorganismos patógenos que pueden causar problemas de salud en las personas (Pérez, 2017).

Evaluación de los Estándares de Calidad Ambiental

De los nueve parámetros propuestos por el método ICA-NSF, tan solo tres se encontraron dentro de la lista de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 3; estos fueron el pH, DBO₅ y coliformes termotolerantes.

Los ocho estudios que presentaron valores de pH, se evaluaron en relación al ECA-C3 (6.5 – 8.4) y resultaron estar todos por encima del límite mínimo y por debajo del límite máximo, significando valores óptimos que no representan riesgos para la salud ni para el ambiente. En este caso, los valores de pH pueden estar referidos al tipo de suelo y por la interacción del curso de agua con rocas carbonatadas, por lo que todos los datos están relativamente cerca de 7 (Escalante, 2018).

Los siete estudios que presentaron valores de DBO₅ fueron evaluados con respecto al ECA-C3 (15 mgO₂/L). En cuatro de los estudios se indica una calidad buena del agua con respecto a este parámetro; sin embargo, en el caso de los estudios de Escalante (2018), Palomino (2018) y Rodríguez (2019), los valores fueron preocupantemente elevados. En el caso del estudio de Escalante (2018), los resultados de DBO₅ son elevados a causa de haber establecido dos puntos de muestreo cercanos a los puntos de descarga del efluente proveniente de las lagunas de estabilización; en estudio de Palomino (2018), fue por la proximidad existente de uno de sus puntos a la zona urbana al igual que el de Rodríguez (2019). Según estos valores se puede afirmar que en la zona de muestreo de los tres estudios se presentaba gran perturbación en la calidad del agua, la cual representa un riesgo para la salud y el medio ambiente, puesto que el DBO₅ es un indicador de materia orgánica en el agua, ya que mientras mayor sea la concentración de materia orgánica, mayor será el requerimiento de oxígeno por parte de los microorganismos para degradarla (Pérez, 2017).

De los siete estudios que presentaron valores de coliformes termotolerantes, solo dos cumplieron con la normativa nacional, mientras que los cinco restantes sobrepasaron en gran medida los ECA-C3, indicando de esta manera una contaminación microbiológica de las aguas de la cuenca del río Mashcón y el incumplimiento de la normativa nacional vigentes. Además, se considera a partir de los resultados, que existe un riesgo para la salud y para el ambiente, por

la presencia de agentes patógenos como bacterias, virus y parásitos provenientes de los desechos orgánicos (Guadarrama-Tejas et al., 2016).

Evaluación del Índice de Calidad Ambiental del Agua según cada estudio

A partir de la determinación del Índice de Calidad Ambiental del Agua mediante el método ICA-NSF se obtuvieron resultados que oscilaron entre los valores de 50.99 y 87.67. Los estudios de Escalante (2018), Lara (2018), Nippon Koei (2010), Johnson (2012), Rodríguez (2019) y de la ANA (2020) presentaron un ICA-NSF dentro del intervalo de 50 – 70, pudiendo afirmar de esta manera, una calidad Media de las aguas de la cuenca del río Mashcón. Mientras que, los estudios de Azabache (2018), Palomino (2018), Calla (2019) y Calua y Carrasco (2021) presentaron valores dentro del intervalo de 70 – 90, indicando de esta manera una calidad Buena. Puesto que, mientras más elevado sea el valor obtenido de ICA-NSF, mejor será la clasificación de sus aguas con respecto a su calidad. Además, el promedio de los 10 fue 68.35, significando de esta manera que en general, las aguas de la cuenca del río Mashcón presentan una calidad Media por incluirse en el intervalo de 50 a 70.

La actual disminución de la calidad del agua apta para su uso en actividades de agricultura puede verse afectada por el vertimiento de algunos residuos que llegan a perturbar y modificar la composición iónica del agua (Tartabull y Betancourt, 2016). Por otro lado, para el uso del agua en actividades ganaderas, esta debe cumplir con normas para la preservación de su calidad, pues esta es fundamental para resguardar la salud de los animales, garantizar la calidad de los productos animales y conservar la viabilidad económica de la producción alimentaria (Valente-Campos et al., 2019). Además, es importante mencionar que la calidad del agua no es estática, y que varía durante el proceso del ciclo hidrológico e incluso del proceso de dotación de agua (Araque, 2019).

Índice de Calidad Ambiental del Agua por año de evaluación

La variación multianual que se presentó en la investigación fue variable, pues a simple vista no existe ninguna relación inversa ni directa con respecto a la línea de tiempo en relación con los resultados del ICA-NSF.

La gran mayoría de años evaluados presentó un índice de calidad Medio, mientras que tan solo en los años 2013, 2016, 2018 y 2020, la calidad resultó ser Buena, habiéndose obtenido el mayor resultado en el año 2018 y considerándose que en ese año se presentó el mayor número de puntos evaluados alrededor de la cuenca del río Mashcón.

Por otro lado, en el año 2007 se obtuvo el menor resultado, lo que se podría relacionar a que en ese año solo se evaluaron puntos cercanos al área urbana y por lo tanto existe mayor afectación de este recurso, ya que el deterioro de la calidad de las aguas superficiales es uno de los problemas ambientales más preocupantes, que en áreas urbanas se origina principalmente por la descarga de aguas residuales domésticas. El desarrollo de las actividades de las personas, quienes son las que disponen del agua y en la mayoría de ocasiones lo hacen de una manera inadecuada, producen efectos dañinos, alterando así la calidad del agua por la incorporación de contaminantes (Palomino, 2018).

Índice de Calidad Ambiental del Agua por zona de la cuenca

El Índice de Calidad Ambiental del Agua en la cuenca alta resultó ser de 75.99, en la media 75.33 y en la baja 72.41, demostrando una relación directa positiva entre los valores de ICA-NSF y la altitud de la cuenca del río Mashcón. Es decir, que a medida que se va incrementando la altura de la zona en la cuenca, el índice de calidad aumenta y da como resultado valores más elevados.

Esto está relacionado a la influencia de las actividades que se realizan a través de la cuenca. Sin embargo, en las tres zonas, los valores obtenidos indican una calidad Buena del agua, difiriendo de esta manera con el estudio de Palomino (2018), donde se afirma que el cuerpo de agua presenta un alto grado de deficiencia de calidad.

Si ese hubiera sido el caso en la cuenca baja, el problema estaría dirigido principalmente a la descarga de aguas residuales, las cuales aportan sustancias contaminantes al cuerpo de agua, provocando impactos perjudiciales en su calidad vinculada a su uso posterior (Murrugarra, 2021)

En la cuenca media, se atribuiría la contaminación del recurso hídrico, principalmente a las actividades agrícolas y ganaderas, por contribuir con un aporte significativo de nutrientes y materia orgánica, pues estas actividades se desarrollan en una extensión considerable a lo largo de esta zona de la cuenca, por ser parte de las principales actividades económicas de la ciudad de Cajamarca.

Mientras que, en la cuenca alta se atribuirían a la extracción de madera y de material para construcción por el aporte de materia orgánica y sedimentos que influirían en la calidad del agua. Teniendo en cuenta que los nutrientes de origen vegetal pueden llegar a causar el crecimiento descontrolado de las plantas acuáticas, que cuando mueren se descomponen y agotan el oxígeno del sistema, causando así la muerte de especies (Guadarrama-Tejas et al., 2016).

Limitaciones

Las limitaciones de la investigación se basaron principalmente en la disponibilidad de estudios realizados en toda la cuenca del río Mashcón, donde se identifique información

relacionada a la calidad del agua, específicamente de los parámetros propuestos por el método ICA-NSF, pues se llegaron a descartar múltiples estudios por no poseer dicha información.

Implicancias

La investigación tiene una importante implicancia en la generación de información sobre la calidad del agua de la cuenca del río Mashcón, pues este es un río muy relevante por estar destinado al uso para riego de vegetales y bebida de animales, contribuyendo en gran medida en el desarrollo de las actividades agropecuarias que se realizan en la cuenca. Además, las aguas de la cuenca alta son captadas para su uso en abastecimiento de agua potable de la parte baja de la cuenca. Es por ello, que, al dar a conocer la calidad del agua de este río, se busca generar una conciencia pública que motive a las autoridades a realizar una gestión integral del recurso hídrico, en conjunto con la población para mitigar y controlar las fuentes contaminantes detectadas que deterioran progresivamente el cuerpo de agua, pues en este caso la calidad repercute directamente en la salud de las personas y de los animales que aprovechan este recurso.

La metodología utilizada favorece a la implicancia del estudio, pues el ICA se ha convertido en la principal herramienta para informar a las autoridades competentes y al resto de la población sobre la calidad de los recursos hídricos, siendo este un indicador compuesto que comprende datos de diversos parámetros en relación a la calidad del agua, pudiendo convertirlos en una única escala de medición (Castro et al., 2014).

La utilidad de los ICA posibilita el riguroso desarrollo y la inversión en las políticas nacionales, permitiendo la adecuada gestión integral de los recursos hídricos, comprendiendo las etapas de la planificación, la administración, el seguimiento y monitoreo, y la gestión de conflictos vinculados con el agua (Martínez y Barrero, 2018).

4.2. Conclusiones

El Índice de Calidad Ambiental del Agua de la cuenca del río Mashcón tiene una clasificación promedio de Media, evaluada mediante el método ICA-NSF, difiriendo de esta manera con las hipótesis, tanto nula como alterna, que clasificaban a la calidad del agua como Buena y Mala respectivamente.

A partir de la revisión sistemática de literatura se lograron seleccionar diez estudios realizados a lo largo de la cuenca del río Mashcón con las características requeridas, permitiendo de esta manera que la presente investigación se pueda haber elaborado con un número significativo de estudios. Sin embargo, no existen estudios previos basados en la determinación de la calidad del agua de toda la cuenca de estudio.

Se lograron identificar al menos cinco de los parámetros requeridos para la aplicación del método ICA-NSF en cada uno de los estudios seleccionados. El parámetro más frecuente fue el de pH, mientras que el menos frecuente fue el de cambio de temperatura. Por otro lado, en algunas ocasiones se determinaron manualmente los valores de saturación de oxígeno y de cambio de temperatura.

Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM, fueron aplicados solo para los valores de pH, DBO₅ y coliformes termotolerantes, puesto que, esta normativa no posee datos referentes para el resto de parámetros evaluados. Del grupo de los tres parámetros, tan solo los valores de pH cumplieron con los ECA, categoría 3, mientras que gran parte de los valores de DBO₅ y de coliformes termotolerantes los sobrepasaron en cifras preocupantes, indicando de esta manera que el agua de la cuenca del río Mashcón no se encuentra en condiciones aptas para ser utilizada en riego de vegetales y bebida de animales.

El Índice de Calidad Ambiental del Agua según la evaluación de cada estudio seleccionado, a través del método ICA-NSF, clasificó a las aguas de la cuenca del río Mashcón como Media a Buena, sin embargo, el promedio de todos los valores dio como resultado una clasificación Media.

El Índice de Calidad Ambiental del Agua según los años evaluados en todo el grupo de estudios seleccionados, a través del método ICA-NSF, clasificó a las aguas de la cuenca del río Mashcón como Media a Buena, no habiendo alcanzado valores superiores a 90 en ninguno de los casos. Además, la variación a través de los años no fue significativa.

El Índice de Calidad Ambiental del Agua según la zona de la cuenca, a través del método ICA-NSF, clasificó a las aguas de la cuenca alta, media y baja del río Mashcón como Buena en los tres casos. Se identificó que los valores de ICA-NSF son directamente proporcionales a la altitud la cuenca, por lo que la calidad del agua disminuye mientras más se aproxima al área urbana de la cuenca y por lo tanto se evidencia una mayor afectación del recurso hídrico en estas zonas.

La implementación de una red de monitoreo de la calidad ambiental del agua de la cuenca del río Mashcón contribuiría con la generación de información fundamental sobre las condiciones actuales y futuras del recurso hídrico, mediante datos cuantitativos de sus características fisicoquímica y biológicas, para que así se identifique el cumplimiento de las condiciones adecuadas para los usos establecidos por la normativa. Además, facilitaría la detección de fuentes contaminantes y su grado de impacto sobre la calidad del agua, aportando considerablemente en la gestión integrada del recurso, como en la toma de decisiones por parte de las autoridades para la conservación y la seguridad hídrica de la cuenca.

REFERENCIAS

- Abreu, J. L. (2014). El método de la investigación. *International Journal of Good Conscience*, 9(3), 195-204.
- Agreda, P. L. (2023). *Modelamiento de hierro, manganeso, cadmio y nitratos en el agua superficial de la cuenca del río Mashcón (Cajamarca)* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ajcabul, A. O. (2016). *Análisis comparativo entre el Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA) y el Índice de Calidad del Agua (ICA), aplicados al monitoreo de aguas superficiales en el río La Quebrada, El Frutal* [Tesis de Pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional – Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Araque, M. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. (1° ed.). Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1903>
- Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales*. (1° ed.). Autoridad Nacional del Agua. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/2439>
- Autoridad Nacional del Servicio Civil. (2021). *Gestión sostenible del agua*. (1° ed.). Escuela Nacional de Administración Pública.
- Azabache, L. A. (2018). *Determinación de la calidad ecológica del agua de los ríos Porcón, Grande y Mashcón - Cajamarca, en función de la macrofauna bentónica como bioindicador* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Cajamarca.

- Barboza, Y. L. y Cortez, R. I. (2018). *Análisis multiespectral mediante parámetros superficiales con la plataforma Landsat 8 para identificar agua subterránea en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional – Universidad Privada del Norte.
- Bustamante, E. Y. (2018). *Disponibilidad de agua de escorrentía en la captación Huacaríz del río Mashcón, generada a partir de información climática* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Cajamarca.
- Calua, J. G. y Carrasco, L. A. (2021). *Evaluación de la calidad del agua mediante el método ICA NSF para conservar el recurso hídrico en un sector de la microcuenca Porcón, Cajamarca 2020* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]. Repositorio Institucional – Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.
- Calla, J. A. (2019). *Actividades antrópicas y calidad del agua en la cuenca del río Mashcón* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Cajamarca.
- Castro, H. T. (2021). *Química Ambiental Básica*. (1° ed.). Corporación Universitaria del Huila (CORHUILA).
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J. y Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Ambiental*, 10(17), 111-124. <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- Cevallos, A. F., Polo, E. F., Salgado, D. J. y Orbea, M. S. (2017). *Métodos y técnicas de investigación*. Grupo Compás. <http://142.93.18.15:8080/jspui/handle/123456789/498>

- Chávez, L. N. (2015). *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonas en Coatzintla, Ver* [Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana]. Repositorio Institucional – Universidad Veracruzana.
- Coral, B. E. (2014). *Evaluación de la influencia de los procesos naturales y las actividades humanas en la calidad del agua del río Paria, distrito de Independencia - Huaraz - 2013-2014* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Santiago Antunez de Moyolo]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional Santiago Antunez de Moyolo.
- Cortés, S. M. (2017). *Investigación II*. (1° ed.). Fundación Universitaria del Área Andina. <https://digitk.areandina.edu.co/handle/areandina/3538>
- Custodio, M. y Pantoja, R. (2012). Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 2(2), 130-137. <https://doi.org/10.18259/acs.2012015>
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. 2017. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Diario Oficial El Peruano. Perú. 7 jun.
- Effendi, H., Romanto, Wardiatno, Y. (2015). Water quality status of Ciambulawung River, Banten Province, based on pollution index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 228-237. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.030>
- Escalante, J. C. (2018). *Caracterización de las aguas del río Mashcón y San Lucas, y del efluente de las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca con fines de evaluación ambiental, marzo – agosto del 2007* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Cajamarca.

- Fontalvo-Julio, F. A. y Tamaris-Turizo, C. E. (2018). Calidad del agua de la parte baja del río Córdoba (Magdalena, Colombia), usando el ICA-NSF. *Intropica*, 13(2), 101-111.
<http://dx.doi.org/10.21676/23897864.2510>
- García, C. (2013). Parámetros fisicoquímicos del agua. *PV ALBEITAR*, 11.
https://www.adiveter.com/ftp_public/A3081113.pdf
- García, F. (2014). *Calidad y uso del agua de la subcuenca del San Lucas (Cajamarca) en función del índice de Brown* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Cajamarca].
Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Cajamarca.
- García-Gonzales, J., Osorio-Ortega, M. A., Saquicela-Rojas, R. A. y Cadme, M. L. (2021). Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Ingeniería del Agua*, 25(2), 115-126. <https://doi.org/10.4995/Ia.2021.13921>
- Gómez-Duarte, O. G. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Rev. Fac. Med*, 66(1), 7-8.
<https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>
- Guadarrama-Tejas, R., Kido-Miranda, J., Roldan-Antunez, G. y Salas-Salgado, M. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1-10.
- Gualdrón, L. E. (2016). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos. *Dinámica Ambiental*, (1), 83-102.
<https://doi.org/10.18041/2590-6704/ambiental.1.2016.4593>
- Guerrero, M. (2013). *La huella del agua*. Fondo de cultura económica.
- Herrera, A. E. y Heredia, E. G. (2017). *Determinación de los niveles de concentración de metales pesados en la cuenca Mashcón – Cajamarca en los meses de setiembre y*

- diciembre, 2016 [Tesis de Pregrado, Universidad de Lambayeque]. Repositorio Institucional – Universidad de Lambayeque.
- Informe Técnico N° 004-2020-ANA-AAA-M-ALA.C/MCC. (10 de marzo de 2020). Noveno monitoreo participativo de calidad de agua superficial de la cuenca del río Crisnejas – sub cuenca Cajamarquino. Autoridad Nacional del Agua.
- Javid, A., Yaghmaeian, K., Abbasi, E. y Roudbari, A. (2014). An evaluation of water quality from Mojen River, by NSFQI index. *Journal of Ecological Engineering*, 15(4), 1-6. doi:10.12911/22998993.1125451
- Johnson, L. F. (2012). *Evaluación fisicoquímica y microbiológica en las cuencas del río Porcón y río Grande, Cajamarca – Perú, entre noviembre del 2011 y febrero del 2012* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Trujillo.
- Lara, D. M. (2018). *Relación entre la dinámica poblacional del Perifiton y la calidad del agua en los ríos Grande y Porcón de Cajamarca, 2008 -2009* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Cajamarca.
- Larios-Meño, J. F., Gonzáles, C. y Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer*, 2(2), 9-25.
- Marín, R. (2019). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: tratamiento y control de calidad de aguas*. (2° ed.). Díaz de Santos.
- Martínez, S. S. y Barrero, I. J. (2018). *Evaluación de las condiciones de calidad del agua, para la formulación de estrategias de aprovechamiento y conservación de la microcuenca Quebrada La Argentina, Villavicencio – Meta* [Tesis de Pregrado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional – Universidad Santo Tomás.

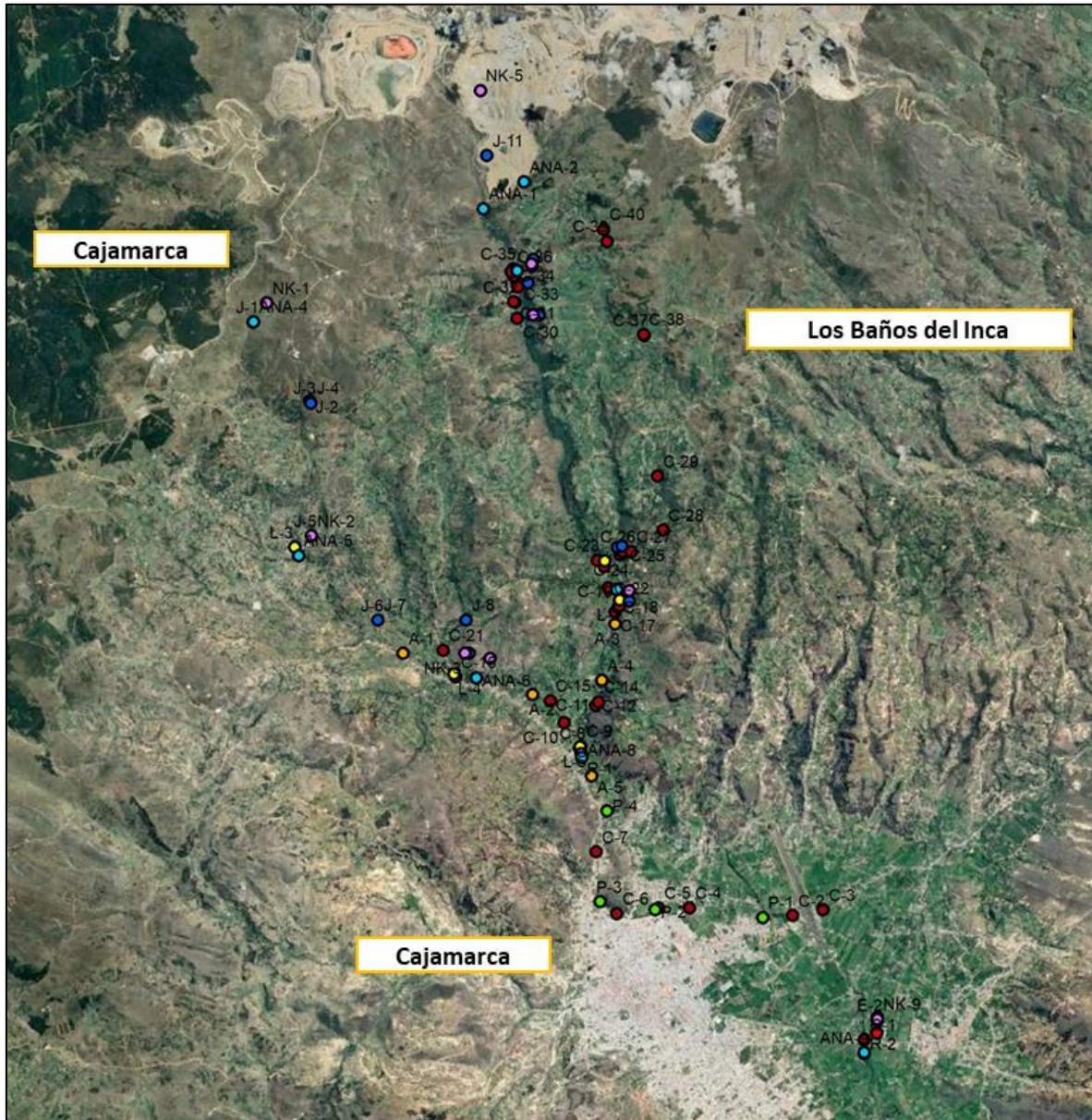
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2015). *Cuencas e hidrología*.
<https://www.midagri.gob.pe/portal/54-sector-agrario/cuencas-e-hidrografia>
- Murrugarra, B. I. (2021). Contaminación ambiental del río y el grado de responsabilidad civil de la población del río Chillón en el período 2018. *Producción + Limpia*, 1(1), 62-82.
<https://doi.org/10.22507/pml.v16n1a4>
- Navarro, A. E., Leyva, Z. C. y Mendoza, J. C. (2019). *Tópicos sobre contaminantes y contaminación del agua*. AM Editors.
- Nicola, B. D. y Proaño, M. R. (2017). *Aplicación de ICA'S para valorar la calidad de las aguas de consumo del ganado aviar en la granja Zambrano, Chone Manabí* [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio Institucional - Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.
- Nippon Koei. (2010). *Plan de gestión de los recursos hídricos en las cuencas de Mashcón y Chonta: Plan de gestión de los recursos hídricos en las cuencas Mashcón y Chonta con énfasis en el afianzamiento hídrico de las subcuencas Azufre, Paccha y río Grande de Chonta, Cajamarca, Perú*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4387>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2015). *Instrumentos básicos para la fiscalización ambiental*. Ministerio del Ambiente.
https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978
- Page, M., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M, Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D, Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, E...Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated

- guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372(71).
<https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Palomino, P. D. (2018). Evaluación de la calidad del agua en el río Mashcón, Cajamarca, 2016. *Anales Científicos*, 79(2), 298-307. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v79i2.1242>
- Pérez, J. K. (2017). *Determinación del índice de calidad del agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales – Omo, durante el periodo 2014 – 2015* [Tesis de Pregrado, Universidad José Carlos Mariátegui]. Repositorio Institucional – Universidad José Carlos Mariátegui.
- Rodríguez, R. G. (2019). *Evaluación de la calidad del agua en la cuenca Chancay-Lambayeque (Perú) en términos de índices de calidad del agua ICA-PE y NSF-WQI* [Proyecto de Investigación, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional del Callao.
- Rodríguez, S. Y. (2019). *Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica de las aguas del río Mashcón en Huambocancha Baja y Bella Unión durante setiembre y diciembre del 2017 y mayo del 2018* [Tesis de Pregrado – Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional – Universidad Privada del Norte.
- Sánchez, V. G., Chávez, E. R., Garayar, H. G., Álvarez, A., Lacho, P. y Manrique, A. R. (2021). Calidad del agua del río Ichu en zonas urbanas del distrito de Huancavelica según ICA-NSF. *Revista de Investigación Científica Siglo XXI*, 1(1), 53-60.
<https://doi.org/10.54943/rscxxi.v1i1.10>
- Saravia, P. C. (2017). Determinación de los índices de calidad del agua ICA-NSF para consumo humano de los ríos Teocinte y Acatán, que abastecen la planta de tratamiento de agua Santa Luisa zona 16, Guatemala. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 12(1), 9-14.
<https://doi.org/10.36829/08ASA.v12i1.1424>

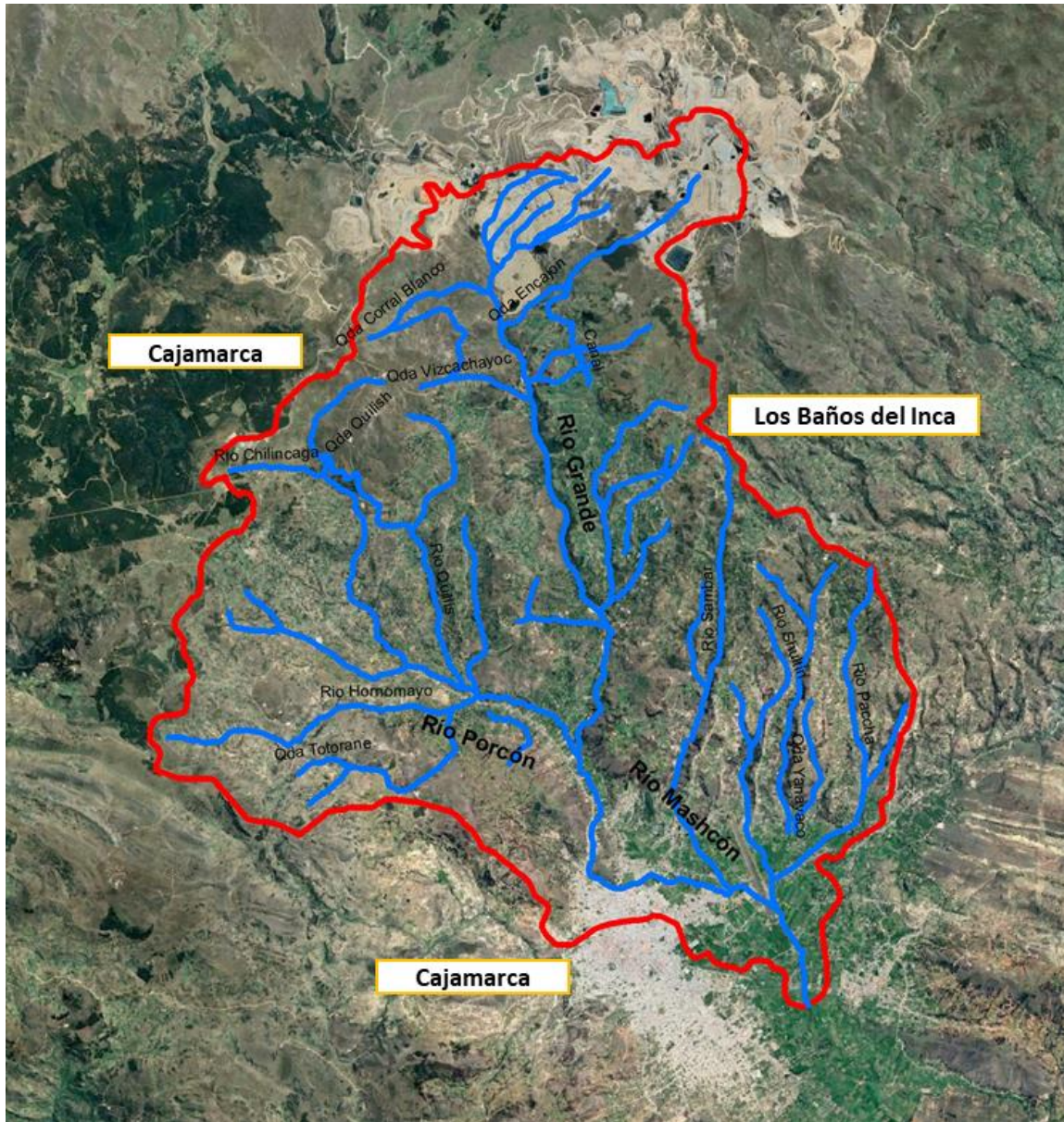
- Serna, E. (2017). *Desarrollo e innovación en ingeniería*. (2° ed.) Instituto Antioqueño de Investigación.
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales. (s. f.). *índice de calidad del agua general "ICA"*.
<http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pdf>
- Tartabull, T. y Betancourt, C. (2016). La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(1), 47-61.
- Valente-Campos, S., Spryb, D. J., Pascale, J. C., Jakomin, L. M. y de Aragão, G. (2019). Critical issues and alternatives for the establishment of chemical water quality criteria for livestock. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 104, 108-114.
<https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2019.03.003>
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz, J., Vásquez, C., Castro, A., Tapia, M. y Alcántara, J. (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

ANEXOS

ANEXO N° 1. Imagen satelital de la ubicación de los puntos de estudio



ANEXO N° 2. Imagen satelital de la delimitación del área de estudio



ANEXO N° 3. Coordenadas UTM de los puntos de estudio

Autor (es)	Punto	Coordenadas UTM		Zona de la cuenca
		X	Y	
Escalante	E-1	778773	9207696	Cuenca baja
	E-2	778774	9207646	Cuenca baja
	E-3	778770	9207412	Cuenca baja
Lara	L-1	773593	9216358.9	Cuenca media
	L-2	773874.6	9215626.1	Cuenca media
	L-3	767708.8	9216620.7	Cuenca media
	L-4	770731.1	9214219.2	Cuenca media
	L-5	773124.1	9212837.1	Cuenca baja
Nippon Koei	NK-1	767178	9221258	Cuenca alta
	NK-2	768020	9216837	Cuenca media
	NK-3	770941	9214615	Cuenca media
	NK-4	771416	9214515	Cuenca media
	NK-5	771229	9225286	Cuenca alta
	NK-6	772200	9221997	Cuenca alta
	NK-7	772237	9221032	Cuenca alta
	NK-8	774063	9215797	Cuenca media
	NK-9	778772	9207672	Cuenca baja
Johnson	J-1	766918	9220890	Cuenca alta
	J-2	767991	9219400	Cuenca alta
	J-3	768011	9219356	Cuenca alta
	J-4	768011	9219356	Cuenca alta

Autor (es)	Punto	Coordenadas UTM		Zona de la cuenca
		X	Y	
	J-5	768023	9216838	Cuenca media
	J-6	769287	9215238	Cuenca media
	J-7	769291	9215244	Cuenca media
	J-8	770960	9215244	Cuenca media
	J-9	771017	9214610	Cuenca media
	J-10	771418	9214512	Cuenca media
	J-11	771355	9224054	Cuenca alta
	J-12	-	-	Cuenca alta
	J-13	772236	9222090	Cuenca alta
	J-14	772210	9221962	Cuenca alta
	J-15	772140	9221644	Cuenca alta
	J-16	773840	9216622	Cuenca media
	J-17	773925	9216642	Cuenca media
	J-18	774066	9215606	Cuenca media
	J-19	772352	9221036	Cuenca alta
	J-20	-	-	Cuenca baja
	A-1	769768.5	9214608.4	Cuenca media
	A-2	772220.6	9213827.1	Cuenca baja
Azabache	A-3	773793.6	9215171.1	Cuenca media
	A-4	773542.2	9214096.6	Cuenca baja
	A-5	773348.3	9212284.2	Cuenca baja
Palomino	P-1	776598.3	9209595	Cuenca baja

Autor (es)	Punto	Coordenadas UTM		Zona de la cuenca
		X	Y	
	P-2	774556.3	9209746.9	Cuenca baja
	P-3	773507.4	9209893.9	Cuenca baja
	P-4	773639.4	9211615.1	Cuenca baja
	P-5	773122.2	9212778.7	Cuenca baja
Rodríguez	R1	773152	9212707	Cuenca baja
	R2	778528	9207012	Cuenca baja
Calla	C-1	778522	9207277	Cuenca baja
	C-2	777160	9209635	Cuenca baja
	C-3	777738	9209742	Cuenca baja
	C-4	775204	9209782	Cuenca baja
	C-5	774617	9209777	Cuenca baja
	C-6	773820	9209672	Cuenca baja
	C-7	773433	9210842	Cuenca baja
	C-8	773119	9212807	Cuenca baja
	C-9	773140.4	9212850.34	Cuenca baja
	C-10	772823	9213293	Cuenca baja
	C-11	773424	9213616	Cuenca baja
	C-12	773424	9213626	Cuenca baja
	C-13	-	-	Cuenca baja
	C-14	773471	9213688	Cuenca baja
	C-15	772562	9213707	Cuenca baja
	C-16	770766	9214162	Cuenca media

Autor (es)	Punto	Coordenadas UTM		Zona de la cuenca
		X	Y	
	C-17	773793	9215395	Cuenca media
	C-18	773847	9215478	Cuenca media
	C-19	773865	9215505	Cuenca media
	C-20	773587.1	9216250.93	Cuenca media
	C-21	770530.8	9214667.03	Cuenca media
	C-22	773664	9215852	Cuenca media
	C-23	773449	9216377	Cuenca media
	C-24	773891	9216479	Cuenca media
	C-25	773959	9216529	Cuenca media
	C-26	773933	9216537	Cuenca media
	C-27	774098	9216542	Cuenca media
	C-28	774706	9216946	Cuenca media
	C-29	774600	9217969	Cuenca media
	C-30	771935	9220969	Cuenca alta
	C-31	771884	9221273	Cuenca alta
	C-32	771867	9221279	Cuenca alta
	C-33	771945	9221566	Cuenca alta
	C-34	771868	9221773	Cuenca alta
	C-35	771849	9221905	Cuenca alta
	C-36	771825	9221848	Cuenca alta
	C-37	774348	9220644	Cuenca alta
	C-38	774336	9220666	Cuenca alta

Autor (es)	Punto	Coordenadas UTM		Zona de la cuenca
		X	Y	
	C-39	773637	9222425	Cuenca alta
	C-40	773576	9222653	Cuenca alta
	ANA-1	771287	9223050	Cuenca alta
	ANA-2	772062	9223553	Cuenca alta
	ANA-3	771929	9221870	Cuenca alta
	ANA-4	766923	9220901	Cuenca alta
ANA	ANA-5	767779	9216461	Cuenca media
	ANA-6	771160	9214143	Cuenca media
	ANA-7	773822	9215823	Cuenca media
	ANA-8	773164	9212627	Cuenca baja
	ANA-9	778523	9207032	Cuenca baja
	CC-1	-	-	Cuenca media
Calua y Carrasco	CC-2	-	-	Cuenca media
	CC-3	-	-	Cuenca media

ANEXO N° 4. Estándares de Calidad Ambiental para Agua del D.S. N° 004-2017-MINAM

10

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017 / El Peruano

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el 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;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, 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;

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 de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

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, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

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;

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;

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;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

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;

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;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-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,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

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.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

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

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

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.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

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.

- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

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 precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

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:

- 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 esquí 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 botes, lanchas o similares.

3.2 Categoría 2: 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 (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: 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 (Ej.: 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 (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: 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 agua 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 agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, 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 Titicaca, 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 meándricas.

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.

Precítese 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 geotermales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

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 puedan 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.

e) 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 identificaron 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 subsuelos 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

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA

Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

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

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

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₉ - C ₄₀)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	(e)	1,0	1,0	1,0
Bromoforno	mg/L	0,1	**	**
Cloroforno	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodlorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrín + Dieldrín	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difetil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copepodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

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

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

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

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

Dónde:

C= concentración en mg/L y

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

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

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

Nota 1:

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

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

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

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

Nota 2:

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

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

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

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

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

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

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

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

Nota 3:

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

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

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

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

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoniac 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 Amoniac-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoniac (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

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

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

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

(b): Después de filtración simple.

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

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

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrín	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

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

Nota 5:

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

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

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

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

Notas:

- (*)El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.
- (**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N ($\text{NH}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH_3).

NOTA GENERAL:

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

1529835-2

ANEXO N° 5. Parámetros del ICA-NSF obtenidos por cada estudio

Resultados de los parámetros propuestos por el ICA-NSF del estudio de Escalante (2018) del año 2007

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
	E-1	7.73	-	-	283.00	-	8.80	0.27	-	19417.00
Escalante	E-2	7.78	-	-	319.00	-	11.80	0.33	-	102583.00
	E-3	7.71	-	-	423.00	-	128.30	0.30	-	8272000.00
Promedio		7.74	-	-	341.67	-	49.63	0.30	-	2798000.00

Resultados de los parámetros propuestos por el ICA-NSF del estudio de Lara (2018) del año 2008

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
	L-1	8.00	-	120.00	318.00	28.81	-	0.03	-	< 2.00
	L-2	8.50	-	40.00	280.00	26.95	-	0.03	-	< 2.00
Lara	L-3	7.90	-	18.00	142.00	37.04	-	0.01	-	1100.00
	L-4	7.80	-	16.00	237.00	38.34	-	0.00	-	1100.00
	L-5	7.50	-	19.00	325.00	29.15	-	0.02	-	< 2.00
Promedio		7.94	-	42.60	260.40	32.06	-	0.02	-	441.20

Resultados de los parámetros propuestos por el ICA-NSF del estudio de Lara (2018) del año 2009

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
	L-1	6.76	-	19.33	278.67	65.11	-	5.67	-	< 2.00
	L-2	6.84	-	30.00	197.00	65.79	-	7.49	-	9.00
Lara	L-3	6.88	-	34.67	80.10	63.65	-	4.27	-	792.33
	L-4	7.46	-	38.33	130.77	71.60	-	4.87	-	736.67
	L-5	7.31	-	58.00	237.33	74.92	-	7.39	-	1276.67
Promedio		7.05	-	36.07	184.77	68.22	-	5.94	-	563.33

Resultados de los parámetros propuestos por el ICA-NSF del estudio de Nippon Koei (2010) del año 2008

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
Nippon Koei	NK-1	7.60	-	1.10	-	35.32	< 2.00	0.62	0.22	< 2.00
	NK-2	7.70	-	10.00	-	37.56	< 2.00	0.00	0.00	< 2.00
	NK-3	7.90	-	18.00	-	37.04	< 2.00	0.00	0.30	1100.00
	NK-4	7.80	-	16.00	-	38.34	< 2.00	0.62	0.00	1100.00
	NK-5	7.50	-	38.00	-	33.46	< 2.00	1.24	0.00	< 2.00
	NK-6	8.00	-	120.00	-	28.81	< 2.00	1.86	0.00	0.00
	NK-7	7.90	-	500.00	-	27.57	4.30	1.86	0.00	24000.00
	NK-8	8.10	-	40.00	-	33.46	< 2.00	1.24	0.47	< 2.00
	NK-9	8.00	-	>1000.00	-	27.81	10.80	0.62	1.60	1400000.00
Promedio		7.83	-	193.68		33.26	3.23	0.90	0.29	158467.56

Resultados de los parámetros propuestos por el ICA-NSF del estudio de Nippon Koei (2010) del año 2009

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
Nippon Koei	NK-1	7.23	-	0.90	-	47.87	< 2.00	0.41	0.07	1.87
	NK-2	6.93	-	14.60	-	51.51	< 2.00	0.41	0.06	391.00
	NK-3	7.47	-	24.67	-	55.77	< 2.00	0.41	0.08	1666.67
	NK-4	7.23	-	23.33	-	54.20	< 2.00	0.41	0.09	552.00
	NK-5	6.77	-	4.78	-	48.88	< 2.00	1.47	0.08	1.87
	NK-6	6.73	-	14.30	-	48.59	< 2.00	4.13	0.12	< 1.80
	NK-7	7.00	-	14.87	-	51.80	< 2.00	3.93	0.07	8.87
	NK-8	6.73	-	13.33	-	37.74	< 2.00	4.13	0.08	1.93
	NK-9	7.23	-	112.33	-	49.74	11.30	2.48	0.08	51640.00
Promedio	7.04	-	24.79	-	49.56	3.03	1.98	0.08	6029.56	

Resultados de los parámetros propuestos por el ICA-NSF del estudio de Johnson (2012) del año 2011

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
Johnson	J-1	7.49	-	9.75	195.33	65.30	-	-	-	30.33
	J-2	5.38	-	3.23	318.33	59.96	-	-	-	5.53
	J-3	6.63	-	1.12	177.00	65.30	-	-	-	58.33
	J-4	6.90	-	7.77	185.33	65.78	-	-	-	12.67
	J-5	6.84	-	4.18	76.67	65.99	-	-	-	239.67
	J-6	6.76	-	45.21	235.67	70.46	-	-	-	77.33
	J-7	7.68	-	11.84	157.00	71.47	-	-	-	609.67
	J-8	7.51	-	7.71	198.33	69.77	-	-	-	100.60
	J-9	7.42	-	13.42	184.33	71.43	-	-	-	115.33
	J-10	7.59	-	66.10	177.00	75.19	-	-	-	4680.00
	J-11	4.41	-	2.43	72.67	52.53	-	-	-	9.60
	J-12	6.23	-	1.12	40.67	55.04	-	-	-	9.50

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO₅ (mgO₂/L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
	J-13	6.04	-	2.03	52.33	66.30	-	-	-	10.27
	J-14	7.34	-	10.62	292.00	57.60	-	-	-	1131.00
	J-15	7.87	-	22.59	130.33	62.33	-	-	-	903.33
	J-16	7.91	-	5.00	321.00	68.80	-	-	-	1943.33
	J-17	7.84	-	6.53	198.33	71.27	-	-	-	1813.33
	J-18	8.13	-	22.77	77.00	69.81	-	-	-	3360.00
	J-19	7.78	-	10.90	190.67	70.05	-	-	-	2633.33
	J-20	8.13	-	207.16	167.00	67.72	-	-	-	9533.33
Promedio		7.09	-	23.07	172.35	66.11	-	-	-	1363.82

Resultados de los parámetros propuestos por el ICA-NSF del estudio de Johnson (2012) del año 2012

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
Johnson	J-1	7.08	-	7.55	290.50	66.28	-	-	-	8.75
	J-2	6.71	-	296.62	372.50	57.10	-	-	-	730.00
	J-3	7.23	-	4.53	290.50	60.76	-	-	-	132.00
	J-4	7.25	-	3.93	303.50	59.57	-	-	-	33.00
	J-5	7.33	-	4.88	65.00	64.31	-	-	-	79.50
	J-6	7.07	-	8.25	262.50	58.99	-	-	-	445.00
	J-7	7.91	-	24.38	143.50	62.26	-	-	-	690.00
	J-8	7.39	-	11.83	246.50	62.26	-	-	-	190.00
	J-9	7.46	-	13.79	219.50	63.75	-	-	-	1010.00
	J-10	7.32	-	17.73	203.00	76.29	-	-	-	5150.00
	J-11	5.70	-	1.09	73.00	56.34	-	-	-	6.15
	J-12	6.44	-	2.70	13.00	55.95	-	-	-	6.15

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
	J-13	6.33	-	2.88	37.00	64.51	-	-	-	13.00
	J-14	7.71	-	15.78	227.50	51.23	-	-	-	4100.00
	J-15	7.62	-	10.76	79.00	58.02	-	-	-	490.00
	J-16	6.99	-	19.40	170.00	56.27	-	-	-	5600.00
	J-17	7.90	-	9.28	100.00	60.00	-	-	-	3550.00
	J-18	7.93	-	22.45	66.00	51.14	-	-	-	5600.00
	J-19	8.03	-	18.46	126.00	52.75	-	-	-	29500.00
	J-20	7.99	-	30.50	98.50	61.87	-	-	-	7450.00
Promedio		7.27	-	26.34	169.35	59.98	-	-	-	3239.18

Resultados de los parámetros propuestos por el ICA-NSF del estudio de Azabache (2018) del año 2012

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO₅ (mgO₂/L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
	A-1	7.70	2.15	46.50	211.00	68.77	-	-	-	-
	A-2	8.05	0.15	45.00	217.75	76.05	-	-	-	-
Azabache	A-3	7.80	0.55	115.00	256.85	70.82	-	-	-	-
	A-4	7.75	0.90	69.50	107.95	73.67	-	-	-	-
	A-5	8.10	- 1.10	86.50	314.55	87.46	-	-	-	-
Promedio		7.88	0.53	72.50	221.62	75.35	-	-	-	-

Resultados de los parámetros propuestos por el ICA-NSF del estudio de Azabache (2018) del año 2013

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
	A-1	7.45	1.60	41.00	185.00	76.52	-	-	-	-
	A-2	7.65	- 0.15	40.00	208.35	77.75	-	-	-	-
Azabache	A-3	7.60	0.90	75.00	335.90	67.97	-	-	-	-
	A-4	7.90	0.90	65.00	222.30	72.24	-	-	-	-
	A-5	8.25	- 0.05	71.00	240.20	79.20	-	-	-	-
Promedio		7.77	0.64	58.4	238.35	74.74	-	-	-	-

Resultados de los parámetros propuestos por el ICA-NSF del estudio de Palomino (2018) del año 2016

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
	P-1	7.10	-	-	-	62.73	94.00	0.41	1.25	-
	P-2	7.08	-	-	-	61.27	7.70	1.59	0.06	-
Palomino	P-3	7.25	-	-	-	65.28	2.00	1.15	0.06	-
	P-4	7.30	-	-	-	65.44	9.40	0.91	0.06	-
	P-5	7.40	-	-	-	67.35	2.00	0.96	0.06	-
Promedio		7.23	-	-	-	64.42	23.02	1.00	0.30	-

Resultados de los parámetros propuestos por el ICA-NSF del estudio de Rodríguez (2019) del año 2017

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
Rodríguez	R-1	7.95	-	-	-	71.40	< 2.00	5.53	< 0.012	945.00
	R-2	7.34	-	-	-	39.74	163.50	< 0.009	< 0.012	8640000.00
Promedio		7.65	-	-	-	55.57	82.75	2.77	< 0.012	4320472.50

Resultados de los parámetros propuestos por el ICA-NSF del estudio de Rodríguez (2019) del año 2018

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
Rodríguez	R-1	7.90	-	-	-	72.11	< 2.00	1.68	< 0.012	940.00
	R-2	7.35	-	-	-	31.01	133.00	< 0.009	< 0.012	4600000.00
Promedio		7.63	-	-	-	51.56	67.50	0.84	< 0.012	2300470.00

Resultados de los parámetros propuestos por el ICA-NSF del estudio de Calla (2019) del año 2018

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
Calla	C-1	8.04	-	378.00	-	76.50	18.88	1.48	-	-
	C-2	7.75	-	304.00	-	97.80	6.08	1.31	-	-
	C-3	7.82	-	145.00	-	89.50	1.50	3.34	-	-
	C-4	7.82	-	89.40	-	103.50	1.06	0.86	-	-
	C-5	7.86	-	80.50	-	104.70	1.17	0.91	-	-
	C-6	7.81	-	48.80	-	104.70	1.98	0.87	-	-
	C-7	7.86	-	18.70	-	103.60	0.53	0.87	-	-
	C-8	7.92	-	53.70	-	105.30	0.94	1.13	-	-
	C-9	7.71	-	18.10	-	105.30	0.00	1.67	-	-
	C-10	7.74	-	139.00	-	102.80	0.92	0.76	-	-
	C-11	7.42	-	45.20	-	102.70	7.31	1.29	-	-
	C-12	7.47	-	19.00	-	101.90	0.00	1.12	-	-

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
	C-13	7.60	-	12.29	-	102.40	0.00	1.41	-	-
	C-14	7.73	-	3.28	-	103.10	0.0	1.30	-	-
	C-15	7.80	-	47.20	-	102.50	0.64	0.52	-	-
	C-16	7.78	-	0.00	-	105.30	0.45	0.28	-	-
	C-17	7.60	-	14.60	-	102.30	0.00	1.80	-	-
	C-18	7.63	-	1.70	-	103.30	0.80	1.39	-	-
	C-19	7.70	-	9.24	-	102.40	1.05	1.63	-	-
	C-20	8.11	-	11.20	-	101.60	0.00	1.13	-	-
	C-21	8.02	-	1.53	-	102.10	0.97	0.54	-	-
	C-22	7.77	-	8.85	-	100.50	0.00	0.28	-	-
	C-23	7.38	-	0.00	-	104.60	0.00	1.35	-	-
	C-24	8.07	-	22.00	-	103.90	0.00	1.11	-	-
	C-25	8.19	-	79.00	-	102.90	0.00	0.14	-	-

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
	C-26	7.39	-	1.92	-	103.80	0.00	1.08	-	-
	C-27	8.25	-	52.50	-	102.00	0.00	0.74	-	-
	C-28	7.82	-	17.00	-	102.40	0.55	0.80	-	-
	C-29	7.77	-	139.00	-	99.80	0.73	2.23	-	-
	C-30	6.80	-	6.36	-	107.00	0.00	1.09	-	-
	C-31	7.44	-	4.86	-	102.30	0.57	0.13	-	-
	C-32	6.24	-	0.00	-	104.20	0.00	0.14	-	-
	C-33	4.50	-	4.43	-	103.60	0.00	0.90	-	-
	C-34	5.32	-	0.64	-	102.50	0.00	1.05	-	-
	C-35	4.65	-	5.35	-	103.80	0.00	0.98	-	-
	C-36	4.77	-	3.67	-	103.50	0.00	0.94	-	-
	C-37	7.27	-	1.16	-	101.80	0.00	0.13	-	-
	C-38	7.21	-	0.70	-	102.10	0.00	1.22	-	-

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
	C-39	7.71	-	0.00	-	103.30	0.00	1.06	-	-
	C-40	7.14	-	13.00	-	98.60	1.04	0.20	-	-
Promedio	7.37	-	45.02	-	101.90	1.18	1.03	-	-	

Resultados de los parámetros propuestos por el ICA-NSF del estudio de la ANA (2020) del año 2019

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
	ANA-1	-	-	-	-	66.44	< 2.00	24.57	< 0.012	< 1.80
	ANA-2	-	-	-	-	66.76	< 2.00	18.47	< 0.012	280.00
	ANA-3	-	-	-	-	68.35	< 2.00	18.20	< 0.012	49.00
	ANA-4	-	-	-	-	63.12	< 2.00	< 0.009	< 0.012	280.00
ANA	ANA-5	-	-	-	-	68.12	< 2.00	0.04	< 0.012	330.00
	ANA-6	-	-	-	-	71.90	< 2.00	0.25	< 0.012	130000.00
	ANA-7	-	-	-	-	70.55	< 2.00	13.49	< 0.012	490.00
	ANA-8	-	-	-	-	74.54	< 5.00	6.45	< 0.012	2400.00
	ANA-9	-	-	-	-	58.76	< 12.00	2.99	< 0.012	460000.00
	Promedio	-	-	-	-	67.62	3.44	9.38	< 0.012	65981.20

Resultados de los parámetros propuestos por el ICA-NSF del estudio de Calua y Carrasco (2021) del año 2020

Autor	Punto	pH	Cambio de temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Sat. OD (%)	DBO₅ (mgO₂/L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
Calua y Carrasco	CC-1	7.19	11.13	6.10	363.87	86.97	2.00	1.43	0.33	15.33
	CC-2	7.22	11.13	6.43	362.93	86.97	2.00	1.50	0.33	15.33
	CC-3	7.20	11.13	6.30	365.00	86.97	2.00	1.50	0.33	15.33
Promedio		7.20	11.13	6.28	363.93	86.97	2.00	1.48	0.33	15.33